

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
"Харківський політехнічний інститут"

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: Інформатика та моделювання

№ 39 (1012) 2013

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 році

Харків

НТУ "ХПІ", 2013

Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Серія: Інформатика та моделювання. — Харків: НТУ "ХПІ". — 2013. — № 39 (1012). — 208 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" внесено до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук", затвердженого постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р. № 1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України № 6, 2010 р., стор. 3, № 20).

Серія "Інформатика та моделювання" Вісника НТУ "ХПІ" внесена у наукометричні бази Elibrary (РІНЦ), Google Scholar і базу даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Координаційна рада:

Л.Л. Товажнянський, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К.О. Горбунов, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є.І. Сокол, чл.-кор. НАН України, д-р. техн.

наук, проф.; А.В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф.Ф. Гладкий, д-р техн. наук,

проф.; М.Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А.І. Грабченко, д-р техн. наук,

проф.; В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В.Д. Дмитрієнко, д-р техн. наук, проф.;

І.Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В.В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.;

Ю.І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.;

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С.І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.;

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.; В.І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.;

Г.В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О.К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.;

В.І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; Є.Є. Олександров, д-р техн. наук, проф.;

П.Г. Перерва, д-р техн. наук, проф.; В.О. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.;

М.І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.;

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: В.Д. Дмитрієнко, д-р техн. наук, проф.

Відповідальний секретар: С.Ю. Леонов, канд. техн. наук, доц.

Члени редколегії: А.Г. Гурін, д-р техн. наук, проф.; Л.В. Дербунович, д-р техн.

наук, проф.; Є.Г. Жиликов, д-р техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук,

проф.; М.І. Корсунов, д-р техн. наук, проф.; В.І. Носков, д-р техн. наук, проф.;

І.І. Обод, д-р техн. наук, проф.; А.І. Поворознюк, д-р техн. наук, проф.

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ "ХПІ"

Протокол № 6 від 5 липня 2013 р.

УДК 519.87

Д.С. БІРЮКОВ, канд. техн. наук, старший консультант
Національного інституту стратегічних досліджень, Київ,
О.В. ЗАСЛАВСЬКА, інженер, КНУ ім. Тараса Шевченка, Київ

ОПТИМАЛЬНЕ РОЗМІЩЕННЯ ТА КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНИХ СЛУЖБ ДЛЯ РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Запропонована постановка задачі оптимального розміщення аварійно-рятувальних служб, визначення їх чисельності та професійного складу з врахуванням характеристик територій щодо виникнення надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: оптимальне розміщення, надзвичайні ситуації, аварійно-рятувальні служби.

Вступ. Все більшу значимість для безпеки життєдіяльності громадян України набуває захист від надзвичайних ситуацій (НС), спричинених різноманітними чинниками техногенного, природного та соціально-політичного характеру [1]. Серед чинників техногенного характеру можна згадати наявність на території країни численних потенційно-небезпечних об'єктів, в тому числі промислових підприємств із значною зношеністю основних фондів та комплексним впливом на навколишнє середовище, масштабних інженерно-технічних конструкцій. Стан таких об'єктів створює передумови для зростання ризиків виникнення НС техногенного та природно-техногенного характеру [2]. Також помітною є тенденція до зростання частоти виникнення стихійних метеорологічних явищ, посилення впливу глобальних кліматичних змін (особливо аномально-високих температур та підвищених опадів). Значних матеріальних збитків неодноразово наносили масштабні повені в західних регіонах та підтоплення в північних регіонах України [3]. Названі тенденції обумовлюють необхідність вживання комплексних заходів щодо вдосконалення та підвищення ефективності роботи аварійно-рятувальних служб (АРС), екстреної допомоги населенню, медицини катастроф. За останній час в нормативно-правовому та організаційному аспектах розв'язання цього завдання здійснено низку суттєвих кроків: прийнято Кодекс цивільного захисту, утворено Державну службу України з надзвичайних ситуацій, і, відповідно, реорганізовано Міністерство надзвичайних ситуацій України та Державну інспекцію техногенної безпеки України.

Обмеженість ресурсів з одного боку та зростання загроз НС з іншого обумовлюють необхідність використання математичного та інформаційного забезпечення для прийняття оптимальних рішень з реструктуризації системи реагування на НС, зокрема щодо розміщення та комплектування APC.

Постановка проблеми та аналіз літератури. Дослідження ризиків природного та техногенного характеру, їх взаємозв'язок із системою попередження та реагування на НС в Україні представлені в роботах вітчизняних науковців Є.П. Буравльова, В.В. Гетьмана, М.М. Биченка, О.М. Трофімчука, С.П. Іванюти, Є.О. Яковлева та ін. [2, 4 – 6]. В цих роботах, зокрема, розроблений математичний апарат для оцінки ризиків НС для окремих регіонів та територій країни, що є інформаційною основою для обґрунтування рішень щодо розвитку мережі APC, визначення параметрів їх комплектування особовим складом (за спеціалізаціями).

Задачі оптимального розміщення ресурсів, вибору параметрів розбудови об'єктів, планування робіт, прийняття рішень про розміщення об'єктів в кожному конкретному випадку мають характерні особливості, що враховуються при формалізації у вигляді задач оптимізації та при розробці алгоритмів їх розв'язування [7 – 11].

Мета дослідження. В даній роботі пропонуються формальна постановка задачі оптимального розміщення та комплектування APC з врахуванням характеристик територій та прояву в їх межах факторів щодо виникнення можливих НС.

Формальна постановка задачі. Розглядається n точок, в яких можуть бути розміщені аварійно-рятувальні служби. Для всіх точок $i \in I = \{1, 2, \dots, n\}$ позначимо γ_i – булева змінна, яка приймає значення 1, якщо в i -тій точці розміщується аварійно-рятувальна служба, інакше – значення 0. Кожна точка розміщення характеризується рядом показників, пов'язаних із загрозами для здоров'я та життєдіяльності населення, що можуть бути спричинені надзвичайними ситуаціями. Нехай задані M_i – чисельність населення, що мешкає поряд з точкою $i \in I$, та p_{it} – ймовірності впливу кожного виду загроз $t \in T = \{1, 2, \dots, t^*\}$ на населення.

Якщо в i -тій точці не розміщується APC, то допомогу населенню надають APC, які розміщені в сусідніх точках. Позначимо $K_i \subset I$ – множина точок, з яких може надаватися допомога населенню у випадку, коли в i -тій точці не розміщується APC. Перерозподіл населення, якому

надається допомога в сусідніх точках, заданий таким чином:
 $m_{ij}\gamma_j / \sum_{k \in K_i} m_{ik}\gamma_k$, $j \in K_i$, де m_{ij} – задані величини, $j \in K_i$, що задовольняють умові $\sum_{j \in K_i} m_{ij} = M_i$.

Нехай задані множина спеціалізацій персоналу APC – $S = \{1, 2, \dots, s^*\}$ та її підмножини $H_t \subset S$, $t \in T$, що визначають спеціалізації, необхідні при реагуванні на НС, спричинені певними загрозами. Позначимо x_{is} – чисельність аварійно-рятувального персоналу в i -тій точці розміщення з s -тою спеціалізацією. Тоді умови надання допомоги очікуваній кількості населення, що постраждає у випадку реалізації t -тої загрози, можна записати таким чином:

$$\gamma_i w_s x_{is} \geq \gamma_i \left(p_{it} M_i + \sum_{j \in K_i} (p_{jt} m_{ji} / \sum_{k \in K_j} m_{jk} \gamma_k) \right), s \in H_t,$$

де w_s – коефіцієнт, що задає кількість осіб, яким може надати допомогу один співробітник APC s -тої спеціалізації.

Враховуючи необхідність швидкого реагування, для кожної точки можливого розміщення APC запишемо умову обов'язкового розміщення хоча б в одній із сусідніх точок:

$$\bigvee_{j \in K_i \cup \{i\}} \gamma_j = 1, i \in I.$$

Вартість розміщення аварійно-рятувальної служби для кожної точки можна записати таким чином:

$$\sum_{j \in J} f_j \left(\sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is},$$

де $f_j(\cdot)$ – сходинкові функції ($J = \{1, 2, \dots, j^*\}$) та a_{is} – витрати на оснащення одного спеціаліста s -тої спеціалізації.

Функції $f_j(\cdot)$ визначають всі складові вартості, що нелінійно (стрибокоподібно) зростають з ростом чисельності персоналу ($\sum_{s \in S} x_{is}$).

Нехай задані інтервали $[\alpha_{j1}, \beta_{j1}]$, $[\alpha_{j2}, \beta_{j2}]$, ..., $[\alpha_{jw_j}, \beta_{jw_j}]$, для яких виконуються такі умови: $\alpha_{j1} \leq \alpha_{j2} \leq \dots \leq \alpha_{jw_j}$ та $\beta_{j1} < \beta_{j2} < \dots < \beta_{jw_j}$. В залежності від значення аргументу функції $f_j(\cdot)$ приймають одне з можливих значень $c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jw_j}$ таких, що $0 < c_{j1} < c_{j2} < \dots < c_{jw_j}$. Тобто

$f_j(a) = c_{j1}$, якщо $a \in [\alpha_{j1}, \beta_{j1}]$, $f_j(a) = c_{j2}$, якщо $a \in [\alpha_{j2}, \beta_{j2}]$ та $a > \beta_{j1}$,
 $f_j(a) = c_{j3}$, якщо $a \in [\alpha_{j3}, \beta_{j3}]$ та $a > \beta_{j2}$,

Задача може бути сформульована таким чином: мінімізувати вартість розміщення і оснащення аварійно-рятувальних служб

$$\sum_{i \in I} \gamma_i \left(\sum_{j \in J} f_j \left(\sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

при умовах:

$$\bigvee_{j \in K_i \cup \{i\}} \gamma_j = 1, \quad i \in I, \quad (2)$$

$$\gamma_i w_s x_{is} \geq \gamma_i \left(p_{it} M_i + \sum_{j \in K_i} (p_{jt} m_{ji} / \sum_{k \in K_j} m_{jk} \gamma_k) \right), \quad s \in H_t, \quad t \in T, \quad i \in I, \quad (3)$$

$$\gamma_i \in \{0,1\}, \quad i \in I, \quad (4)$$

$$x_{is} - \text{цілочисельні змінні}, \quad x_{is} \geq 0, \quad s \in S, \quad i \in I. \quad (5)$$

Алгоритм розв'язування задачі. Специфікою задачі (1) – (5) є наявність нелінійної та лінійної складових в функції витрат (1), використання булевих та цілочисельних змінних. Для розв'язання задачі запропоновано використовувати модифікований алгоритм, що раніше використовувались для задачі про посередника, яка за формальною постановкою та властивостями є схожою [12].

Якщо зафіксувати значення булевих змінних $\gamma_i, i \in I$, таким чином, щоб виконувалась умова (2), використовуючи, наприклад, рекурсивну процедуру присвоєння одиниць для частини змінних $\gamma_i, i \in I$, то утворюється послідовність підзадач, які мають такий вигляд:

$$\sum_{i \in I^*} \left(\sum_{j \in J} f_j \left(\sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right) \rightarrow \min, \quad (6)$$

при умовах:

$$w_s x_{is} \geq B_{is}, \quad s \in S, \quad i \in I^*, \quad (7)$$

$$\bigvee_{s \in S} I[x_{is} > 0] = 1, \quad i \in I^*, \quad (8)$$

$$x_{is} - \text{цілочисельні змінні}, \quad x_{is} \geq 0, \quad s \in S, \quad i \in I^*, \quad (9)$$

де $I^* = \{i \in I \mid \gamma_i = 1\}$, $I[a]$ – індикаторна функція, яка приймає значення 1, якщо умова a виконується, інакше – значення 0.

Нехай $\tilde{x}_{is}$, $s \in S$, $i \in I^*$ – розв’язок першої підзадачі виду (6) – (9). Тоді разом із змінними, значення яких були зафіксовані при утворенні підзадач, маємо наближений розв’язок вихідної задачі (1) – (5): $\tilde{\gamma}_i \equiv 1$, $i \in I^*$; $\tilde{\gamma}_i \equiv 0$, $i \in I \setminus I^*$; $\tilde{x}_{is}$, $s \in S$, $i \in I^*$; $\tilde{x}_{is} \equiv 0$, $i \in I \setminus I^*$; $s \in S$.

Обчислимо значення цільової функції (6) для знайденого розв’язку підзадачі: $A = \sum_{i \in I^*} \left(\sum_{j \in J} f_j \left(\sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right)$. Тоді до наступної підзадачі виду (6) – (9) можна ввести додаткове обмеження:

$$\sum_{i \in I^*} \left(\sum_{j \in J} f_j \left(\sum_{s \in S} x_{is} \right) + \sum_{s \in S} a_{is} x_{is} \right) \leq A. \quad (10)$$

Обмеження (10) дозволяє отримувати наближені розв’язки підзадач, які тільки покращують розв’язок вихідної задачі.

Висновки. В роботі представлена оптимізаційна модель, яка дозволяє приймати раціональні рішення щодо розміщення та комплектування мережі АРС із врахуванням прояву на території природних і техногенних факторів, що спричиняють НС.

Запропоновано алгоритм для розв’язування даної оптимізаційної задачі, основною ідеєю якого є формування підзадач з додатковими обмеженнями, розв’язок яких приводить до знаходження оптимального розв’язку вихідної задачі.

Список літератури: 1. Оцінка регіональних еколого-ресурсних та еколого-техногенних загроз національній безпеці України / Є.О. Яковлев, Ю.М. Скалецкий, С.П. Іванюта, Л.М. Якушенко. – К.: НІСД, 2011. – 32 с. 2. Буравльов Є.П. Управління техногенною безпекою України / Є.П. Буравльов, В.В. Гетьман; за ред. В.П. Горбуліна. – К.: Ін-т проблем національної безпеки, 2006. – 248 с. 3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році [Електронний ресурс]. – Інформ. портал ДСУНС. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasodopovid2011.html> 4. Биченок М.М. Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні / М.М. Биченок, О.М. Трофімчук. – К.: УІНЦІР, 2002. – 153 с. 5. Биченок М.М. Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі / М.М. Биченок, С.П. Іванюта, Є.О. Яковлев. – К.: Ін-т проблем національної безпеки, 2008. – 160 с. 6. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. – К.: Наук. думка, 2008. – 542 с. 7. Исследование операций: в 2-х т. Т. 1. Методологические основы и математические методы / Пер. с англ.; под ред. Дж. Моудера, С. Элмграби. – М.: Мир, 1981. – 712 с. 8. Love R.F. Facilities location: models & methods / R.F. Love, J.G. Morris, G.O. Wesolowsky. – North-Holland, 1988. – 296 p. 9. Mirchandani P.B. Discrete Location Theory / P.B. Mirchandani, R.L. Francis. – John Wiley & Sons, 1990. – 555 p. 10. Daskin M.S. Network and discrete location: models, algorithms, and applications / M.S. Daskin. – Wiley, 1995. – 498 p. 11. Owen S.H. Strategic facility location: A review / S.H. Owen, M.S. Daskin // Europ. J. Oper. Res. – 1998. – 111. – P. 423 – 447. 12. Заславська О.В., Декомпозиційний алгоритм

оптимізації прибутку посередника / *О.В. Заславська* // Вісн. Київськ. ун-ту. Серія: фіз.-мат. наук. – 2005. – № 4. – С. 163 – 169.

Надійшла до редколегії 15.03.2013

*Статтю представив д-р техн. наук, головний наук. співробітник
НІСД Яковлев Є.О..*

УДК 519.87

Оптимальное размещение и комплектация аварийно-спасательных служб для реагирования на чрезвычайные ситуации / Д.С. Бирюков, О.В. Заславская // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ", 2013. – № 39 (1012). – С. 3 – 8.

Предложена постановка задачи оптимального размещения аварийно-спасательных служб, определения их численности и профессионального состава с учетом характеристик территорий относительно возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: оптимальное размещение, чрезвычайные ситуации, аварийно-спасательные службы.

УДК 519.87

Optimal allocation and complectation of emergency services to respond on emergency situation / D.S. Biriukov, O.V. Zaslavska // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". 2013. – № 39 (1012). – P. 3 – 8.

In this article we propose formalization of optimal allocation problem for emergency services, to determine their abundance and professional staff under consideration of the characteristics of the territories and distribution of possible emergencies. Refs.: 12 titles.

Keywords: optimal allocation, emergency situation, first responders and rescue teams.

УДК 004.932:616-073.7

Д.А. БОЙКО, аспирант, НТУ "ХПИ",

А.Е. ФИЛАТОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

МЕТОД ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПАТОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР НА МАММОГРАММАХ

Рассмотрены методы цифровой фильтрации маммограмм. Определены особенности влияния различных видов фильтров на методы нахождения границ патологий на маммограммах. Предложен модифицированный метод Собеля и цифровой фильтрации для улучшения визуализации патологии на маммограммах. Ил.: 3. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: цифровая фильтрация, маммограмма, метод нахождения границ.

Постановка проблемы. На сегодняшний день наблюдается рост количества больных раком молочной железы, поэтому выявление этого заболевания на ранних стадиях является важной задачей в медицине [1]. Существует ряд обследований, которые помогают выявить патологии молочной железы: ультразвуковое исследование, маммография, компьютерная томография (КТ), КТ с контрастированием. Из вышеперечисленных методов маммография обладает достаточной информативностью, особенно на ранних этапах нахождения патологии молочной железы (МЖ), является наиболее безопасным и сравнительно недорогим методом. Поэтому создание системы анализа маммограмм для помощи постановки диагноза врачу-маммологу является актуальной задачей.

Анализ литературы. На сегодняшний день существует ряд симптомов, которые помогают выявить отклонения в МЖ. Маммография – раздел медицинской диагностики, занимающийся неинвазивным исследованием молочной железы, преимущественно женской [2]. Данный метод позволяет не только определить наличие изменений в тканях МЖ, но и оценить их размеры, характер, распространенность. При маммографии существует два основных признака наличия рака: микрокальцинаты и/или уплотнения [3]. Данная работа направлена на исследования методов фильтрации, определения границ и улучшения качества изображения для повышения достоверности определения патологии на маммограммах.

Методы повышения качества визуализации патологических структур состоит из следующих этапов [4]:

1. Предобработка – включает в себя базовые функции для обработки

изображения: поворот, обрезка изображения, настройка оборудования.

2. Фильтрация/улучшение – фильтрация наиболее существенный этап, который состоит из двух задач. Первая задача включает в себя уменьшение помех и выявление полезного сигнала. Вторая задача данного этапа – в наименьшей степени исказить исходные изображения. Далее остановимся на данном этапе более подробно.

3. Сегментация – основная задача этапа сегментации заключается в обнаружении однородных областей на изображении, которые обладают общими характеристиками, свойствами. Существует различные методы сегментации, их можно классифицировать следующим образом: пороговые методы, наращивание областей, выделение границ, текстурные методы.

4. Распознавание – служит для отнесения выделенных областей к тому или иному классу.

Для решения задачи визуализации патологических структур необходимо использовать 1 – 3 этапы обработки, которые рассматриваются в данной работе.

Целью данной статьи является разработка метода улучшения качества визуализации паталогических структур на цифровых маммограммах на основе цифровой фильтрации.

Цифровая маммограмма – это двумерный дискретный набор, элементы которого находятся в диапазоне от 0 до 255 оттенков серого (рис. 1). Задача анализа маммограмм стоит в обнаружении различного рода патологий: опухоли, уплотнения, микрокальцинаты, которые на маммограммах находятся в высокочастотной составляющей изображений.

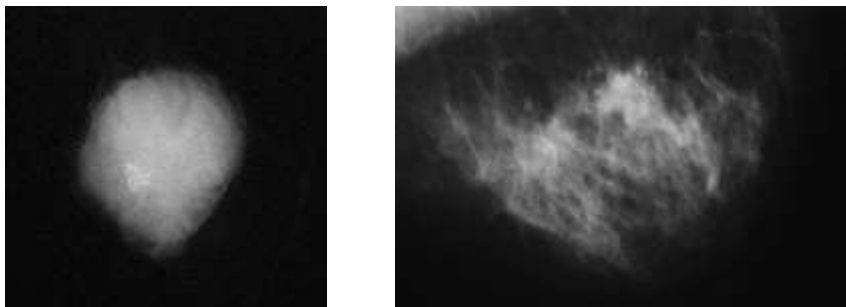


Рис. 1. Маммограммы опухолей с микрокальцинатами

Стандартные подходы к обнаружению границ (операторы Собеля, Прюита, Робетса, метод Канни) [5] на маммограмме не дают удовлетворительные результаты для нахождения патологии.

Анализ изображений показал, что качество визуализации патологий низкое из-за шума. Поэтому для улучшения качества изображения применяются стандартные методы фильтрации исходного изображения. Для исследования эффекта фильтрации был выбран метод медианной фильтрации [6] и обоснована апертура ядра 7×7 , которая составляет среднее значение размера артефакта на маммограмме. Методы, которые были рассмотрены выше, не дали практически никакого улучшения в результатах. При достаточно эффективной фильтрации швов происходит сглаживание не только артефактов, но и микрокальцинатов, спектр которых совпадает с импульсными помехами, что недопустимо при анализе маммограмм. Чтобы снизить сглаживающее действие медианного фильтра на выделения краев патологий, авторами предложено перед этапом медианной фильтрацией выполнить дополнительную фильтрацию повышения четкости границ для мелких компонентов маммограмм [7]. Для этого были проанализированы различные виды фильтров: высокочастотные, низкочастотные, полосовые.

Использование высокочастотных фильтров (ФВЧ) с различными ядрами позволило улучшить дальнейшее нахождение объектов патологических структур [8]. Однако последовательное применение ФВЧ привело к зашумлению маммограммы. Поэтому предложено использовать новое ядро, которое состоит из суммы двух ядер ФВЧ:

$$\begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 5 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -3 & 1 \\ -3 & 10 & -3 \\ 1 & -3 & 1 \end{pmatrix}.$$

Полученный фильтр был применен к обработке изображений, что дало возможность увеличить резкость патологий и усилить границы объектов. На следующем этапе была применена медианная фильтрация с апертурой 7×7 . Методы Канни и Робетса не дали практически никаких результатов, поэтому не приведены на рис. 2. Линейное контрастирование дает возможность увеличить динамический диапазон изображения, улучшая визуализацию изображения. Но данные алгоритмы приводят к сглаживанию резких перепадов яркости изображений, что ухудшает работу фильтров нахождения границ и является недопустимым для обработки данного вида изображений [9].

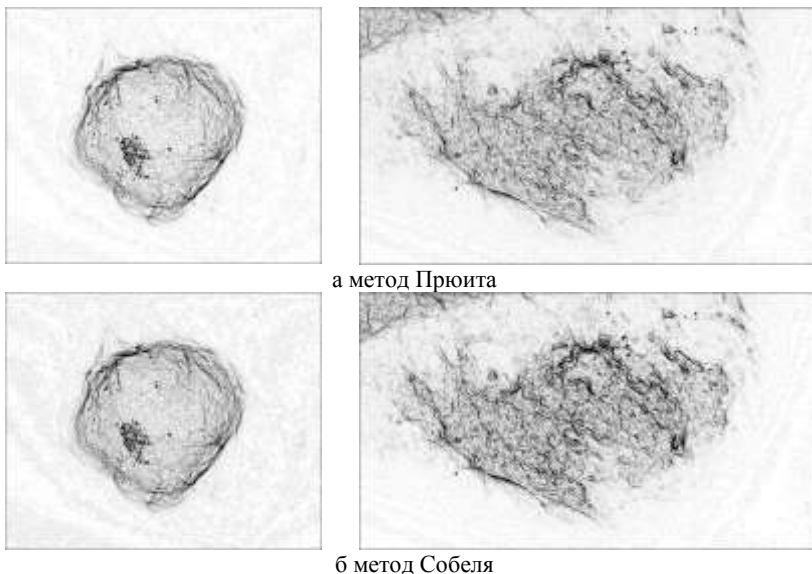


Рис. 2. Результаты метода нахождения границ после высокочастотной и медианной фильтрации (инверсные изображения)

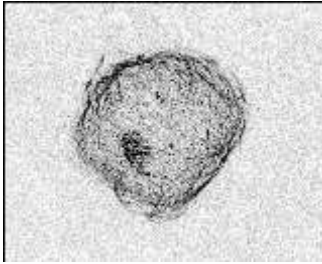
Так же авторами предложена модификация оператора Собеля, которая дала возможность усилить края объектов и перепады границ. Предлагается ввести коэффициент усиления $K \in [1, 5]$, при этом если $K = 1$, то оператор Собеля применяется без изменений (рис. 3):

$$\mathbf{G}_x = K \cdot \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G}_y = K \cdot \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

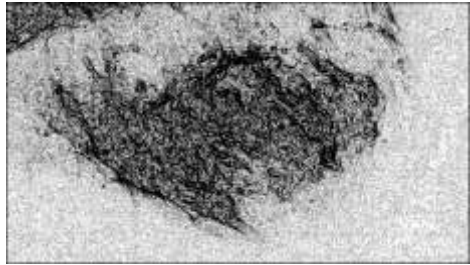
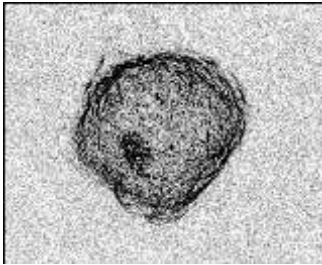
где $\mathbf{G}_x$, $\mathbf{G}_y$ – модернизированные ядра оператора Собеля.

На рис. 3 приведем результаты обработки изображений с помощью модифицированного оператора Собеля.

Оператор Собеля применим лишь к отфильтрованному изображению на завершающем этапе после использования предложенного ФВЧ и медианной фильтрации с апертурой 7×7 , чтобы не усилить помехи и шумы.



а Метод Собеля с модифицированным оператором, $K=3$



б Метод Собеля с модифицированным оператором, $K=5$

Рис. 3. Результаты методов нахождения границ модифицированным оператором Собеля после ФВЧ и медианной фильтрации (инверсные изображения)

Выводы. В работе рассмотрены различные методы обработки цифровых изображений, предложена адаптация методов фильтрации и выделения границ для улучшения качества визуализации патологий на маммограммах. Дальнейшие исследования направлены на анализ свойств модернизированных апертур ФВЧ и метода нахождения границ патологических структур на маммограммах.

Список литературы: 1. Доросевич А.Е. Коммуникационные системы и опухолевый рост: актовая речь / А.Е. Доросевич. – Смоленск, 2007. – 44 с. 2. Терновой С.К. Лучевая маммология / С.К. Терновой, А.Б. Абдураимов – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 128 с. 3. Фишер У. Маммография: 100 клинических случаев / У. Фишер, Ф. Баум. Под общ. ред. проф. Н.В. Заболотской. – М.: МЕДпресс информ, 2009. – 368 с. 4. Пуятин Е.П. Нормализация и распознавание изображений [Электронный ресурс] / Е.П. Пуятин – Режим доступа: <http://sumschool.sumdu.edu.ua/is-02/rus/lectures/pytyatin/pytyatin.htm>, свободный. – 2002. 5. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне – М.: Техносфера, 2007. – 583 с. 6. Апальков И.В. Удаление шума из изображений на основе нелинейных алгоритмов с использованием ранговой статистики / И.В. Апальков, В.В. Хряцев // Тр 17-й Межд конф по компьютерной графике, машинному зрению, обработке изображений и видео, GraphiCon'2007. – М.: МАКС Пресс, 2007. – С. 1-20. 7. Петров Е.П. Нелинейная цифровая фильтрация полутоновых изображений / Е.П. Петров, И.С. Трубин, И.Е. Тихонов.

// Радиотехника. – 2003 – № 5. – С. 7-10.. **8. Гонсалес Р.** Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – С. 194-196. **9. Грузман И.С.** Цифровая обработка изображений в информационных системах / И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.

Поступила в редакцию 01.04.2013

После доработки 17.05.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.

УДК 004.932:616-073.7

Метод візуалізації патологічних структур на мамограмах / Д.О. Бойко, Г.Є. Філатова // Вісник НТУ "ХПИ". Тематичний випуск: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 9 – 14.

Розглянуто методи цифрової фільтрації мамограм. Визначено особливості впливу різних видів фільтрів на методи знаходження границь патологій на мамограмах. Запропоновано модифікований метод Собеля і цифрової фільтрації для поліпшення візуалізації патології на мамограмах. Іл.: 3. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: цифрова фільтрація, мамограма, метод знаходження границь.

UDC 004.932:616-073.7

The method of visualization of pathological structures of mammogram / D.O. Boyko, A.E. Filatov // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 9 – 14.

In this article is considered the methods of digital filtering of mammograms. Were defined the features of the effect of different types of filters on methods for finding edges of pathology on mammograms. A modified method of Sobel and digital filtering were developed to improve the visualization of pathology at the mammograms. Figs.: 3. Refs.: 9 titles.

Keywords: digital filtering, mammogram, method of finding edges.

УДК 651.326

Н.Н. БОНДИНА, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",

А.С. КАЛМЫЧКОВ, студент, НТУ "ХПИ",

О.А. КОЗИНА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

СРАВНЕНИЕ АЛГОРИТМОВ ФИЛЬТРАЦИИ МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО ОЦЕНКАМ ИХ КАЧЕСТВА

Рассмотрены алгоритмы фильтрации медицинских изображений для устранения аддитивного, импульсного и комбинированного шумов. На основе полученных количественных оценок качества изображений, визуальной оценки, а также профилей изображений проведено сравнение алгоритмов фильтрации. Представлены таблицы пиковых отношений сигнал/шум и времени работы программ для определения лучшего алгоритма. Получены рекомендации по выбору фильтров с учётом эффективности и времени их работы. Ил.: 3. Табл.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: алгоритмы фильтрации медицинских изображений, сравнение алгоритмов фильтрации, пиковое отношение сигнал/шум.

Постановка проблемы и анализ литературы. Существует большое количество алгоритмов фильтрации изображений [1 – 3]. Эффективность работы этих алгоритмов зависит как от самого алгоритма, так и от изображения. Для медицинских изображений, получаемых на разных устройствах с помощью различных физических явлений, необходимо правильно подобрать алгоритмы обработки изображения. Сравнение алгоритмов фильтрации с целью выбора лучшего является актуальной проблемой [4, 5]. Нами поставлена задача – разработать систему, позволяющую выбрать подходящий алгоритм фильтрации по объективным критериям качества фильтрации [6], по визуальной оценке и по выведенным профилям изображений.

Необходимо сравнить результаты восстановления изображений, искажённых различными шумами, при воздействии линейными, медианными и разработанными на их основе другими фильтрами. К ним относятся следующие фильтры. Линейные и медианные разделимые – это такие фильтры, в которых фильтрация сначала выполняется по строкам, а затем по столбцам. Привлекательность этих фильтров – в быстроедействие. Взвешенный медианный фильтр [2, 7] при формировании массива значений перед сортировкой повторяет элемент количество раз, соответствующее его весу. Алгоритм ранжирующего фильтра [7] не включает в массив значений для сортировки центральный элемент и после сортировки медиана вычисляется как среднее

арифметическое двух центральных элементов. Центральный элемент апертюры – кандидат на замену – детектируется на импульс, замена на медиану происходит только для импульса. Для такой проверки предлагается ввести массив, определяющий пороги для принятия решения об импульсе,

В алгоритме билатерального фильтра [7] заложена интересная идея: гасить всё, что по расстоянию или по яркости заметно отличается от центрального элемента. Достигается это с помощью весов, рассчитанных как по расстоянию, так и по яркости.

Гибридный – это фильтр, в котором есть подфильтры, например, для апертюры 9×9 можно выделить 9 подфильтров с апертюрами 3×3 . Действие в подфильтрах и всём фильтре представляет собой комбинацию линейных и медианных фильтров.

Цель статьи – сравнение известных алгоритмов фильтрации изображений по удалению аддитивного гауссова, импульсного и комбинированного шумов на основе полученных количественных оценок качества изображений для выбора методов фильтрации.

Разработана система на языке C# для решения этой задачи. Проведенные эксперименты показывают, что линейной и медианной фильтрации в большинстве случаев вполне достаточно, чтобы устранить шум в изображении. Размеры апертюры также влияют на качество фильтрации. Чем больше апертюра, тем эффективнее усреднение для устранения шума, но вместе с тем усредняются и детали самого изображения, т.е. происходит размытие, или расфокусировка изображения. В меньшей степени этот недостаток присущ медианному фильтру, но, всё же, искажение границ имеет место и здесь, в частности, иногда происходит утолщение границ. Однако в некоторых случаях размытие изображения используется в положительном смысле, например, для удаления мелких деталей. В фильтрах, повышающих чёткость изображения, сначала используют размытие изображения, а потом к полученному изображению прибавляют разность между исходным и размытым изображениями [8]. Результат такого преобразования показан на рис. 1, а, б. Алгоритм повышения чёткости изображения выделил границы на нём. Известно [1], что алгоритм медианной фильтрации настроен на удаление экстремальных значений, попадающих в апертюру фильтра, именно поэтому медианные фильтры рекомендуются для устранения импульсного шума. На рис 1, в, г видно, что медианный фильтр хорошо справляется и с комбинированным шумом, детали изображения при этом несколько размыты.

Сравнение алгоритмов линейной, медианной и гибридной фильтрации. В табл. 1 приведены значения пикового отношения сигнал/шум для изображений, зашумленных аддитивным гауссовым шумом с математическим ожиданием $m = 0$; и дисперсией σ^2 ($1 - \sigma^2 = 0,2$; $2 - \sigma^2 = 0,5$) и импульсным шумом с плотностью p ($1 - p = 0,2$; $2 - p = 0,3$).

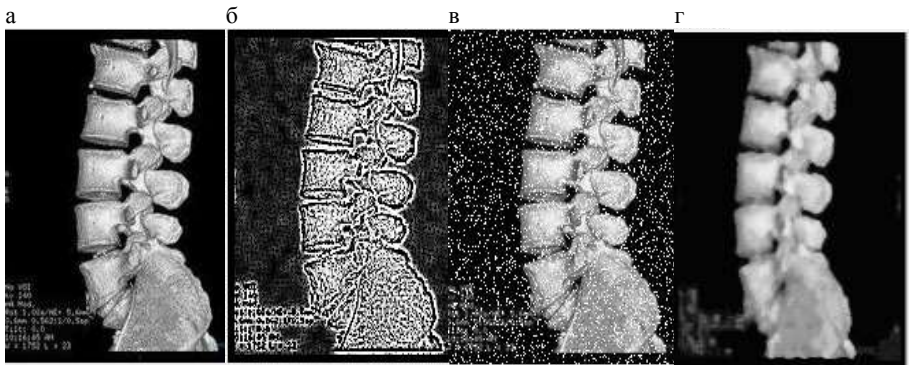


Рис. 1. Результат обработки изображений: а – исходное изображение, б – изображение после повышения чёткости, в – изображение, зашумлённое комбинированным шумом $\sigma^2 = 0,2$, $p = 0,2$, г – результат обработки медианным фильтром

Итерации, или повторное применение фильтров особенно эффективно работают в случае медианных или других методов, созданных на их основе. Время фильтрации для всех фильтров указано относительно медианного фильтра (5×5).

Расчёты оценок сигнал/шум были выполнены для классических линейных и медианных фильтров. Биномиальные фильтры [2] – это фильтры, у которых коэффициенты уменьшаются по мере удаления от центра и тем самым уменьшают вклад этих элементов, что влечёт за собой меньшее размытие изображения. Значения массива порогов в ранжирующем фильтре определены в ходе экспериментов над конкретными изображениями [7] и подойдут ли они нам, вопрос открытый. Во избежание проблем с массивом порогов, мы сравниваем центральный элемент с медианой и, если он незначительно отличается от медианы, то принимаем решение, что это не импульс. При этом меру незначительности можно задавать. Если центральный элемент – не импульс, то его не меняют, в противном случае на место центрального элемента записывается медиана.

В табл. 2 приведены оценки сигнал/шум для комбинированного шума I – $\sigma^2 = 0,2$; $p = 0,2$; II – $\sigma^2 = 0,3$; $p = 0,3$. В столбцах 1 приведено

значение пикового отношения сигнал/шум, в столбцах 2 приведено число итераций, за которое происходит фильтрация с хорошей визуальной оценкой. Здесь добавлены гибридные фильтры 3×3. Гибридный 1: подфильтры обрабатываются как медианные фильтры, затем происходит усреднение по выходам подфильтров. Гибридный 2: в подфильтрах работает усреднение, затем медианный фильтр – по выходам подфильтров.

Таблица 1

Отношение сигнал/шум по результатам фильтрации для разных алгоритмов

Вид фильтра \ Шум	Аддитивный шум		Импульсный шум		Время
	1	2	1	2	
Зашумлённое изображение	36,93	24,98	17,83	21,39	-
Линейный 5×5	38,11	28,79	23,28	23,32	0,25
Медианный 5×5	32,93	30,33	29,52	33,00	1
Биномиальный 5×5	39,59	28,76	22,09	22,81	0,24
Линейный разделимый	39,19	27,73	21,37	21,40	0,1
Взвешенный медианный	31,95	29,10	28,04	31,45	1,62
Ранжирующий	36,48	27,53	28,34	33,64	1
Билатеральный	37,47	27,61	21,42	27,43	0,42
Медианный разделимый	33,47	23,62	16,30	21,34	0,38

Таблица 2

Отношение сигнал/шум по результатам обработки изображений

Шум Вид фильтра	Комбинированный шум				Время одной итера- ции
	I		II		
	1	2	1	2	
Зашумлённое изображение	21,80	-	18,79	-	
Линейный 5×5	30,05	1	25,07	1	0.25
Медианный 5×5	32,81	1	32,32	1	1
Биномиальный 5×5	29.52	1	24, 71	1	0,24
Линейный разделимый	26,54	1	22,73	1	0,1
Взвешенный медианный	31,37	1	30,24	1	1,62
Ранжирующий	35,45	1	32,01	3	1
Билатеральный	28,64	1	25.63	2	0,42
Медианный разделимый	22,81	1	17,74	1	0,38
Гибридный 1	34,64	1	31,58	1	1,21
Гибридный 2	28,32	1	24,14	1	0.47

В случае гауссова аддитивного шума небольших значений лучшие результаты показали биномиальный и линейный разделимый фильтры

(примерно 3 дБ), далее линейный фильтр (1,5 дБ). При больших значениях шума лучшие – медианный и взвешенный медианный фильтры (примерно 6 дБ), линейные и биномиальные фильтры (примерно 4 дБ) и почти на 3 дБ снижают уровень шума ранжирующий и билатеральный фильтры. Для импульсного шума хорошие результаты показали медианный, ранжирующий и взвешенно-медианный фильтры (11 – 12 дБ). Комбинированный шум лучше всего удаляется ранжирующим и гибридным фильтрами с медианными подфильтрами (13 – 14 дБ), несколько хуже медианный и взвешенно-медианный (10 – 11 дБ). Подтверждается известный факт, что чем выше уровень шума, тем больший процент его удаляется при фильтрации.

На рис. 2 приведены результаты фильтрации ранжирующим и медианным фильтрами в случае комбинированного шума $\sigma^2 = 0,2$, $p = 0,2$. Следует отметить, что ранжирующий фильтр (рис. 2, в) лучше сохранил мелкие детали, чем медианный (рис. 2, г).

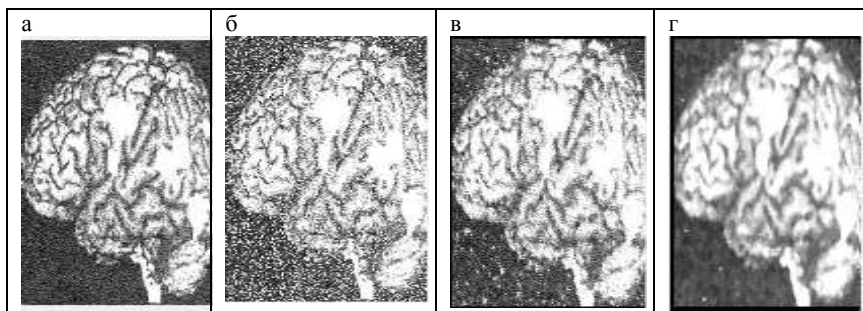


Рис. 2. Результат обработки изображений: а – исходное изображение; б – искажённое изображение; в – изображение, восстановленное ранжирующим фильтром; г – изображение, восстановленное медианным фильтром

По времени работы фильтров лучшим является линейный и разработанные на его основе фильтры, хуже всего взвешенно-медианный.

На рис. 3 показаны результаты работы медианного и гибридного фильтров с медианными подфильтрами. Для небольшого уровня шумов оба фильтра дают хорошие результаты, однако у медианного фильтра показатели лучше, отношение сигнал/шум увеличивается на 10 дБ, у гибридного – на 7 дБ.

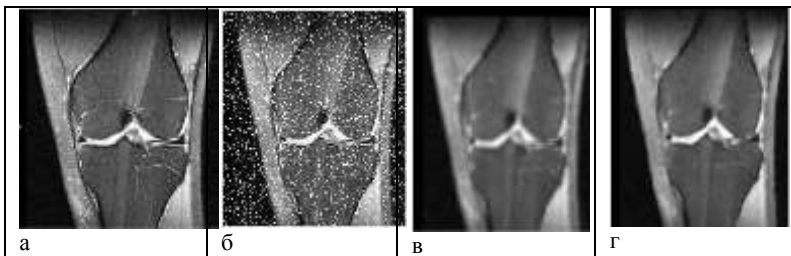


Рис. 3. Результат обработки изображений: а – исходное изображение; б – искажённое изображение, комбинированный шум, $\sigma^2 = 0,1$, $p = 0,1$; в – изображение, восстановленное гибридным фильтром с медианными подфильтрами; г – изображение, восстановленное медианным фильтром

Выводы.

1. Из анализа показателей отношения сигнал/шум для разных методов фильтрации следует, что аддитивный гауссов шум лучше всего устраняется биномиальными, затем линейными фильтрами. Удаление импульсного шума лучше всего выполнять с помощью медианного, ранжирующего фильтра, а для комбинированного шума лучше всего подходят ранжирующий, гибридный с медианными подфильтрами, а также медианный фильтр.

2. По быстродействию лучшими являются линейные фильтры и основанные на них, затем медианные фильтры и основанные на них. Ранжирующий фильтр в том варианте, как описан здесь, имеет такое же быстродействие, как и медианный, гибридные несколько уступают медианным.

3. Приведенные данные подтверждают, что часто достаточно линейных и медианных фильтров [8], а также, что конкретные задачи требуют умелого комбинирования разных методов.

Список литературы: 1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 2. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 3. Бондина Н.Н. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, В.Э. Кривенцов // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – 2012. – № 38. – С. 14–25. 4. Воскобойников Ю.Е. Сравнительный анализ двух классов алгоритмов фильтрации изображений / Ю.Е. Воскобойников, А.В. Гочаков // Автометрия. – 2011. – № 1. – С. 17-29. 5. Галалу В.Г. Оценка эффективности цифровой фильтрации периодических и импульсных помех на основе локальных статистик / В.Г. Галалу, В.В. Сарычев, М.М. Клопот // Автометрия. – 2009. – № 4. – С. 111-116. 6. Журавель И.М. Краткий курс теории цифровой обработки изображений / И.М. Журавель // matlab.exponenta.ru/imageprocess/book2 7. Бухтояров С.С. Удаление шума из изображений нелинейными цифровыми фильтрами на основе ранговой статистики: автореф. дис. канд. техн.: 05.12.04 / Бухтояров Сергей Сергеевич. – М., 2007. – 20 с. 8. Поляков А.Ю. Методы и алгоритмы

компьютерной графики в примерах на Visual C++ / А.Ю. Поляков, В.А. Брусенцов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 560 с.

Поступила в редакцию 20.03.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.

УДК 651.326

Порівняння алгоритмів фільтрації медичних зображень за оцінками їх якості / Бондіна Н.М., Калмичков О.С., Козіна О.А. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 15 – 21.

Розглянуто алгоритми фільтрації медичних зображень для усунення адитивного, імпульсного і комбінованого шумів. На основі одержаних кількісних оцінок якості зображень, візуальної оцінки, а також профілів зображень проведено порівняння алгоритмів фільтрації. Представлено таблиці пікових відносин сигнал/шум і часу роботи алгоритмів для визначення кращого алгоритму. Приведено рекомендації по вибору фільтрів з урахуванням ефективності і часу їх роботи. Іл.: 3. Табл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: алгоритми фільтрації медичних зображень, порівняння алгоритмів фільтрації, пікове відношення сигнал/шум.

UDC 651.326

Comparison of filtering algorithms of medical images on their quality indexes / Bondina N.N., Kalmychkov A.S., Kozina O.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 15 – 21.

Algorithms filtering of medical images to eliminate additive, pulse and combined noise were considered. Algorithms of filtering were compared based on received quantitative estimates of image quality, visual evaluation and image's profiles. Tables of peak signal/noise ratio and the time of algorithms executing were represented. The recommendations for the selection of filters based on effectiveness and timing of their work were proposed. Figs.: 3. Tabl.: 2. Refs.: 8 titles.

Keywords: algorithms of filtration medical images, comparison of algorithms of filtration, peak signal/noise ratio.

УДК 651.326

Н.Н. БОНДИНА, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
В.Э. КРИВЕНЦОВ, студент, НТУ "ХПИ"

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ В МЕДИЦИНСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Дано описание метода выделения границ с помощью рангового обнаружителя и его модификации. Рассмотрено получение специальной статистики для принятия решения о границе. Проведено сравнение результатов выделения границ описанным методом с другими известными методами. Представлены результаты применения метода и способ выбора необходимых порогов, что явилось основой рекомендаций по использованию алгоритмов этих методов. Ил.: 2. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: выделение границ, медицинское изображение, порог.

Постановка проблемы и анализ литературы. Статистические характеристики изображения широко используются при их обработке [1 – 5]. Одним из этапов обработки изображений является выделение границ или контуров на изображении. Эта задача по-прежнему актуальна [6, 7]. В [8] описан метод рангового обнаружителя выделения границ с использованием специальной статистики для принятия решения о принадлежности пикселя границе. Представляет интерес проследить влияние порога, используемого для вычисляемой статистики, на выделение границ, а также сравнить другие методы выделения границ с ранговым обнаружителем и сформулировать рекомендации по его использованию.

При выделении контуров происходит замена исходного полутонового изображения преобразованным, в котором вместо исходных яркостей подставлены локальные контурные признаки. Новое изображение должно отвечать определённым требованиям, главное из которых – получение устойчивых результатов контурной обработки. Таким требованиям отвечает ранговый обнаружитель. Эксперименты с ранговым обнаружителем показали необходимость модификации этого метода.

Цель статьи – рассмотрение метода выделения границ с помощью рангового обнаружителя и его модификации. Методы используют специальную статистику изображения для определения принадлежности пикселя границе.

Метод выделения границ с помощью рангового обнаружителя и его модификация. Задача выделения границ в изображении тесно связана с сегментацией изображения. Сегментация подразделяет изображение на отдельные области или объекты [1, 2]. Алгоритмы сегментации изображений основываются на одном из двух базовых свойств сигнала яркости: разрывности и однородности. Поиск резких изменений сигнала, перепадов яркости и их усиления приводит к методам выделения границ. Разбиение изображения на области, однородные в смысле некоторых выбранных критериев, приводит к методам сегментации. Как указывается в [1], выделение контуров долгие годы являлось основой сегментации, в том смысле, что выделение контуров предваряет сегментацию. В разработанной нами системе представлены такие методы выделения границ: метод Собела, метод Превитт, использование лапласиана с гауссианом и метод с использованием рангового обнаружителя [1, 2, 8]. Результаты работы этих алгоритмов представлены на рис. 1. В качестве исходного взято изображение магнитно-резонансной томографии (рис. 2, а).

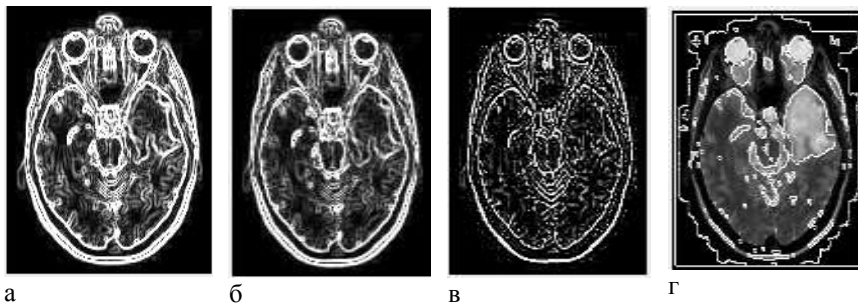


Рис. 1. Выделение границ разными методами: а – ультразвуковое изображение; б – изображение позитронно-эмиссионной томографии; в – изображение магнитно-резонансной томографии; г – рентгеновское изображение

На практике при выделении границ чаще всего используются маски Собела и Превитт. У каждой из масок сумма коэффициентов равна нулю, так что на областях с постоянной яркостью они будут давать нулевой отклик, т. е. потемнение, перепады яркости будут выделены светлыми линиями. Это хорошо видно на рис. 1, а, б. Лапласиан в чистом виде, как правило, для обнаружения контуров не используется, потому что он состоит из производных второго порядка, и поэтому излишне чувствителен к шуму. Лапласиан следует применять в сочетании со сглаживанием, в качестве сглаживающего оператора выбирают гауссиан [1]. Результат представлен на рис. 1, в. Изображения после метода Собела

и Превитт очень мало отличаются. Границы чётко выделены, к недостаткам можно отнести выделение границ внутри и слева в объекте, это – ложные границы. Хорошо выглядит препарат после работы лапласиана с гауссианом, хотя здесь не все детали прописаны. В зависимости от задачи можно выбрать в качестве решения один из этих вариантов. Лучшим вариантом выделения границ является метод, использующий ранговый обнаружитель, рис. 1, г. Здесь отмечены все детали и нет ложных контуров. В основе этого метода лежит ранговый обнаружитель, описанный в [8]. Достоинством метода, как доказано в [8], является контроль ложного срабатывания при обнаружении контуров. Первым шагом при такой обработке является декорреляция фона, которая с учётом модели фона изображения определяется процедурой:

$$\tilde{y}(i, j) = y(i, j) - \alpha[y(i-1, j) + y(i+1, j) + y(i, j-1) + y(i, j+1)], \quad (1)$$

где $y(i, j)$ – исходное изображение, “ $\sim$ ” обозначает результат преобразования изображения, α – параметр, от которого зависят свойства преобразованного изображения.

Выражение в квадратных скобках (1) представляет фон изображения и описывает влияние ближайших соседей на данный пиксель. Фактически выражение в квадратных скобках есть предсказание значения в данной точке. В алгоритме используются значения двух выборок: рабочей (U) и опорной (V). Если элементы этих двух выборок независимы, то может быть достигнута независимость вероятности ложного срабатывания от законов распределения U и V . Можно показать [4], что процедура преобразования изображения по формуле (1), которая названа декорреляцией фона, делает векторы U и V независимыми.

Выборки U и V представляют собой обычные маски, используемые в алгоритмах выделения контуров. Эти маски позволяют выделить в изображении элементы u_i , v_j с объёмами выборок n и m соответственно, после чего вычисляется решающая статистика:

$$z(U, V) = \sum_{i=1}^{n_U} \eta(u_i - v_j), \quad \eta(x) = \begin{cases} 1, & \text{при } x \geq 0, \\ 0, & \text{при } x < 0. \end{cases} \quad (2)$$

Решающая статистика показывает, в скольких точках маски u_i превышает v_j (так работает функция $\eta(x)$) и сравнивается с порогом. Если решающая статистика превышает порог, то локальный контурный признак имеет место и граница определена, в противном случае, принимается решение об отсутствии границы. Таким образом, данный алгоритм подготовит препарат, похожий на изображения 2, а и 2, б.

При предварительной подготовке изображения (декорреляции фона) в правой части (1) может получиться отрицательное число. Такой вариант описан в [1] при вычислении лапласиана, который также содержит выражение в квадратных скобках (1). Если просто обнулить эти элементы, то большая часть информации может быть утрачена. В [1] предлагается и второй вариант: взять абсолютную величину от выражения в квадратных скобках (1). При работе с алгоритмом на реальных изображениях мы увидели, что вариант с отрицательными значениями не так уж и редок, даже при небольших значениях α . Мы попробовали оба варианта: при обнулении границы не выделяются.

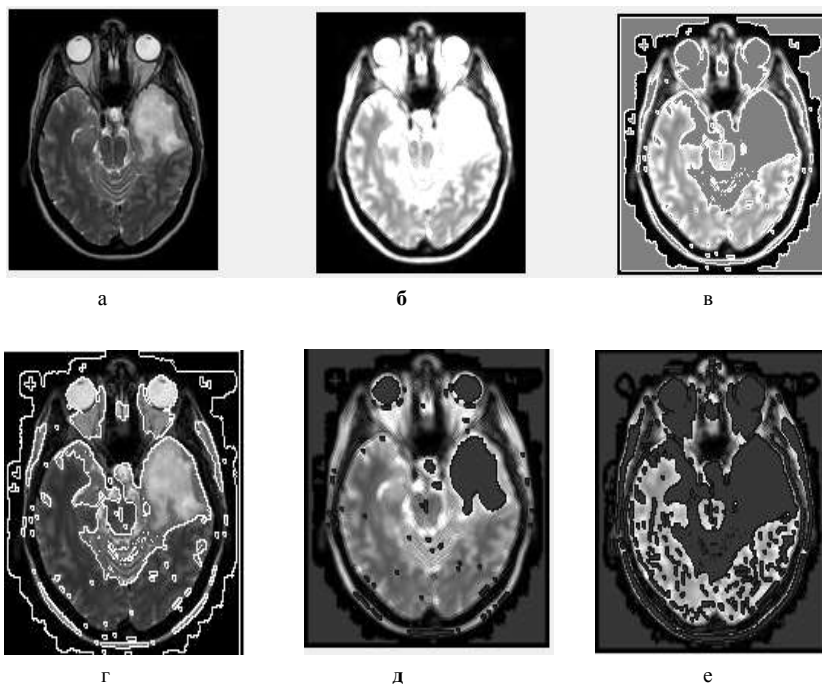


Рис. 2. Выделение границ с помощью рангового обнаружителя: а – исходное изображение, б – декорреляция фона, в – сегментация и выделение границ, г – нанесение выделенных границ на исходное изображение. д – изменение параметров $\alpha = 1$, порог = 70; е – изменение параметров $\alpha = 1$, порог = 55.

В случае использования абсолютной величины после декорреляции фона и при правильном выборе порога для решающего правила (2), выделяются не контуры изображения, а области, в которых это правило

выполняется, то есть сначала имеет место сегментация. Затем, отделяя эти области от фона (по цвету), определяем границы. Не составляет особого труда, после этой операции, нанести границы на исходное изображение. Все этапы этой процедуры приведены на рис. 2, а, б, в, г. Сегментация, выделение контуров и нанесение выделенных границ на исходное изображение сопровождается окрашиванием зон интереса в разные цвета, что убедительно свидетельствует в пользу модификации алгоритма рангового обнаружения.

При использовании методов Собела и Превитт (рис. 1, а, б) границы выделены, но нет возможности повторить обработку с другими параметрами и избавиться от ложных контуров в полученном изображении. Этого недостатка лишён модифицированный алгоритм рангового обнаружения. Здесь есть два параметра, которые позволяют менять выделенные границы, а их подбором можно получить границы, соответствующие поставленной задаче. На рис. 2, д, е представлены варианты обработки изображений с разными значениями параметра α (декорреляция фона) и порога (сегментация). В этих вариантах контуры отмечены чёрным цветом, поэтому картинка несколько отличается от 2, в.

Лучшими следует признать варианты рис. 2 г, д и выбрать из них тот вариант, который ближе условиям поставленной задачи. При увеличении параметра α и уменьшении порога в изображении появляются ложные контуры. При уменьшении параметра α и увеличении порога сегментация не происходит. Таким образом, изменением параметра декорреляции можно управлять выделением контуров.

Выводы.

1. Модификация метода рангового обнаружителя применима к медицинским изображениям, полученным на разных устройствах.
2. Модифицированный метод рангового обнаружителя сначала производит сегментацию изображения, а затем выделяет границы.
3. При сравнении с методом Собела, Превитт, лапласиана с гауссианом модифицированный метод рангового обнаружителя показал лучшие результаты.
4. Подбором двух параметров при работе модифицированного метода рангового обнаружителя можно добиться выделения контуров в соответствии с поставленной задачей.

Список литературы: 1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с. 2. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне. – М.: Техносфера, 2007. – 584 с. 3. Бондина Н.Н. Сравнительный анализ алгоритмов фильтрации медицинских изображений / Н.Н. Бондина, А.С. Калмычков, В.Э. Кривенцов // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – 2012. –

№ 38. – С. 14-25. **4.** *Белявцев В.Г.* Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры / *В.Г. Белявцев, Ю.Е. Воскобойников* // Автометрия. – 1998. – № 3. – С. 18-27. **5.** *Калинин П.В.* Статистические, нейросетевые и комбинированные алгоритмы фильтрации аппликативных помех на изображениях / *П.В. Калинин, А.А. Сирота* // Автометрия. – 2012. – № 6. – С. 18-28. **6.** *Киричук В.С.* Быстрый алгоритм выделения граничных точек на изображениях / *В.С. Киричук, В.А. Куликов* // Автометрия. – 2011. – № 3. – С. 19-24. **7.** *Фурман Я.А.* Восстановление координат точек на поверхности объекта по серии изображений его теней / *Я.А. Фурман, Р.В. Ерусланов, И.Л. Егошина* // Автометрия. – 2011. – № 6. – С. 16-27. **8.** *Гребенчиков К.Д.* Ранговый обнаружитель локальных контурных признаков изображения с фиксированным уровнем ложных срабатываний / *К.Д. Гребенчиков, А.А. Спектор* // Автометрия. – 2001. – № 4. – С. 119-127.

Поступила в редакцию 20.03.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.

УДК 651.326

Використання статистичних характеристик для покращення медичних зображень / Бондіна Н.М., Кривенцов В.Е. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 22 – 27.

Дано опис методу виділення меж за допомогою рангового виявника і його модифікації. Розглянуте отримання спеціальної статистики для ухвалення рішення про межу. Проведено порівняння результатів виділення меж методом, що описаний, з іншими відомими методами. Представлено результати застосування методу і спосіб вибору необхідних порогів, що з'явилося основою рекомендацій по використуванню алгоритмів цих методів. Лл.: 2. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: виділення меж, медичне зображення, поріг .

UDC 651.326

Using of statistical characteristics to marking of borders in medical images / Bondina N.N., Kriventsov V.E. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 15 – 27.

Description of method of allocation of borders is given by a ranking detector and his modifications. The receipt of the special statistics for the decision-making about a border is considered. Comparison of results of allocation of borders is conducted by an detector method with other known methods. The results of application of method and method of choice of necessary thresholds are represented, that was basis of recommendations on the use algorithms of these methods. Figs. 2. Refs.: 8 titles.

Keywords: selection of borders, medical image, threshold.

УДК 65.262.1

И.Л. БУКАТОВА, д-р физ.-мат. наук, с.н.с., ИРЭ им.

В.А. Котельникова Российской Академии наук, Москва, Россия

ЭВОИНФОРМАТИКА И ГЛОБАЛИЗАЦИЯ: АНАЛИЗ СРЕДСТВ ФРАГМЕНТАРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На основе средств эвоинформатики предлагается решение глобальных проблем, порожаемых процессами глобализации: интеграцией, интеллектуализацией и др. Анализируется методология фрагментарного моделирования, в которой по взаимосвязям вложенных систем создаются частные модели глобальных систем. Описаны концепции, модели и метатехнологии решения глобальных проблем. Библиогр.: 12 назв.

Ключевые слова: эвоинформатика, глобальные проблемы, глобализация, интеграция, интеллектуализация, фрагментарное моделирование, вложенные системы, метатехнология.

Постановка проблемы. Статья посвящена исследованию и анализу перспектив эффективного решения проблем, порожаемых процессами глобализации, на основе средств эволюционной информатики, то есть совокупности алгоритмических, программных и аппаратных средств, имитирующих механизмы естественной эволюции при синтезе структур эффективной обработки данных в условиях недостаточности информации, её динамики и неопределённости.

Процессы глобализации в настоящее время охватывают все сферы деятельности человека и приводят к многочисленным и значительным глобальным проблемам современной цивилизации, остро ставя тему единой судьбы человечества и сохранения жизни на Земле, проявляясь в различных формах экспансии: экономической, информационно-коммуникативной, социо-культурной, антinationальной и др.

На эффективное решение задач управления, адекватный учёт знаний и прогноз последствий глобализации, в том или ином аспекте, ориентированы интеллектуальные информационные технологии, которые являются интеллектуальным капиталом современной организации экономического, технологического и информационного хозяйствования, основой управления интеллектуальными корпоративными знаниями в любой сфере деятельности.

Актуальность технологий эвоинформатики в решении глобальных проблем обусловлена тем, что эволюционные вычисления предполагают неполноту и неопределённость информации, априори неизвестную динамику данных, знаний, метазнаний, то есть условия, в которых возникают трудности применения интеллектуальных технологий.

© И.Л. Букатова, 2013

Анализ литературы. С конца 20-го столетия феномен "глобализация" находится в фокусе всеобщего обсуждения, многопланового анализа и всестороннего изучения как характеристики интеграционных и дезинтеграционных процессов планетарного масштаба в области экономики, политики, культуры, а также антропогенных изменений окружающей среды, которые затрагивают интересы всего мирового сообщества [1 – 7]. Для этого периода характерно огромное число публикаций (список их практически бесконечен [4]), в которых излагается история процесса глобализации, сама глобализация принимается за объективную данность, а предметом изучения выступает ее влияние на экономические и/или социальные процессы, на отдельные регионы мира и т.п.

В исследованиях последних лет всё более серьёзно и углублённо анализируются теоретико-методологические проблемы глобализации, изучаются вопросы создания новых методологий и технологий успешного решения глобальных проблем [3, 5]. В частности, в качестве методологических принципов изучения процессов глобализации рассматриваются факторы естественной эволюции и формирование на их основе глобальных систем, обсуждаются концептуальные принципы эволюции глобализации и предлагается концепция эволюционной глобалистики [5], в которой глобализация – это эволюционный процесс создания глобальной системы "человек – общество – природа" на принципах эволюции и коэволюции глобальных процессов.

Таким образом, можно констатировать концептуальное сближение современных глобальных исследований с парадигмой эвоинформатики, а также своевременность анализа общей проблемы данной статьи.

В условиях глобализации формирование и развитие глобальной системы реализуется процессами и технологиями интенсивной информатизации, в частности, интеллектуализации, которая в конце прошлого века привела к необычайному распространению интеллектуальных информационных технологий [6 – 8]. Они ориентированы на поддержку принятия решений в различных сферах практической деятельности: в стратегическом менеджменте, при управлении ресурсами, в реинжиниринге, в работе ситуационных центров, в процессах электронизации деятельности органов власти, бизнеса и населения [6 – 8]. Среди инструментариев интеллектуальных информационных технологий определённое место отводится эволюционным вычислениям, применение которых требует, однако, конкретизации в условиях глобализации. Эта задача особенно актуальна, поскольку в современном конкурентном социо-технологическом

пространстве интеллектуальные информационно-коммуникационные технологии, знания и метазнания повсеместно являются стратегическим ресурсом и интеллектуальным капиталом [7]. Требуемая конкретизация частично реализуется в работах [9, 10], в которых с позиций целостно-эволюционного подхода проведен анализ основных процессов интеллектуализации, являющихся доминирующим фактором глобализации. Рассмотрена проблема создания на основе целостно-эволюционного подхода интеллектуальных технологий (И-технологий) как средств поддержки процессов анализа и управления в социальных системах. Определены методики и процессы, на основе которых формируются интегрированные знания и создаются целостно-эволюционные интеллектуальные метатехнологии для эффективного решения задач моделирования, управления, прогноза и принятия решений в различных сферах научной и практической деятельности.

При этом установлено, что эффективное решение проблем крупномасштабных систем, учитывающее различные процессы глобализации и особенности возникающих проблемных ситуаций, сопряжено с непреодолимыми трудностями создания адекватных многокомпонентных моделей, имеющих в системе "Человечество" сложную, иерархическую пространственно-временную структуру.

Поэтому в данной работе ставится задача сформировать *частные модели (фрагменты)* системы путём расширения набора учитываемых функций и процессов глобальной системы, чтобы затем использовать их в исследованиях глобальных проблем.

Цель работы. На основе целостно-эволюционного подхода и средств эвоинформатики разработать **когнитивно-эволюционную методологию фрагментарного моделирования** проблемных (исследуемых) ситуаций глобальных систем.

Анализ проблемы фрагментарного описания. Фактически человечество давно идет по пути гармонизации связей и отношений в глобальной системе "Человек – Общество – Природа", осуществляя, в частности, переход от биосферы к ноосфере, решая проблемы экономического, технологического и политического развития, эффективного взаимодействия людей, общества и природы [3]. Будучи информационной и технологической, глобальная система "Человечество" является иерархической самоуправляющейся системой, характеризуемой, в первую очередь, сложной организационной и технической структурой, каждый фрагмент которой находится в условиях постоянных изменений и также является системой со сложной структурой [11].

Процесс развития системы "Человечество" это, в первую очередь, процесс монотонного увеличения её потенциальной иерархической сложности и разнообразия. По мнению [11], это «вполне регулярный процесс линейной экспансии Человечества, вполне специфицируемый в его пространственно-временных и технологических параметрах (информационных, инфраструктурно-коммуникационных и производственно-рабочих)». Кроме того, в системе "Человечество" имеют место так называемые эволюционно-циклические прогресс/регресс процессы, то есть поведенческо-приспособительные процессы людей, которые целенаправленны на отслеживание экстремального значения целевых критериев, в основном энергетического характера.

Заметим, что с позиций целостно-эволюционного подхода в условиях глобализации этими процессами изменяются **системообразующие факторы** системы "Человечество", то есть факторы, которые определяют функции, составляющие собственную целостность системы; функции в рамках смежной вложенной системы более высокого уровня; цель от вложенной системы более высокого уровня; диапазон параметров управления и т.п. Большинство этих системообразующих факторов отражает процессы интеграции, информатизации и, как ранее показано [9, 10], интеллектуализации, через которые осуществляется глобализация.

Таким образом, анализ проблемы фрагментарного описания и исследований на основе частных моделей изучаемых аспектов и процессов развития определяет следующие требования. Изучаемый фрагмент как иерархическая система должен быть эффективным и устойчивым, в его структуре должны быть представлены и учтены системообразующие факторы всех вложенных систем, а эволюционно-циклические прогресс/регресс процессы гармонично согласованы.

Основные концептуальные принципы когнитивно-эволюционной методологии фрагментарного моделирования. В наших исследованиях на основе целостно-эволюционного подхода разработана *методология фрагментарного моделирования*, в которой исследуемый фрагмент глобальной системы реализует целостный процесс познания: объект познания – макросистема, субъект познания – метасистема или <человек+И-технология>, средство отображения объекта в субъекте – И-технология, результат познания – накопленная база знаний.

Концепцию когнитивно-эволюционной методологии фрагментарного моделирования в целом составляют следующие компоненты: описание концептуальных принципов, система базовых понятий, когнитивные процессы, модели интеграции интеллектуальных функций, метамодель

процессов интеллектуализации, метамодель когнитивно-продуктивной метатехнологии. Опишем далее некоторые из них, наиболее значимые.

1. Знание понимается как фиксация существования объективных связей между предметами реального мира, которая осуществляется в процессе приобретения знаний в виде познавательной модели (ПМ) на основе той или иной языковой конструкции.

2. Приобретение знаний в структуре "вложенных" систем включает следующие компоненты: знание реального мира (когнитивное воздействие макросистемы), сознание или ПМ (элементы интегрированных баз знаний), средства синтеза, анализа или интерпретации и средства использования ПМ (процессы интеллектуализации и целостно-эволюционной интеграции – продуктивное воздействие макросистемы).

3. Знания реального мира поступают в виде массива примеров (когнитивных воздействий макросистемы) об изучаемом объекте. При этом в качестве базового элемента интегрированного знания рассматривается структурированная модель [9, 10].

4. Процесс целостно-эволюционной интеграции знаний является открытой системой, для которой характерны эволюционные процессы системообразования: коррекция, обучение, самообучение, адаптация, взаимоадаптация, самоорганизация. Интеграция эволюционных процессов осуществляется когнитивно-продуктивной технологией, состав которой актуализируется в соответствии с проблемной ситуацией, то есть в соответствии с когнитивным и продуктивным воздействием вложенных систем.

5. Формирование нового знания или приобретение некоторой совокупностью структурированных моделей системного свойства, осуществляется в процессе моделирования главных факторов естественной эволюции: наследственной изменчивости – предпосылка эволюции, борьбы за существование как контролирующего и направляющего фактора, отбора как преобразующего фактора, а также за счет кооперации эволюционных процессов в соответствии с актуализированной когнитивно-продуктивной технологией.

6. Процесс **когнитивно-эволюционного фрагментарного моделирования** включает также процессы целостно-эволюционной интеграции и целостно-эволюционной интеллектуализации [10]. Первый из них настраивает технологические и технические средства на выполнение того или иного когнитивного процесса, а второй выполняет конкретный когнитивный процесс и передает результат-аттрактор в интегрированную базу знаний данной вложенной системы.

7. Семейство базовых элементов для аппаратной реализации средств эвоинформатики включает подсемейство известных нейрноподобных элементов, дополняя их механизмом управления своим функционированием и переменными связями на другие элементы.

8. Аппаратная реализация когнитивно-продуктивной метатехнологии возможна в виде нейроплаты или приставки к персональному компьютеру, созданными на основе современной технологии на микронных и субмикронных (нано) уровнях.

Выводы.

1. Предложено создавать *частные модели* (фрагменты) глобальной системы путём расширения набора учитываемых функций и процессов, которые затем согласованно эволюционируют.

2. Установлены основные методические требования, которым должны удовлетворять фрагменты, формируемые на основе целостно-эволюционного подхода: а) в структуре фрагмента должны быть представлены и учтены системообразующие факторы всех вложенных систем; б) в условиях развития глобальной системы выделенные факторы сохраняют целостность и/или гармоничную устойчивость при реализации целостного процесса познания в совокупности вложенных систем.

3. Разработана и концептуально представлена когнитивно-эволюционная методология фрагментарного моделирования, включающая обоснованные ранее концепции эвоинформатики, процессы формирования знаний и метазнаний, а также описание семейства базовых элементов для аппаратной реализации метатехнологии.

Методология сохраняет целостный процесс познания-исследования, учитывает сложную структуру фрагмента, рассматривает развитие субъекта (в том числе, его инструмента – технологии) и обеспечивает интеграцию знаний и технологий в качестве результата моделирования. Создаваемые метатехнологии приобретают ряд качественных свойств, которые определяют их преимущества при решении глобальных проблем по сравнению с традиционными интеллектуальными технологиями в условиях неполноты, неопределённости и динамики ситуации.

В целом средства эвоинформатики [10] характеризуются глобальной устойчивостью в достижении целей, которая обеспечивается на основе целостно-эволюционной интеграции вложенных систем, и используют имитацию эволюционных механизмов на всех уровнях организации системы "Человечество" [12]. И это особенно актуально в современных условиях глобализации и тотальной информатизации реальных систем, определяя современные перспективы эволюционной информатики.

Список литературы: 1. Scholte J.A. Encyclopedia of Globalization / J.A. Scholte, R. Robertson. – NY.; London: Routledge, 2006. – 1728 с. 2. Белл Д. Эпоха разобщенностей. Размышления о мире XXI в. / Д. Белл, В.Л. Иноземцев. – М.: Центр исследований постиндустриального общества, 2007. – 304 с. 3. "Век глобализации. Исследования современных глобальных процессов" <http://www.socionauki.ru/journal/vg/> 4. Иноземцев В.Л. Современная глобализация и ее восприятие в мире / В.Л. Иноземцев // Век глобализации. – 2008. – № 1. – С. 31-44. 5. Ильин И.В. Эволюционный подход к глобальным исследованиям и образованию: теоретико-методологические проблемы / И.В. Ильин, А.Д. Урсул // Век глобализации. – 2013. – № 1. – С. 3-17. 6. Райков А.Н. Конвергентное управление и поддержка решений / А.Н. Райков. – М.: Издательство ИКАР, 2009. – 245 с. 7. Супрун В.А. Интеллектуальный капитал: Главный фактор конкурентоспособности экономики в XXI веке / В.А. Супрун. – М.: КомКнига, 2006. – 192 с. 8. Салихов Б.В. Интеллектуальный капитал организации (сущность, структура и основы управления) / Б.В. Салихов. – М.: Издательско-торговая корпорация "Дашков и К", 2009. – 156 с. 9. Букатова И.Л. Теория целостно-эволюционной интеллектуализации как основа эффективного решения задач социальных систем / И.Л. Букатова // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2007. – № 19. – С. 17-25. 10. Букатова И.Л. Эффективные корпоративные стратегии управления и целостно-эволюционные средства / И.Л. Букатова // Вестник НТУ "Харьковский политехнический институт". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2009. – № 43. – С. 18-26. 11. Гринченко С.Н. Что есть прогресс Человечества с информатико-кибернетических позиций / С.Н. Гринченко // В сб. "Что есть прогресс Человечества? "Будущее" как ценностная, интеллектуальная, историсофская, теологическая и социальная категория". Материалы научного семинара. – Вып. 8. – М.: Научный эксперт, 2011. – С. 5-24. 12. Гринченко С.Н. Метаэволюция (систем неживой, живой и социально-технологической природы) / С.Н. Гринченко. – М.: ИПИ РАН, 2007. – 456 с.

Поступила в редакцию 25.06.2013

УДК 65.262.1

Евоінформатика і глобалізація: аналіз засобів фрагментарного моделювання / Букатова І.Л. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 28 – 34

На основі засобів евоінформатики пропонується вирішення глобальних проблем, що породжуються процесами глобалізації: інтеграцією, інтелектуалізацією і ін. Аналізується методологія фрагментарного моделювання, в якій по взаємозв'язках вкладених систем створюються окремі моделі глобальних систем. Описані концепції, моделі і метатехнології вирішення глобальних проблем. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: евоінформатика, глобальні проблеми, глобалізація, інтеграція, інтелектуалізація, фрагментарне моделювання, вкладені системи, метатехнологія.

UDC 651.326

Evoinformatics and the globalization: analysis of means for fragmentary simulation / Bukatova I.L. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 28 – 34.

Based on means of evoinformatics, solutions to global problems caused by globalization (integration, intellectualization etc.) are proposed. We analyze methodology for fragmentary simulation where on interrelations of nested systems partial models of global systems are developed. Basic conceptual principles, models and metatechnologies required to solve global problems are described. Refs.: 12 titles.

Keywords: evoinformatics, global problems, globalization, integration, intellectualization, fragmentary simulation, nested systems, metatechnologies.

УДК 004.82 (045)

А.І. ВАВІЛЕНКОВА, канд. техн. наук, доц., НАУ, Київ**АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ ТЕКСТОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

У статті надано характеристику основних методів *Data Mining*, виділено їх переваги та недоліки. В результаті аналізу виявлено, що жоден з описаних методів не здатен вилучати знання з інформації. Продемонстровано роботу методу резолюцій Робінсона для порівняння двох простих речень. Запропоновано алгоритм порівняння логіко-лінгвістичних моделей текстової інформації за змістом. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: методи *Data Mining*, вилучення знань, метод резолюцій, логіко-лінгвістичні моделі, текстова інформація.

Постановка проблеми і аналіз літератури. Засоби сучасних ЕОМ, що використовуються для обробки електронних текстів, дозволяють задавати різні обмеження на шукані комбінації слів в тексті, визначаючи обов'язковість або необов'язковість, допустиму відстань між словами та порядок їх знаходження в тексті. Це дає можливість проводити аналіз слова у всіх граматичних формах, точно і повно описуючи можливі способи представлення необхідного змісту в тексті. Для підвищення точності аналізу текстів розробляються методи попередньої лінгвістичної обробки, що вимагає, по-перше, значних обчислювальних витрат для лінгвістичного аналізу індексованої колекції текстів, по-друге, розробки спеціалізованої пошукової машини.

Автоматизоване вилучення знань з тексту є однією з основних задач штучного інтелекту і безпосередньо пов'язане з розумінням текстів на природній мові.

Задачу автоматизованої аналітичної обробки текстової інформації намагаються вирішити багато іноземних та вітчизняних вчених. Зокрема, ще у 1979 році Кузін Н.Т. [1] описав методи частотної обробки текстової інформації, які згодом були удосконалені в роботах Бродера А. [2] та Ланде Д.В. [3]. У своєму навчальному посібнику Барсегян А.А. та Купріянов М.С. [4] узагальнили дані щодо сучасних методів автоматичного аналізу *Data Mining* і *Text Mining*. Проте жоден з описаних методів не забезпечує вилучення з текстової інформації знань.

Мета статті – проаналізувати основні методи автоматичного аналізу текстової інформації, виявити їх переваги та недоліки для задач вилучення знань з природної мови; здійснити порівняльний аналіз простих речень природної мови за допомогою методу резолюцій

Робінсона; описати основні кроки алгоритму порівняльного аналізу текстової інформації, представленої у вигляді логіко-лінгвістичних моделей.

Засоби обробки текстової інформації. Для вилучення знань з текстової інформації використовуються різноманітні методи автоматичного аналізу *Data Mining*. Такі методи використовують алгоритми та засоби штучного інтелекту для дослідження і вилучення з великих об'ємів інформації знань, які будуть практично корисні та доступні для інтерпретації людиною [5]. До основних методів *Data Mining* належать класифікація, кластеризація, регресія, пошук асоціативних правил, анотування та автореферування.

Задача **класифікації** зводиться до визначення класу об'єкту за його характеристиками, при чому множина класів задається завчасно. **Класифікація** – використовує статистичні кореляції для побудови правил розміщення документів у наперед заданій категорії; задача класифікації – це задача розпізнавання, коли система відносить новий об'єкт до тієї чи іншої категорії. В *Data Mining* задачу класифікації розглядають як визначення значення одного з параметрів об'єкту на основі значення інших параметрів [4].

Задача **регресії** подібна до задачі класифікації і дозволяє визначити за відомими характеристиками об'єкту значення деякого його параметру. Тут значенням параметру є не кінцева множина класів, а множина дійсних чисел.

Класифікація та регресія передбачають здійснення двох обов'язкових етапів. Перший етап – виділення набору об'єктів, для яких відомі значення залежних і незалежних змінних. На основі отриманого набору будується модель визначення значення залежної змінної (функція класифікації або регресії). На другому етапі побудовану модель застосовують до об'єктів, які аналізуються. Недоліком класифікації та регресії є те, що розробник системи повинен фіксувати кількість класів та характеристик, за якими буде проводитись дослідження. Це означає, що якщо система не виявить ознаки або класу, до якого можна віднести, наприклад, текстовий, документ, він не буде коректно оброблений.

Анотування – це процес створення коротких повідомлень про електронний текст, які дозволяють робити висновки щодо доцільності його докладного вивчення [6]. Сучасні системи аналітичної обробки текстової інформації володіють засобами автоматичного складання анотацій, при цьому існує два підходи до вирішення цієї проблеми.

У першому підході програма-анотатор вилучає з першоджерела невелику кількість фрагментів, у яких найбільш повно представлено

зміст документу. При другому підході анотація представляє собою синтезований документ у вигляді короткого змісту. Анотація, сформована відповідно з першим підходом, якісно поступається анотації, одержаній при синтезі. Для підвищення якості анотування необхідно вирішити проблему орієнтування на вузьку предметну область. Тоді у такому процесі необхідна участь людини.

Метод анотування тексту довільної структури передбачає:

1. Формування множини анотованих фрагментів, які є цілими реченнями даного тексту, містять у своєму складі дієслово або короткий прикметник, і не є питальним чи окличним реченням.

2. Створення таблиці всіх можливих пар основних тематичних вузлів (тут використовується система продукцій для встановлення характеристик структурних одиниць тексту, описана раніше).

3. Відбір таких речень, які містять декілька різних тематичних вузлів, що не зустрічалися раніше у тексті.

Здійснення автоматичної анотації є прикладною задачею, що вирішується перед тим, як інформація із заданого тексту потрапить до пошукового серверу.

Автоматичне реферування – представляє собою створення коротких викладів матеріалів, анотацій, дайджестів, тобто вилучення найбільш важливих відомостей з одного або декількох документів і генерація на їх основі лаконічних та інформаційно-ємних звітів. На сьогодні існує два основних напрямки автореферування: квазіреферування (засноване на екстрагуванні фрагментів документів, тобто виділенні найбільш інформативних фраз і формування з них квазірефератів) і коротке викладення змісту первинних документів (дайджести) [3].

Автоматичне реферування та анотування використовуються в основному для економії часу користувачам, створення каталогів інформаційних ресурсів, використання словників-тезаурусів загального та спеціального призначення. Застосовується автоматичне реферування та анотування в корпоративних системах документообігу, пошукових машинах та каталогах ресурсів Інтернет, автоматизованих інформаційно-бібліотечних системах, каналах зв'язку, службах розсилки новин і т.д.

Пошук асоціативних правил представляє собою метод пошуку часткових залежностей між об'єктами та суб'єктами. Знайдені залежності представляються у вигляді правил та використовуються для кращого розуміння природи даних, що аналізуються. Тобто з великої кількості наборів об'єктів визначаються такі набори, що найбільш часто зустрічаються. При виявленні закономірностей можна з певною ймовірністю передбачити появу подій у майбутньому, що дозволяє

приймати рішення. Така задача є різновидом задачі пошуку асоціативних правил і називається сиквенційним аналізом.

Кластеризація – це розбиття множини документів на кластери (групи документів зі спільними ознаками), які представляють собою підмножини, смислові параметри яких заздалегідь невідомі. Числові методи кластеризації базуються на визначенні кластера як множини документів. Кластеризація може застосовуватися в довільній області, де необхідне дослідження експериментальних та статистичних даних [4].

Для задачі кластеризації характерний пошук груп найбільш схожих об'єктів. Після визначення кластерів використовуються інші методи *Data Mining*. Кластерний аналіз дозволяє розглядати великий об'єм інформації та скорочувати, стискати великі масиви інформації. Результат кластеризації залежить від природи даних об'єктів та від представлення кластерів. Кластеризація відрізняється від класифікації тим, що для проведення аналізу не потрібно мати виділену залежну змінну. Задача кластеризації вирішується на початкових етапах дослідження, а її розв'язок допомагає краще зрозуміти дані.

Всі описані вище методи автоматичного аналізу *Data Mining* забезпечують певну структурування текстової інформації, її узагальнення або анотування. Проте для вилучення знань з електронних текстів, зокрема, порівняння текстів та виявлення в них збігів, необхідні засоби автоматичного лінгвістичного аналізу.

Основний метод, що використовується сьогодні для логічного порівняння текстової інформації є метод резолюцій Робінсона. Наприклад, нехай є два простих речення, для кожного з яких побудовано логічну модель.

Перше речення: "Експерт відповідає на запитання слухачів":

$$P(x_1, x_2[x_3]), \quad (1)$$

$$\text{Відповідає(експерт, запитання[слухачів])}. \quad (2)$$

Друге речення: "Експерт аналізує запитання спеціалістів":

$$P'(x_1, x_2[x'_3]), \quad (3)$$

$$\text{Аналізує(експерт, запитання[спеціалістів])}. \quad (4)$$

За алгоритмом уніфікації шукаємо підстановку $Q = \{P/P', x_3/x'_3\}$. Якщо здійснити підстановку у вираз (3), будемо мати множини, що містять літерали з однаковими предикатами. Після цього, застосовуючи метод резолюцій до виразів (1) та (3), отримаємо резольвенту, що не дорівнює пустій множині, що свідчить про те, що речення однакові.

Аналізуючи зміст заданих речень можна зробити висновки про те, що а даному випадку в алгоритмі уніфікації не можна було застосовувати підстановку P/P' , так як предикати різні за змістом і не є синонімами. Метод резолюцій не дає змогу визначити це в процесі заміни, через те, що не аналізує зміст слів, що входять до речення природної мови [7].

Це означає, що для здійснення коректного порівняння текстових документів за змістом необхідні нові алгоритми лінгвістичного аналізу, які забезпечать змістовну обробку текстової інформації. Одним із таких алгоритмів може бути алгоритм порівняння логіко-лінгвістичних моделей речень природної мови, що включає в себе наступні етапи.

1. Побудова логіко-лінгвістичних моделей [8]. На цьому етапі кожному реченню природної мови ставиться у відповідність логічна формула, що представляє собою одновимірний масив слів, з яких складаються речення, упорядковані у відповідності до того, яку синтаксичну роль вони виконують.

2. Ідентифікація. Відбувається почерговий перегляд елементів всіх логіко-лінгвістичних моделей: предикатів, предикатних змінних (суб'єктів), предикатних змінних (аргументів), предикатних констант. Серед складових логіко-лінгвістичних моделей шукаються спільнокореневі слова, синоніми, активні та пасивні форми спільнокорених дієслів.

3. Заміна тотожних змінних. Якщо на етапі ідентифікації знайдено тотожні змінні, у всіх логіко-лінгвістичних моделях відбувається їх перепозначення, завдяки чому одні й ті самі слова (навіть якщо вони мають різні граматичні рамки) будуть позначатися однаково, і, відповідно, мати ідентичний зміст.

4. Логічний вивід. Після ідентифікації та заміни тотожних змінних застосовується система продукцій, що містить правила порівняння логіко-лінгвістичних моделей. Такі правила дозволяють через встановлені зв'язки між словами переходити до представлення значень слів у вигляді комбінацій елементарних компонентів змісту.

Висновки. Методи автоматичного аналізу *Data Mining* базуються на використанні певних статистичних закономірностей (класифікація, регресія), пошуку ключових слів, проте не використовують алгоритмів лінгвістичної обробки текстів. Таким чином, автоматичний аналіз текстової інформації, який здійснюється сучасними засобами аналітичної обробки, не здатен опрацьовувати зміст текстів. Для порівняння двох простих речень за змістом було використано метод резолюцій. Як показали дослідження, при застосуванні алгоритму уніфікації, зміст речень не враховується. Тому як вирішення проблеми порівняльного

аналізу текстової інформації за змістом запропоновано новий алгоритм роботи з логіко-лінгвістичними моделями.

Список литературы: 1. Кузин Л.П. Основы кибернетики: в 2-х т. Т.2. Основы кибернетических моделей. – М.: Энергия, 1979. – 584 с. 2. Broder A. Identifying and Filtering Near-Duplicate Documents, COM'00 // Proceedings of the 11th Annual Symposium on Combinatorial Pattern Matching. – 2000. – P. 1-10. 3. Ландэ Д.В. Поиск знаний в Internet. Профессиональная работа / Д.В. Ландэ. – М.: ООО "Вильямс", 2005. – 272 с. 4. Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384. 5. Data Mining and Knowledge Discovery – 1996 to 2005: Overcoming the Hype and moving from "University" to "Business" and "Analytics", Gregory Piatetsky-Shapiro, Data Mining and Knowledge Discovery journal. – 2007. – 365 с. 6. Башмаков А.И. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб.пособие / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005. – 304 с. 7. Вагин В.Н. Дедукция и обобщение в системе принятия решений / В.Н. Вагин. – М.: Наука, 1988. – 384 с. 8. Вавиленкова А.И. Логіко-лінгвістична модель як засіб відображення синтаксичних особливостей текстової інформації / А.И. Вавиленкова // Математичні машини та системи. – 2010. – № 2. – С. 134-137.

Надійшла до редакції 25.03.2013

Статтю представив заступник директора Інституту проблем реєстрації Інформації НАН України д-р техн. наук Додонов О.Г.

УДК 004.82 (045)

Анализ методов обработки текстовой информации / Вавиленкова А.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 35 – 40.

В статье представлена характеристика основных методов Data Mining, выделены их преимущества и недостатки. В результате анализа выявлено, что ни один из описанных методов не способен извлекать знания из информации. Продемонстрирована работа метода резолюций Робинсона для сравнения двух простых предложений. Предложен алгоритм сравнения логико-лингвистических моделей текстовой информации по смыслу. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: методы Data Mining, извлечение знаний, метод резолюций, логико-лингвистические модели, текстовая информация.

UDC 004.82 (045)

Analysis of methods for processing textual information / Vavlenkova A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling.– Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 35 – 40.

The article presents a description of the main methods of Data Mining, highlighted its advantages and disadvantages. The analysis reveals that none of the above methods are capable to extract knowledge from data. The study demonstrates the operation of Robinson's resolution method for comparing two simple sentences. It is proposed an algorithm of comparing the logic-linguistic models of textual information within the meaning. Refs.: 8 titles.

Keywords: methods of Data Mining, extraction of knowledge, the method of resolutions, the logic-linguistic models, textual information.

УДК 615.015.3

А.С. ГВАЙ, аспирант, ХНУРЭ, Харьков,*Л.А. АВЕРЬЯНОВА*, канд. техн. наук, доц., ХНУРЭ, Харьков

АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ В РЕНТГЕНОВСКОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Рассмотрены вопросы контроля дозовых нагрузок на пациентов при рентгеновской компьютерной томографии (КТ). Проанализированы физические факторы формирования величины индекса дозы КТ, который положен в основу наиболее распространенной методики определения дозы облучения у пациентов при КТ. В результате работы проанализированы недостатки данной методики и предложены способы ее уточнения. Ил.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: компьютерная томография, индекс дозы КТ, доза облучения.

Постановка проблемы. Ионизирующее излучение широко используется в медицине и его вклад в диагностику и терапию является неоспоримым. Тем не менее, использование ионизирующих излучений включает в себя определенный риск, связанный с радиационным повреждением тканей и органов. Метод компьютерной томографии (КТ) дал возможность осуществить идею компьютерной объемной анатомической визуализации на основе цифровой обработки данных КТ-сканирования. Однако КТ является методом с повышенной дозой облучения на пациента. Количество КТ-исследований увеличивалось на протяжении многих лет, что приводит к увеличению индивидуальной дозы облучения и коллективной дозы соответственно, что в будущем может обусловить малоизученное негативное радиобиологическое действие. Поэтому уже сейчас необходимо обеспечить эффективный мониторинг дозы при КТ путем усовершенствования методов расчета показателей индивидуальной дозой нагрузки в соответствии с изменениями технологий КТ-сканирования.

Анализ литературы. В [1] рассмотрены две основные методики определения дозы: измерение параметра *CTDI* (Computed Tomography Dose Index) [2 – 6] и использование компьютерного моделирования, и расчета доз [7]. Первая методика основывается на данных фантомной КТ-дозиметрии [8, 9]. При этом используются стандартные дозиметрические акриловые фантомы [10], позволяющие измерить величину *CTDI*. В этом случае применяется подход к расчету эффективной дозы путем умножения величины *DLP* (Dose-Length Product) на эмпирически определенные коэффициенты пересчета [11]. Вторая методика: в

© А.С. Гвай, Л.А. Аверьянова, 2013

результате моделирования дозного распределения в стандартном фантоме и производимых программой автоматических расчетов получают значения $CTDI$, DLP и эффективной дозы для заданных параметров КТ-исследования [1, 7]. Однако в данных двух методиках используется единый, достаточно обобщенный подход к определению эффективной дозы, не позволяющий оценить индивидуальную дозную нагрузку.

Цель статьи – обзор наиболее распространенных методик определения дозы облучения при КТ, рассмотрение их эволюции и выявление перспектив совершенствования.

Эволюция дозиметрического параметра. Для оценки поглощенных доз в органах и тканях и эффективных доз при КТ используются две величины: $CTDI$ и DLP . Концепция $CTDI$ изначально была введена в 1981 г. для сканирования одного аксиального среза и представляет собой среднюю поглощенную дозу вдоль оси тела. Начиная с этого периода и до 1999 г. данная величина прошла ряд интерпретаций [2], математическое определение и описание которых представлено в табл., где $D(z)$ – профиль радиационной дозы вдоль оси z ; N – количество томографических срезов; T – толщина томографического среза [3].

Ранние оценки дозы, получаемые пациентом при КТ, позволяли измерять только дозу одного сканирования. В частности, доза излучения была измерена только на пике от одного вращения трубки и в одной позиции, что приводило к недооценке дозы, полученной типичным взрослым пациентом. Причиной этой недооценки было то, что при измерении пренебрегали "хвостами" дозы, вызванными полутенью и рассеянным излучением (рис. 1а). "Хвосты" играют значительную роль в формировании суммарной дозы, накопленной от серии сканирований вдоль продольной оси (рис. 1б) [4]. Теоретически $CTDI$ требует, чтобы все вклады "хвостов" профиля дозы были включены в измерение. Точные пределы интегрирования, необходимые для удовлетворения этого критерия, зависят от ширины пучка излучения и рассеивающей среды. Для стандартизации $CTDI$ измерений, была введена величина $CTDI_{FDA}$, имеющая пределы интегрирования $\pm 7 \cdot T$, где T задает номинальную ширину среза. Однако данная технология была доступна в 1984 г., использование $N \cdot T$ в пределах интегрирования было сочтено ненужным из-за несовершенства технологий КТ-сканирования [8].

Таблица

Математическое описание вариаций определения $CTDI$

Индекс дозы	Математическое выражение	Описание
$CTDI$	$CTDI = \frac{1}{N \cdot T} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} D(z) dz$	Измеряется с помощью нескольких ТЛД (термолюминесцентные детекторы) или одной ионизационной камеры
$CTDI_{FDA}$	$CTDI_{FDA} = \frac{1}{N \cdot T} \cdot \int_{-7T}^{7T} D(z) dz$	Измеряется с помощью ТЛД для получения правильных пределов интегрирования
$CTDI_{100}$	$CTDI_{100} = \frac{1}{N \cdot T} \cdot \int_{-50}^{50} D(z) dz$	Измеряется с помощью "карандашной" ионизационной камеры
$CTDI_w$	$CTDI_w = \frac{1}{3} * CTDI_c + \frac{2}{3} * CTDI_p$	Использует измерения $CTDI_{100}$
$CTDI_{vol}$	$CTDI_{vol} = \frac{CTDI_w}{p}$	Использует измерения $CTDI_w$

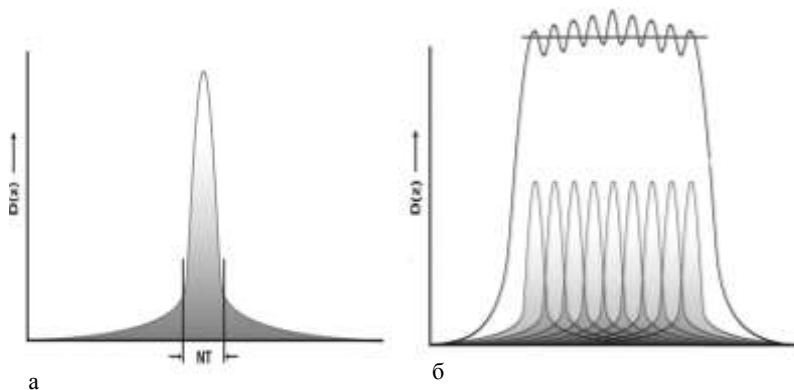


Рис. 1. а) Профиль дозы облучения вдоль линии, перпендикулярной к плоскости одного осевого сканирования. Интеграл области под кривой нормирован на номинальную ширину пучка $N \cdot T$; б) Суммарный профиль дозы облучения от девяти соседних осевых КТ-сканов по линии, перпендикулярной осевому сканированию

С появлением спиральных компьютерных томографов вводится другая величина $CTDI_{100}$, недооценивающая накопленную дозу на

протяжении длины сканирования [3]. $CTDI_{100}$ измеряется с помощью 100-мм длины "карандаша" ионизационной камеры и двух стандартных акриловых фантомов [4]. Как и $CTDI_{FDA}$, $CTDI_{100}$ требует интегрирования дозы для одного осевого сканирования [8].

$CTDI$, как правило, в два раза выше у поверхности тела, чем в центре. Поэтому вводится следующая величина – взвешенный $CTDI$ ($CTDI_w$). Этот индекс используется для приближенного определения средней дозы в пределах одного среза [5] и определяется как сумма одной трети $CTDI_{100}$ в центре фантома и двух третей $CTDI_{100}$ на периферии фантома [1, 9]. Для спиральных сканеров дозиметрический параметр $CTDI_{vol}$ (объемный взвешенный $CTDI$) рассчитывают с учетом питча [5]. Для сканеров с последовательной технологией сканирования без интервалов между срезами $CTDI_{vol} = CTDI_w$ [3].

Расчет эффективной дозы облучения. Для определения поглощенной дозы облучения за все КТ-исследование рассчитывают дозиметрический параметр DLP :

$$DLP = CTDI_{vol} \cdot L,$$

где L – длина зоны сканирования [2].

Для расчета эффективной дозы облучения E используют формулу:

$$E = DLP \cdot E_{DLP},$$

где E_{DLP} – коэффициент пересчета, соответствующий конкретной анатомической области [9].

Вычислительный метод. Вторым способом определения дозы облучения служит вычислительный метод. Он позволяет численно определить распределение доз на основе следующей входной информации: фирма-производитель и модель КТ-сканера, зона исследования и ее длина, технические параметры протокола исследования. Программой производятся автоматические расчеты, основанные на справочных таблицах, составленных по результатам применения расчетного метода Монте-Карло для "среднестатистического пациента". Данные дозы обеспечивают нормированные дозы облучения для математического фантома рядом компьютерных томографов [7]. В результате получаем значения $CTDI$, DLP и эффективной дозы для заданных параметров КТ-исследования [1].

Анализ результатов. $CTDI_{vol}$ и связанные с ним величины широко используется для контроля качества КТ-исследований и оптимизации параметров выходного излучения при конкретном методе сканирования. Поэтому полученные дозы не являются прямым измерением доз облучения пациентов, а представляют собой стандартизированную дозу.

$CTDI$ является хорошей мерой выходного излучения сканера, однако имеет свои ограничения. $CTDI$ измеряется с помощью двух однородных стандартных акриловых фантомов, размеры, форма, степень ослабления излучения которых не соответствуют анатомическим и биофизическим особенностям структур человеческого тела. Несмотря на то, что в последнее время были разработаны пакеты программного обеспечения, основанные на методе Монте-Карло, в них все еще не учитывается геометрия тела пациента, и они основываются на математической модели для "стандартного" тела. Все это приводит к занижению средней дозы в сканируемом объеме у детей и худых пациентов и завышению ее у полных пациентов. Кроме того, предел интегрирования по длине 100 мм применим для учета "хвоста" дозы при номинальной ширине пучка в несколько сантиметров. Однако с увеличением ширины детектора, улучшением коллимации и введением в компьютерных томографах конусных пучков, точность $CTDI$ на основе КТ-дозиметрии оспаривается, поскольку с 1999 г. данная величина оставалась неизменной, а уже в 2001 – 2002 гг. появились многосрезовые томографы, которые сейчас повсеместно широко используются.

Для оценки дозы при КТ предлагается использовать результаты самого КТ-сканирования. Тело человека имеет сложную гетерогенную структуру. Имея реальный анатомический КТ-скан конкретного пациента, можно ввести поправки в определение $CTDI$, связанные с расположением и геометрическими параметрами структур, попавших в зону облучения при построении данного КТ-скана. Такой подход позволит правильно определить индивидуальную дозную нагрузку на отдельные органы и организм в целом.

Выводы. В результате проделанной работы была рассмотрена наиболее распространенная методика для определения дозы облучения при КТ, которая более или менее одинаковой осталась с 1981 года. Показана эволюция величины $CTDI$ и ее интерпретации, а также выявлены недостатки использования данной методики.

Предлагается разработать новый подход к определению дозы облучения при КТ, который будет учитывать все недостатки представленной методики и будет применим для томографов всех поколений. Разработанная методика будет строиться на теоретических

расчетах доз облучения в каждом органе и на весь организм с учетом геометрии тела человека, всех ослабляющих свойствах ткани, а также учитывать режим сканирования томографа. Теоретические расчеты будут проверены экспериментальным путем с использованием антропоморфных фантомов.

Список литературы: 1. Дозовые нагрузки при компьютерно-томографических исследованиях / С.А. Хоружик, Г.В. Чиж, Е.В. Бозушевич, Г.В. Гацкевич, Д.С. Кандыбович, С.А. Мацкевич, С.А. Уголькова, Ж.В. Бичан, С.В. Семенов // Известия НАН Беларуси. Серия медицинских наук. – 2009. – № 1. – С. 14-22. 2. Marcus Suderberg Image Quality Optimisation and Dose Management in CT, SPECT/CT, and PET/CT. – Lund University. – 2012. – P. 19-22. 3. The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT // Report of AAPM Task Group 23: CT Dosimetry. – 2008. – P. 6-11. 4. CT Dose Index and Patient Dose: They Are Not the Same Thing / H. McCollough Cynthia, Leng Shuai, Yu Lifeng, D. Cody Dianna, M. Boone John, F. McNitt-Gray Michael. – Radiology. – 2011. – № 2. – P. 311-316. 5. Size-Specific Dose Estimates in Pediatric and Adult Body CT Examinations // Report of AAPM Task Group 204. – 2011. – P. 2-7. 6. Ioannis A Tsalafoutas Patient dose considerations in computed tomography examinations / A Tsalafoutas Ioannis, V Koukourakis Georgios // World Journal of Radiology. – 2010. – 2. – № 7. – P. 262-268. 7. Comprehensive Methodology for the Evaluation of Radiation Dose in X-Ray Computed Tomography // Report of AAPM Task Group 111. – 2010. – P. 11-17. 8. Lifeng Yu Radiation dose reduction in computed tomography: techniques and future perspective / Yu Lifeng, Liu Xin, Leng Shuai, M Kofler James, C Ramirez-Giraldo Juan, Qu Mingliang, Christner Jodie, G Fletcher Joel, H McCollough Cynthia // Imaging Med. – 2009. – №1 (1). – P. 65-84. 9. Matthieu Lemire Accurate Surface Dose Measurements in CT. Examinations Using High Sensitivity MOSFET. Dosimeters Calibrated by Monte Carlo Simulations / Matthieu Lemire. – 2006. – P. 2-8. 10. European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography // Report EUR 16262. – Luxembourg. – 1999. – P. 1-62. 11. Walter Huda Converting Dose-Length Product to Effective Dose at CT / Huda Walter, M. Ogden Kent, R. Khorasani Mohammad // Radiology. – 2008. – 248. – № 3. – P. 995-1003.

Поступила в редакцию 20.04.2013

После доработки 17.05.1013

Статью представил д-р техн. наук, проф. ХНУРЭ Руженцев И.В.

УДК 615.015.3

Аналіз методик визначення дози опромінення в рентгенівській комп'ютерній томографії / Гвай А.С., Авер'янова Л.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 41 – 47.

Розглянуті питання контролю дозових навантажень на пацієнтів при рентгенівській комп'ютерній томографії (КТ). Проаналізовані фізичні фактори формування величини індексу дози КТ, який покладено в основу найбільш поширеної методики визначення дози опромінення у пацієнтів при КТ. В результаті роботи проаналізовані недоліки даної методики та запропоновані способи її уточнення. Іл.: 1. Табл.: 1. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: комп'ютерна томографія, індекс дози КТ, доза опромінення.

UDC 615.015.3

Analysis techniques in determining exposure dose in X-ray computed tomographys
/ Gvay A.S., Averyanova L.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject
issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). –
P. 41 – 47.

The questions of control doses to patients with X-ray computed tomography (CT) are discussed. The physical factors of CT dose index values, which form the basis for the most common method for determining radiation dose in patients with CT, are analyzed. As a result of the shortcomings of this method are analyzed and for its refinement are suggested. Figs.: 1. Tabl.: 1. Refs.: 11 titles.

Keywords: computed tomography, dose index CT, the radiation dose.

УДК 681.513

І.Ю. ГРИШИН, канд. техн. наук, зав. каф., РВНЗ "КГУ", Ялта

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ Й ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ У СТАТИСТИЧНИХ ВІМІРЮВАЛЬНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Розглянуто основні завдання, що стоять перед розробниками автоматизованих систем керування повітряним рухом, з точки зору забезпечення таких систем інформацією, необхідної для підвищення рівня автоматизації операцій управління повітряними судами і зниження кількості помилок диспетчерів. Запропоновано показник якості управління, здійснено формалізація завдання й запропоновано метод її розв'язання. Бібліогр.: 15 назв.

Ключові слова: система керування повітряним рухом, вимірювальна інформаційна система, показник якості управління.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Науково-технічний прогрес в цивільній авіації проявляється в декількох напрямках. Передусім, це відноситься як до збільшення різноманітності використовуваних типів літальних апаратів (починаючи з малої комерційної авіації і закінчуючи широкофюзеляжними аеробусами і надзвуковими повітряними лайнерами), так і до підвищення загального об'єму повітряних перевезень, що супроводжується зростанням числа трас та їх протяжності.

Три основні показники, а саме безпека, регулярність і економічність польотів, тісно пов'язані один з одним та істотно залежать від ефективності керування повітряним рухом (КПР). Радикальним методом вирішення проблем, що виникають при цьому, як було з'ясовано ще в 50-х роках ХХ століття, являється автоматизація збору, передачі і обробки інформації про повітряну обстановку.

Основним і головним складником автоматизованих систем управління повітряним рухом є засоби інформаційного забезпечення (наприклад, радіолокаційного спостереження).

Ще В.М. Кейн в роботі [1] стверджував, що вже нині існує принципова можливість побудови повністю автоматичної системи КПР, що працює без участі людини-оператора, а роль диспетчера в такій системі зводиться тільки до контролю справності системи. Втручання в її роботу потрібне лише при виникненні ситуацій, не передбачених програмою обробки інформації. Проте при реалізації такої повністю автоматичної системи виникли серйозні труднощі як технічного, так і

© І.Ю. Гришин, 2013

технологічного, психологічного, юридичного і іншого порядку.

Нині область забезпечення повітряного руху належить до тих небагатих галузів народного господарства України, які в умовах переходу до ринкової економіки і структурних перетворень переживають період радикального і інтенсивного технічного оновлення на основі нових інформаційних технологій. Це пояснюється рядом обставин. Незважаючи на істотне зниження об'єму внутрішніх повітряних перевезень, інтенсивність повітряного руху у ряді регіонів навіть виросла. Одна з причин полягає в більшій відкритості і, як наслідок, в збільшенні кількості трансконтинентальних трас і об'єму міжнародних перевезень. З іншого боку, міжнародний характер повітряного руху і інтеграція України у світову систему повітряного транспорту вимагають підвищення рівня аеронавігаційного обслуговування і безпеки польотів, приведення їх у відповідність з міжнародними вимогами ІКАО і Євроконтролю і новою стратегією CNS/ATM. Усе це неможливо без модернізації і корінного оновлення технічних засобів аеронавігації і управління повітряним рухом.

Створення нового покоління автоматизованих систем керування повітряним рухом (АС КПВ) і комплексів засобів автоматизації обробки інформації (КЗА) стало можливим завдяки розробці нових інформаційних технологій на базі сучасних програмних і апаратних комп'ютерних засобів. Наукову базу розробок складають методи теорії управління, спостереження і обробки інформації. Можливості сучасних комп'ютерних систем дозволяють реалізувати алгоритми і програми як застосування фундаментальних математичних теорій, які нещодавно були недоступні для використання в АС КПВ і з цієї причини (як вважали розробники інформаційних систем) зараховувалися до категорії абстрактних. Це відноситься в першу чергу до тих елементів сучасної теорії управління і обробки інформації в статистичних ВІС, що розглядаються в роботах [2 – 5] .

Аналіз літератури. У області теорії і практики автоматизації процесів КПВ, розробки і експлуатації систем спостереження і аеронавігаційного забезпечення відомі роботи [6 – 8] Т.Г. Анодіної, А.А. Кузнецова, Е.Д. Марковича, В.М. Кейна, Г.А. Крижановського, В.І. Мокшанова, П.В. Олянюка, В.И. Савицького та ін. Чималий вклад в загальну ідеологію побудови авіаційних систем управління, навігації, спостереження і зв'язку зроблений Є.А. Федосовим [9]. Основою розробки алгоритмічного і програмного забезпечення АС КПВ являються роботи В.А. Ліхарева, С.З. Кузьміна, Р. Сінгера та інших авторів [2, 10 – 12].

Алгоритми первинної і вторинної обробки радіолокаційної інформації, що реалізовані в раніше розроблених АС КНР, засновані на спектрально-кореляційних методах фільтрації і оцінювання (зокрема, що використовують критерій Неймана-Пірсона).

В той же час в радіонавігаційних і радіолокаційних системах при виявленні і вимірі сигналів стали застосовуватися більш ефективні процедури, що засновані на теорії статистичних рішень і перевірці гіпотез (П.А. Бакут, І.А. Большаков, Ю.Г. Сосулін, А.Г. Тартаковський, М.М. Фишман, М.С. Ярликов та ін.).

Нові результати в розробці методів і алгоритмів обробки інформації, що отримані в роботі [3], можуть стати основою для синтезу сучасних алгоритмів обробки інформації в АС КНР.

Методи синтезу алгоритмів управління, що отримані в [3 – 5], можуть бути покладені в основу сучасної теорії управління інформаційними засобами АС КНР.

Методологічну основу створення сучасних систем КНР складають нові інформаційні технології.

Мета статті полягає в розробці методів вдосконалення інформаційного забезпечення системи керування повітряним рухом для підвищення якості виконання завдань оперативного управління повітряним рухом.

Постановка задачі підвищення ефективності інформаційного забезпечення системи управління повітряним рухом. Оперативне управління повітряним рухом може здійснюватися двома основними методами: по траєкторії поточного плану і з екстраполяцією за даними радіолокаційних вимірювань. Вибір методу управління залежить від того, в якій зоні виконується політ, і визначається специфікою польотів в цих зонах. Зі всіх видів діяльності служби руху найбільш складним є оперативне управління, оскільки, по-перше, саме в нім відбиваються специфічні особливості повітряного руху – динамічність процесів і неможливість їх припинення, і, по-друге, інтенсифікація процесів управління, неминуха при збільшенні щільності руху, обмежується можливостями диспетчера.

У роботах [6, 7] показано, що якість виконання завдань оперативного управління диспетчером функціонально залежить від погрешностей визначення параметрів траєкторій повітряних суден (ПС) радіолокаційними засобами, що можна представити у вигляді виразу

$$K_D = f \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M h_{ij} \sigma_{ij}^2 \right) = f \left(\sum_{i=1}^N \text{tr} \left(\mathbf{h}_i^T \mathbf{\Psi}_i \right) \right), \quad (1)$$

де K_D – показник якості роботи диспетчера; N – кількість ПС, які обслуговуються диспетчером; M – кількість параметрів траєкторій, необхідних для характеристики руху ПС; σ_{ij}^2 – дисперсії погрішностей оцінок відповідних параметрів траєкторій ПС; $tr(\mathbf{h}_j^T \mathbf{\Psi}_j)$ – зважений слід коваріаційної матриці погрішностей оцінок параметрів траєкторії j -го ПС; $\mathbf{h}_j$ – матриця вагових коефіцієнтів для обліку важливості точності оцінок окремих параметрів траєкторії j -го ВС; $\mathbf{\Psi}_j$ – коваріаційна матриця похибок оцінок параметрів траєкторії j -го ПС

Відомо [10, 11], що функція $f(\cdot)$ найчастіше має вигляд $f(\cdot) = \exp(\cdot)$, отже

$$K_D = \exp \left[- \left(\sum_{i=1}^N tr(\mathbf{h}_i^T \mathbf{\Psi}_i) \right) \right]. \quad (2)$$

Таким чином, для підвищення якості роботи диспетчерів по управлінню потоком ПС необхідно забезпечити мінімізацію погрішностей оцінок параметрів їх траєкторій, що отримуються за даними радіолокаційних вимірювань.

Завдання полягає у формалізації задачі оптимального управління радіолокаційними засобами системи УПР, що враховує властиві цій системі обмеження.

Використовуючи відомі методи координації багаторівневих ієрархічних систем, можна легко показати, що показник якості управління етапу супроводження ПС, узгоджений з показником ефективності системи вищестоячого рівня, має наступний вигляд [3]:

$$J = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^T tr \left[\mathbf{h}_i^T(t) \mathbf{\Psi}_i(t) \right]. \quad (3)$$

Тут $tr[\mathbf{h}_i(t) \mathbf{\Psi}_i(t)] = \sum_{l=1}^k h_i^{ll}(t) \Psi_i^{ll}(t)$ – слід добутку матриць $\mathbf{h}_i(t)$ і

$\mathbf{\Psi}_i(t)$, що характеризує зважену величину погрішності фільтрації координат i -го об'єкту. При цьому вагова матриця $\mathbf{h}_i(t)$ визначається залежно від способу супроводження і допошуку ПС в процесі супроводження, а також від способу прийняття рішення на управління повітряним рухом.

Структура матриць $\Psi_i(t)$ і $h_i(t)$ у разі оцінки параметрів траєкторій ПС в прямокутній системі координат і некорельованості оцінок координат і їх похідних може мати наступний вигляд

$$\Psi_i(t) = \begin{pmatrix} \sigma_{x_i}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{\dot{x}_i}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{y_i}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sigma_{\dot{y}_i}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{z_i}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \sigma_{\dot{z}_i}^2 \end{pmatrix},$$

$$h_i(t) = \begin{pmatrix} h_{x_i}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & h_{\dot{x}_i}^2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & h_{y_i}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & h_{\dot{y}_i}^2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & h_{z_i}^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & h_{\dot{z}_i}^2 \end{pmatrix}.$$

При цьому у разі вирішення задачі оперативного управління повітряним рухом по траєкторіях поточних планів величини $h_{x_i}^2, h_{y_i}^2 > w_i (0 \leq w_i \leq 1)$, а $h_{\dot{x}_i}^2, h_{\dot{y}_i}^2, h_{z_i}^2$ рівні нулю. Якщо ж вирішується завдання оперативного управління повітряним рухом по траєкторіях поточних планів з екстраполяцією, то $h_{x_i}^2, h_{y_i}^2, h_{z_i}^2$ приймають значення більше одиниці пропорційно інтервалу часу екстраполяції, оскільки екстрапольоване значення координати у разі лінійної моделі руху ПС обчислюється відповідно до виразів

$$x_i(t + t_3) = x_i(t) + \dot{x}_i(t)t_3;$$

$$y_i(t + t_3) = y_i(t) + \dot{y}_i(t)t_3;$$

$$z_i(t + t_3) = z_i(t) + \dot{z}_i(t)t_3,$$

де t_3 – часовий інтервал екстраполяції положення ПС для прийняття рішення на управління повітряним рухом.

Управління процесом вимірювання координат при розв'язанні задачі оцінювання параметрів траєкторій ПС. Завдання оптимальної фільтрації частково спостережуваної послідовності $\{\mathbf{v}_i(t), \mathbf{Y}_i(t)\}$, $i=1, 2, \dots, N$; $t=1, 2, \dots, T-1$, полягає в побудові оптимальних (у середньоквадратичному сенсі) оцінок неспостережених значень векторів $\mathbf{v}_i(t)$ за спостереженнями $(\mathbf{Y}_i)_0^t = \{\mathbf{Y}_i(0), \mathbf{Y}_i(1), \dots, \mathbf{Y}_i(t)\}$, $t=1, 2, \dots, T-1$.

Модифікований вираз рекурентній фільтрації з урахуванням керованих спостережень за цілями для оптимальних оцінок $\hat{\mathbf{v}}_i(t)$ і коваріаційних матриць $\Psi_i(t)$ має наступний вигляд [3, 5]:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{v}}_{\mathcal{Y}_i}(t+1) &= \Phi_i(t) \hat{\mathbf{v}}_i(t); \\ \Psi_{\mathcal{Y}_i}(t+1) &= \Phi_i(t) \Psi_{n-1} \Phi_i^T(t); \\ \mathbf{K}_i(t+1) &= \Psi_{\mathcal{Y}_i}(t+1) \mathbf{H}_i^T(t, \alpha(t)) \times \\ &\times (\mathbf{H}_i(t, \alpha(t)) \Psi_{\mathcal{Y}_i}(t+1) \mathbf{H}_i^T(t, \alpha(t)) + \mathbf{b}_i(t) \mathbf{b}_i^T(t)); \\ \hat{\mathbf{v}}_i(t+1) &= \hat{\mathbf{v}}_{\mathcal{Y}_i}(t+1) + \mathbf{K}_i(t+1) \times \\ &\times (\mathbf{Y}_i(t+1) - \mathbf{H}_i(t, \alpha(t)) \hat{\mathbf{v}}_{\mathcal{Y}_i}(t+1)); \\ \Psi_i(t+1) &= \Psi_{\mathcal{Y}_i}(t+1) + \mathbf{b}_i(t) \mathbf{b}_i^T(t) - \\ &- \mathbf{K}_i(t+1) \mathbf{H}_i(t, \alpha(t)) \Psi_{\mathcal{Y}_i}(t+1), \\ \Psi_i(0) &= \Psi_{i0}. \end{aligned} \tag{4}$$

Тут $\hat{\mathbf{v}}_{\mathcal{Y}_i}$ – екстрапольована оцінка параметрів руху i -го ПС; $\hat{\mathbf{v}}_i$ – оцінка параметрів руху i -го ПС; $\Psi_{\mathcal{Y}_i}$ – екстрапольована коваріаційна матриця похибок оцінок параметрів траєкторії i -го ПС; $\mathbf{K}_i$ – коефіцієнт підсилення рекурентного фільтра; $\mathbf{b}_i$ – вектор похибок вимірювання параметрів i -го ПС; Φ_i – матриця екстраполяції параметрів з моменту часу t на момент $t-1$; $\mathbf{H}_i$ – керована матриця спостереження.

Логічно припустити, що до початку спостережень всі управління рівні нулю ($\alpha(-1)=0$). Врахуємо при цьому "вартості" проведення вимірювання, а також перемикання каналів. Тоді якість управління спостереженнями в завданні фільтрації можна охарактеризувати наступним функціоналом [3]:

$$J = \sum_{i=1}^N \left\{ \sum_{t=1}^T \text{tr}(\mathbf{h}_i^T(t) \Psi_i(t)) + \sum_{j=1}^M \sum_{t=0}^T [\alpha^{ij}(t) \Gamma_j(t) + \alpha^{ij}(t)(1 - \alpha^{ij}(t-1)) \gamma_j(t)] \right\}. \quad (5)$$

Тут $\Psi_i(t)$ – кореляційна матриця похибок оцінювання координат i -го ПС в t -й момент часу; елемент матриці управління $\alpha^{ij}(t) \in \{0, 1\}$, 1 – здійснюється вимірювання параметрів i -го об'єкту j -м каналом в t -й момент часу; $\Gamma_j(t)$, $\gamma_j(t)$ – параметри, що характеризують відповідно "вартість" здійснення вимірювання и переключення j -го каналу в t -й момент часу.

Таким чином, завдання управління спостереженнями системою РЛС УПР при супроводі ПС полягає в знаходженні параметрів процесу

$$\alpha(0), \alpha(1), \dots, \alpha(T-1); \quad \Psi_i(0), \Psi_i(1), \dots, \Psi_i(T-1), \Psi_i(T), \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

що задовольняє заданим обмеженням, для яких виконана початкова умова $\Psi_i(0) = \Psi_{i0}$, $i = 1, 2, \dots, N$, і при цьому функціонал (5) приймає найменше можливе значення.

Для будь-якого $T < \infty$ безліч різних значень, які може приймати функціонал (5), кінцеве і не перевищує величину $M^T \times (N+1)^T$ [3]. Тому розв'язання поставленої задачі завжди існує.

Після знаходження процесу (6) його слід підставити в систему рекурентних рівнянь (4). В результаті отримаємо систему для знаходження оцінок $\hat{\mathbf{v}}_i(t)$ неспостереженого вектора процесу $\mathbf{v}_i(t)$, $t = 0, 1, \dots, T$ (для кожного $i = 1, 2, \dots, N$) при оптимальному в сенсі критерію (5) управлінні процесом спостереження.

Таким чином, проведена математична формалізація даного завдання оптимального управління системою РЛС УВС, показано, що рішення такої задачі існує. Метод й алгоритм розв'язання подібної оптимізаційної задачі розроблений в [5].

Результати моделювання. Моделювання проводилося з метою оцінки ефективності розробленого методу і алгоритму оптимального управління системою РЛС УПР в режимі супроводу ПС. Як базовий метод, використаний для порівняння, застосований метод рівномірного зондування (розподілу енергетичних ресурсів) РЛС, який в даний час є

основним в реальних радіолокаційних комплексах в умовах складної повітряної обстановки.

При застосуванні розробленого методу для РЛС УПР вигреш в точності оцінки параметрів супроводжуваних об'єктів в порівнянні з базовим методом склав 17 – 51 %. Оптимальні плани супроводження ПС відрізняються істотною нерівномірністю.

Висновки. Таким чином, проведена математична формалізація задачі оптимального управління системою інформаційного забезпечення керування повітряним рухом.

В результаті виконаної роботи розроблений новий метод оптимального управління системою РЛС КПП, що відрізняється від відомих високою ефективністю. В ході подальшої роботи запропонований метод повинен бути вдосконалений для урахування специфіки супроводження ПС різного класу і конкретних АСУ.

Список літератури: 1. Кейн В.М. Радиотехнические средства управления воздушным движением. Учебное пособие для вузов гражданской авиации / В.В. Грачев, В.М. Кейн. – М.: Транспорт, 1975. – 344 с. 2. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации / С.З. Кузьмин. – М.: Радио и связь, 1986. – 352 с. 3. Гришин И.Ю. Актуальные проблемы оптимизации управления в технических и экономических системах / И.Ю. Гришин. – Ялта: РИО КГУ, 2010. – 226 с. 4. Гришин И.Ю. Проблемы управления зенитными ракетными комплексами / И.Ю. Гришин, М.К. Можар, В.М. Решетник // Наука і оборона. – 1994. – Вип. 3. – С. 16 – 22. 5. Гришин И.Ю. Основанный на принципе максимума метод решения задачи нелинейного бинарного программирования / И.Ю. Гришин // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ". – 2012. – № 62. – С. 46 – 51. 6. Анодина Т.Г. Автоматизация и управление воздушным движением / Т.Г. Анодина, А.А. Кузнецов, Е.Д. Маркович. – М.: Транспорт, 1992. – 279 с. 7. Федосов Е.А. Динамическое проектирование систем управления автоматических маневренных летательных аппаратов. Учеб. пособие / Е.А. Федосов, В.Т. Бобронников, М.Н. Красильщиков, В.И. Кухтенко и др.; Под ред. Е.А. Федосова. – М.: Машиностроение, 1997. – 336 с. 8. Крыжановский Г.А. Введение в прикладную теорию управления воздушным движением / Г.А. Крыжановский. – М.: Машиностроение, 1984. – 242 с. 9. Автоматизированные системы управления воздушным движением / Справочник под ред. В.И. Савицкого. – М.: Транспорт, 1986. – 322 с. 10. Дубровский В.И. Организация радиотехнического обеспечения в системе УВД / В.И. Дубровский, Г.А. Крыжановский, В.А. Солодухин. – М.: Транспорт, 1985. – 124 с.

Надійшла до редакції 25.03.2013

Після дороботи 03.05.2013

Статтю представив д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Іванов П.І.

УДК 681.513

Прикладные аспекты методов оптимизации управления и обработки информации в статистических измерительных информационных системах автоматизированных систем управления воздушным движением / Гришин И.Ю.

// Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 48 – 56.

Рассмотрены основные задачи, которые стоят перед разработчиками автоматизированных систем управления воздушным движением, с точки зрения обеспечения таких систем информацией качества, необходимого для повышения уровня автоматизации операций управления воздушными судами и снижения количества ошибок диспетчеров. Предложен показатель качества управления, осуществлена формализация задачи и предложен метод ее решения. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: система управления воздушным движением, измерительная информационная система, показатель качества управления.

UDK 681.513

The applied aspects of control optimization methods and information treatment in the statistical measuring informative systems of air traffic control CASS / Grishin I.Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 48 – 56.

Basic tasks which stand before the developers of CASS of air traffic control are considered, from the point of such providing view systems information of quality, necessary for the increase of level of automation of operations of control and decline of errors amount of controllers air courts. The index of control quality is offered, formalization of task is carried out and the method of her decision is offered. Refs.: 10 titles.

Keywords: control system by air motion, measuring informative system, index of control quality.

УДК 519.71:004.89

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
А.Ю. ЗАКОВОРОТНЫЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

НЕЙРОННАЯ СЕТЬ, ИСПОЛЬЗУЮЩАЯ РАССТОЯНИЕ ХЕММИНГА, ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ГРАНИЦАХ НЕСКОЛЬКИХ КЛАССОВ

Проанализированы недостатки известной нейронной сети Хемминга, не способной распознавать изображения, находящиеся на одинаковом минимальном расстоянии Хемминга от двух или большего числа эталонных изображений. Предложена новая нейронная сеть, использующая расстояние Хемминга и распознающая изображения на границах двух или трех классов. Ил.: 2. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: нейронная сеть Хемминга, расстояние Хемминга, изображение на границах двух или трех классов.

Постановка проблемы и анализ литературы. При классификации изображений с помощью нейронных сетей, как правило, получают единственное решение даже в случаях, когда имеется два или более равноценных решения. Это связано с тем, что во многих нейронных сетях, например, в перцептронах, сетях Хебба, Кохонена и др. [1 – 4] решение определяется не отдельным нейроном, а слоем выходных нейронов. В случае, когда решение определяется одним нейроном, например, в дискретных нейронных сетях адаптивной резонансной теории [5 – 8], имеется потенциальная возможность получения нескольких решений. В работе [9] представлена архитектура и алгоритмы функционирования такой сети адаптивной резонансной теории. В нейронной сети Хемминга решение о принадлежности входного изображения к определенному классу также фактически определяется с помощью одного нейрона. В этой сети входные черно-белые изображения представляются в виде m -мерных биполярных векторов. Свое название сеть получила от расстояния Хемминга, которое используется в мере сходства R входного и эталонных изображений, хранимых с помощью весов связей сети. Мера сходства определяется соотношением

$$R = m - R_x, \quad (1)$$

где m – число компонент входного и эталонных векторов; R_x – расстояние Хемминга между векторами.

Определение. Расстоянием Хемминга между двумя двоичными

векторами называется число компонент, в которых векторы различны.

В силу определения расстояния Хемминга мера сходства изображений (1) может быть задана и как число a компонент двоичных векторов, в которых они совпадают: $R = a$.

Запишем для биполярных векторов $S = (s_1, \dots, s_m)$ и $Z = (z_1, \dots, z_m)$ их скалярное произведение через число совпадающих и отличающихся компонент

$$SZ = \sum_{i=1}^m s_i z_i = a - d, \quad (2)$$

где a – число одинаковых компонент векторов; d – число различных компонент векторов S и Z .

Поскольку m – размерность векторов, то $m = a + d$, следовательно, скалярное произведение (2) можно записать в виде $SZ = 2a - m$. Отсюда несложно получить

$$a = m/2 + \frac{SZ}{2} = \frac{m}{2} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m s_i z_i. \quad (3)$$

Правую часть выражения (3) можно рассматривать как входной сигнал нейрона, имеющего m синапсов с весовыми коэффициентами $z_i/2$ ($i = \overline{1, m}$) и смещением $m/2$. Синапсы нейрона воспринимают m компонент входного вектора S . Такая интерпретация правой части выражения (3) приводит к архитектуре подсети, изображенной в нижней части рис. 1. Одни авторы сеть, изображенную на рис. 1, называют сетью Хемминга, другие сеть Хемминга называют только ее нижнюю часть, считая, что приведенная сеть состоит из двух подсетей – Хемминга и Махлет. Мы будем придерживаться первой точки зрения.

Сеть Хемминга имеет m входных нейронов $S_1, \dots, S_m$, воспринимающих биполярные компоненты $s_1^q, \dots, s_m^q$ входных изображений S^q ($q = \overline{1, L}$). Выходные сигналы S -элементов определяются соотношением

$$U_{\text{вых}Si} = \begin{cases} +1, & \text{если } s_i^q = 1, \\ -1, & \text{если } s_i^q = -1, \end{cases} \quad (4)$$

т. е. выходной сигнал S -элемента повторяет его входной сигнал: $U_{\text{вых}Si} = U_{\text{вх}Si} = s_i^q$.

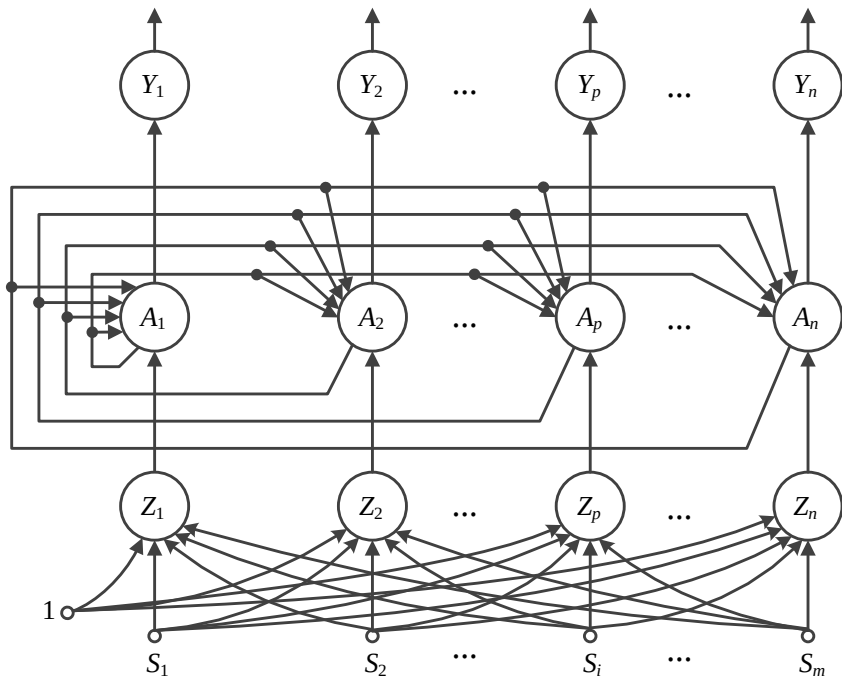


Рис. 1. Нейронная сеть Хемминга

Каждый нейрон S_i ($i = \overline{1, m}$) связан со входом каждого элемента Z_p ($p = \overline{1, n}$). Веса этих связей $w_{1k}, \dots, w_{mk}$ содержат информацию о k -м эталонном изображении $V^k = (v_1^k, \dots, v_m^k)$, $k = \overline{1, L}$:

$$w_{1k} = v_1^k / 2, \dots, w_{mk} = v_m^k / 2. \quad (5)$$

Функции активации Z -элементов описываются соотношением

$$g_Z(U_{ax}) = \begin{cases} 0, & \text{если } U_{ax} \leq 0, \\ k_1 U_{ax}, & \text{если } 0 < U_{ax} \leq U_n, \\ U_n, & \text{если } U_{ax} > U_n, \end{cases} \quad (6)$$

где U_{bx} – входной сигнал нейрона; k_1 , U_n – константы.

При предъявлении входного изображения $S^* = (s_1^*, \dots, s_m^*)$ каждый Z -нейрон рассчитывает свой входной сигнал в соответствии с выражением вида (3):

$$U_{\text{ex}Zk} = m/2 + \sum_{i=1}^m w_{ik} s_i^*, \quad k = \overline{1, n}, \quad (7)$$

и с помощью функций активации, определяет выходной сигнал. Выходные сигналы $U_{\text{вых}Z1}, \dots, U_{\text{вых}Zn}$ Z -элементов являются входными сигналами $a_1, \dots, a_n$ верхней подсети, которой является сеть Maxnet. Функции активации нейронов A_p ($p = \overline{1, n}$) и веса их связей задаются соотношениями

$$g(U_{\text{ex}}) = \begin{cases} U_{\text{ex}}, & \text{если } U_{\text{ex}} > 0, \\ 0, & \text{если } U_{\text{ex}} \leq 0. \end{cases} \quad w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i = j, \\ -\varepsilon, & \text{если } i \neq j, \quad i, j = \overline{1, n}, \end{cases}$$

где ε – константа, удовлетворяющая неравенствам $0 < \varepsilon \leq 1/n$.

Сеть функционирует циклически, динамика нейронов описывается итерационным выражением $U_{\text{вых}i}(t+1) = g(U_{\text{вых}i}(t) - \varepsilon \sum_{j=1, j \neq i}^n U_{\text{вых}j}(t))$, $i = \overline{1, n}$, при начальных условиях

$$U_{\text{вых}i}(0) = a_i = U_{\text{вых}Zi}, \quad i = \overline{1, n}. \quad (8)$$

Если среди входных сигналов $a_1, \dots, a_n$ нейронов $A_1, \dots, A_n$ имеется один наибольший сигнал a_p ($p \in \{1, 2, \dots, n\}$), то в результате итерационного процесса в подсети Maxnet только один нейрон A_p останется с выходным сигналом, большим нуля, т.е. станет "победителем". Поскольку выходные сигналы $U_{\text{вых}1}, \dots, U_{\text{вых}p}, \dots, U_{\text{вых}n}$ A -элементов поступают на входы Y -нейронов, которые имеют функцию активации вида

$$g_Y(U_{\text{ex}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } U_{\text{ex}} > 0, \\ 0, & \text{если } U_{\text{ex}} \leq 0, \end{cases} \quad (9)$$

то в результате на выходе сети Хемминга только один нейрон Y_p окажется с единичным выходным сигналом. Единичный выход этого нейрона и нулевые всех остальных и будут указывать на то, что

предъявленное изображение $S^* = (s_1^*, \dots, s_m^*)$ наиболее близко, в смысле заданной меры близости (1), к эталонному изображению $V^p = (v_1^p, \dots, v_m^p)$.

Заметный недостаток сети: она не выделяет два и более эталонных изображений, имеющих с предъявленным одинаковые максимальные меры близости. В этом случае подсеть Махнет не сможет выделить единственный максимальный сигнал и в результате ее функционирования на всех выходах A - и Y -нейронов появятся нулевые сигналы.

Цель статьи – разработка нейронной сети, использующей расстояние Хемминга и распознающей изображения, находящиеся на минимальном расстоянии Хемминга от одного, двух или трех эталонных изображений, хранящихся в весах связей нейронной сети.

Архитектура нейронной сети, способной выполнить функции, указанные в цели статьи, приведена на рис. 2.

Архитектура предлагаемой нейронной сети отличается от архитектуры известной сети Хемминга, наличием двух дополнительных слоев нейронов: X -слоя и Σ -слоя.

Нейроны X - и Σ -слоя имеют функцию активации вида

$$g(U_{\text{вх}}) = \begin{cases} 1, & \text{если } U_{\text{вх}} \geq 0, \\ 0, & \text{если } U_{\text{вх}} < 0, \end{cases} \quad (10)$$

где $U_{\text{вх}}$ – входной сигнал нейрона, имеющего функцию активации $g(U_{\text{вх}})$.

Входные сигналы $U_{\text{вх}Xp}$, $p = \overline{1, m}$ нейронов X -слоя описываются следующим выражением:

$$U_{\text{вх}Xp} = U_{\text{вых}Xp} W_{XpXp} + U_{\text{вых}Yp} W_{YpXp} + \sum_{i=0}^3 W_{\Sigma_i Xp} U_{\text{вых}\Sigma_i} + W_{0p}^3 \cdot 1, \quad (11)$$

где $U_{\text{вых}Xp}$, $U_{\text{вых}Yp}$, $(p = \overline{1, m})$ – соответственно выходные сигналы нейронов X - и Y -слоя; W_{XpXp} – вес обратной связи нейрона X_p ($p = \overline{1, m}$); W_{YpXp} – вес связи с выхода нейрона Y_p на вход нейрона X_p ($p = \overline{1, m}$); $W_{\Sigma_i Xp}$ – вес связи от нейрона Σ_i ($i = \overline{0, 3}$) к нейрону X_p ($p = \overline{1, m}$);

$U_{\text{вых}\Sigma_i}$ ($i = \overline{0, 3}$) – выходные сигналы нейронов Σ -слоя; W_{0p}^3 – вес связи сигнала смещения нейрона X_p ($p = \overline{1, m}$), $W_{0p}^3 = -2$.

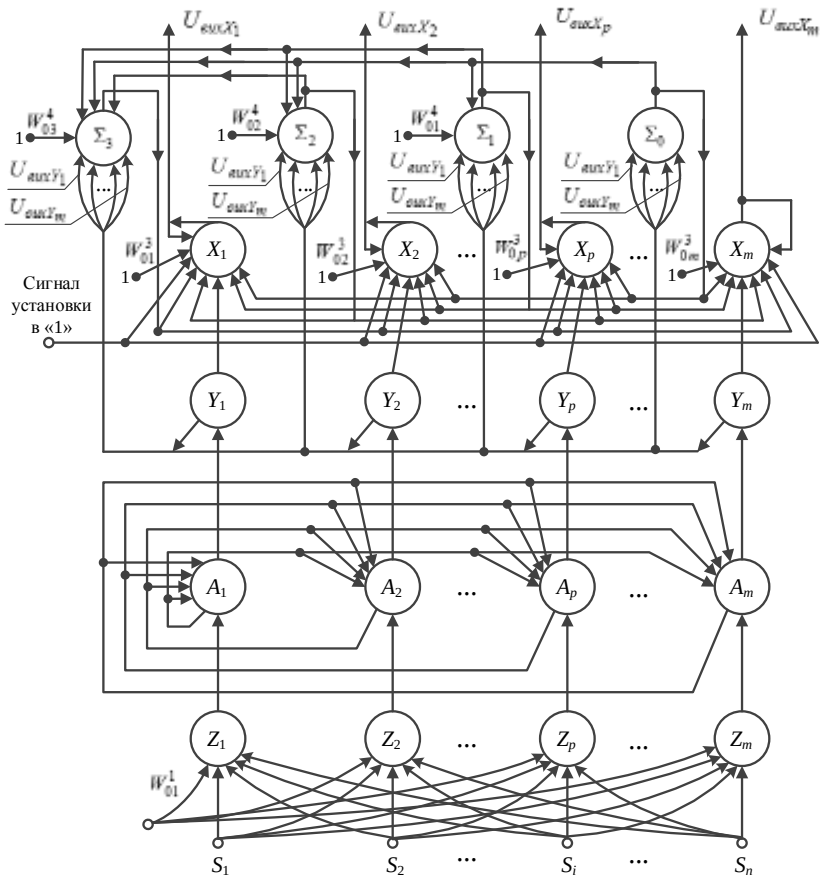


Рис. 2. Нейронная сеть Хемминга, распознающая изображения на границах двух и трех классов.

Входные сигналы нейронов Σ -слоя описываются соотношениями:

$$U_{\text{ex}\Sigma_0} = \sum_{p=1}^m U_{\text{блх}Y_p} W_{Y_p\Sigma_0}; \quad (12)$$

$$U_{\text{ex}\Sigma_1} = \sum_{p=1}^m U_{\text{блх}Y_p} W_{Y_p\Sigma_1} + U_{\text{блх}\Sigma_0} W_{\Sigma_0\Sigma_1} + W_{01}^4 \cdot 1; \quad (13)$$

$$U_{\text{ex}\Sigma_2} = \sum_{p=1}^m U_{\text{блх}Y_p} W_{Y_p\Sigma_2} + U_{\text{блх}\Sigma_1} W_{\Sigma_1\Sigma_2} + U_{\text{блх}\Sigma_0} W_{\Sigma_0\Sigma_2} + W_{02}^4 \cdot 1; \quad (14)$$

$$U_{\text{ex}\Sigma_3} = \sum_{p=1}^m U_{\text{блх}Y_p} W_{Y_p\Sigma_3} + U_{\text{блх}\Sigma_2} W_{\Sigma_2\Sigma_3} + U_{\text{блх}\Sigma_1} W_{\Sigma_1\Sigma_3} + \\ + U_{\text{блх}\Sigma_0} W_{\Sigma_0\Sigma_3} + W_{03}^4 \cdot 1, \quad (15)$$

где $U_{\text{блх}Y_p}$ – выходной сигнал нейрона Y_p , $p = \overline{1, m}$; $W_{Y_p\Sigma_j}$ – вес связи от нейрона Y_p к нейрону Σ_j , $W_{Y_p\Sigma_j} = -1$, $p = \overline{1, m}$, $j = \overline{0, 3}$; $U_{\text{блх}\Sigma_j}$ – выходной сигнал нейрона Σ_j , $j = \overline{0, 3}$; $W_{\Sigma_k\Sigma_{k+1}}$ – вес связи от нейрона Σ_k к нейрону Σ_{k+1} , $k = \overline{0, 2}$; W_{0j}^4 – вес связи сигнала смещения нейрона Σ_j , $j = \overline{1, 3}$, $W_{0j}^4 = j$.

Если на выходах четырех или большего числа A -нейронов имеются положительные выходные сигналы, которые вызывают единичные выходные сигналы на выходах соответствующих Y -нейронов, то сигналы $U_{\text{ex}\Sigma_1}$, $U_{\text{ex}\Sigma_2}$, $U_{\text{ex}\Sigma_3}$ отрицательны. В соответствии с функцией активации (10) на выходах нейронов Σ_1 , Σ_2 , Σ_3 будут нулевые выходные сигналы. Если на выходах только трех A -нейронов будут положительные сигналы, например, у нейронов A_{p1} , A_{p2} и A_{p3} , то тогда в соответствии с выражением (15) имеем: $U_{\text{ex}\Sigma_3} = 0$.

При нулевом входном сигнале $U_{\text{ex}\Sigma_3} = 0$ и функции активации нейрона Σ_3 вида (10) на выходе нейрона Σ_3 появится единичный выходной сигнал $U_{\text{блх}\Sigma_3} = 1$, который поступит на входы всех нейронов X -слоя. В соответствии с выражением (11) на входах X -нейронов будут

следующие входные сигналы: $U_{axX_p} = -1, \quad p = \overline{1, m}, \quad p \neq p_1, p_2, p_3;$
 $U_{axX_p} = 0, \quad p = p_1, p_2, p_3.$

Таким образом на выходах нейронов X_p ($p = \overline{1, m}, \quad p \neq p_1, p_2, p_3$) будут нулевые выходные сигналы, а на выходах нейронов X_p ($p = p_1, p_2, p_3$) будут единичные выходные сигналы.

При появлении на выходах нейронов X_{p1}, X_{p2}, X_{p3} единичных сигналов эти сигналы по цепям обратных связей с весами $W_{XpXp} = 2$ ($p = p_1, p_2, p_3$) поступают на входы этих нейронов. Сигналы обратной связи нейронов будут поддерживать неотрицательные входные сигналы даже тогда, когда будут выполняться условия $U_{вых\Sigma_3} = 0;$
 $U_{выхY_{p1}} = U_{выхY_{p2}} = U_{выхY_{p3}} = 0.$ Таким образом, если входное изображение находится на одинаковом минимальном расстоянии Хемминга от трех эталонных изображений, хранящихся в весах связей нейронов Z_{p1}, Z_{p2}, Z_{p3} , то выходные сигналы нейронов A_{p1}, A_{p2}, A_{p3} одновременно становятся равными нулю. При этом $U_{выхA_{p1}} = U_{выхA_{p2}} = U_{выхA_{p3}} = U_{вых\Sigma_3} = 0$ и $U_{выхX_{p1}} = U_{выхX_{p2}} = U_{выхX_{p3}} = 1.$ Следовательно, на выходе нейронной сети остаются единичные сигналы нейронов, указывающих от каких трех изображений находится входное изображение на минимальном расстоянии.

Если сигналы на выходах A -нейронов не одновременно становятся равными нулю, например, вначале на выходе одного нейрона A_p ($p = p_1, p_2, p_3$) появляется нулевой сигнал, например, $U_{выхA_{p3}} = 0$, то тогда единичный сигнал на выходе нейрона X_{p3} должен быть сброшен в ноль. Это достигается следующим образом:

1. В соответствии с выражением (14) срабатывает нейрон Σ_2 :
 $U_{ax\Sigma_2} = 0$ и $U_{вых\Sigma_2} = 1.$

2. Выходной сигнал нейрона Σ_2 затормаживает нейрон Σ_3 , поскольку по соотношению (15) при $W_{\Sigma_2\Sigma_3} = -4$ имеем $U_{вых\Sigma_3} = -3$ и $U_{вых\Sigma_3}(-3) = 0.$

3. В соответствии с выражением (11) входной сигнал нейрона X_{p3} будет отрицательным, а выходной – нулевым.

4. В соответствии с выражением (11) входные сигналы нейронов X_{p1} , X_{p2} будут неотрицательны, а выходные – единичными.

5. Если сигналы $U_{\text{вых}A_{p1}}$ и $U_{\text{вых}A_{p2}}$ одновременно станут нулевыми, то на выходах нейронов X_{p1} , X_{p2} останутся единичные выходные сигналы, указывающие на то, что входное изображение находится на одинаковом минимальном расстоянии от эталонных изображений, хранящихся в весах связей нейронов Z_{p1} , Z_{p2} .

Если сигналы $U_{\text{вых}A_{p1}}$ и $U_{\text{вых}A_{p2}}$ не обращаются одновременно в нуль, а вначале, например, становится нулевым сигнал $U_{\text{вых}A_{p2}}$, то в этом случае единичный сигнал останется только на выходе нейрона X_{p1} , указывая, что входное изображение находится на минимальном расстоянии Хемминга от эталонного изображения хранящегося в весах связей нейрона Z_{p1} . Действительно в этом случае имеем:

$$U_{\text{вых}A_{p1}} \neq 0; U_{\text{вых}Y_p} = 0, p = \overline{1, m}, p \neq p_1;$$

$$U_{\text{ex}\Sigma_0} = \sum_{p=1}^m U_{\text{вых}Y_p} W_{Y_p\Sigma_0} = U_{\text{вых}Y_{p1}} W_{Y_{p1}\Sigma_0} = 1 \cdot (-1) = -1;$$

$$U_{\text{вых}\Sigma_0} = g(U_{\text{ex}\Sigma_0} = -1) = 0;$$

$$U_{\text{ex}\Sigma_1} = \sum_{p=1}^m U_{\text{вых}Y_p} W_{Y_p\Sigma_1} + U_{\text{вых}\Sigma_0} W_{\Sigma_0\Sigma_1} + W_{01}^4 \cdot 1 = 0;$$

$$U_{\text{вых}\Sigma_1} = g(U_{\text{ex}\Sigma_1} = 0) = 1;$$

$$U_{\text{ex}\Sigma_2} = \sum_{p=1}^m U_{\text{вых}Y_p} W_{Y_p\Sigma_2} + U_{\text{вых}\Sigma_1} W_{\Sigma_1\Sigma_2} + U_{\text{вых}\Sigma_0} W_{\Sigma_0\Sigma_2} + W_{02}^4 \cdot 1 = -1;$$

$$U_{\text{вых}\Sigma_2} = g(U_{\text{ex}\Sigma_2} = -1) = 0;$$

$$U_{\text{ex}\Sigma_3} = \sum_{p=1}^m U_{\text{вых}Y_p} W_{Y_p\Sigma_3} + U_{\text{вых}\Sigma_2} W_{\Sigma_2\Sigma_3} + U_{\text{вых}\Sigma_1} W_{\Sigma_1\Sigma_3} +$$

$$+ U_{\text{вых}\Sigma_0} W_{\Sigma_0\Sigma_3} + W_{03}^4 \cdot 1 = -1;$$

$$U_{\text{вых}\Sigma_3} = g(U_{\text{ex}\Sigma_3} = -1) = 0;$$

$$U_{\text{ex}X_p} = \sum_{p \neq p_1}^3 U_{\text{вбл}X_{\Sigma_i}} W_{\Sigma_i X_p} + U_{\text{вбл}X_p} W_{X_p X_p} + U_{\text{вбл}Y_p} W_{Y_p X_p} + W_{0p}^3 \cdot 1 = -1;$$

$$U_{\text{вбл}X_p} = g(U_{\text{ex}X_p} = -1) = 0;$$

$$U_{\text{ex}X_{p1}} = \sum_{i=1}^3 U_{\text{вбл}X_{\Sigma_i}} W_{\Sigma_i X_{p1}} + U_{\text{вбл}X_{p1}} W_{X_{p1} X_{p1}} + U_{\text{вбл}Y_{p1}} W_{Y_{p1} X_{p1}} + W_{0p1}^3 \cdot 1 = 2;$$

$$U_{\text{вбл}X_{p1}} = g(U_{\text{ex}X_{p1}} = 2) = 1,$$

где $W_{\Sigma_0 \Sigma_1} = -2$; $W_{\Sigma_0 \Sigma_2} = -3$, $W_{\Sigma_0 \Sigma_3} = -4$, $W_{\Sigma_1 \Sigma_2} = -2$, $W_{\Sigma_1 \Sigma_3} = -3$.

Таким образом, в этом случае только на выходе одного нейрона Х-слоя будет единичный выходной сигнал, указывающий на то, что входное изображение находится на минимальном расстоянии Хемминга от эталонного изображения, хранящегося в весах связей нейрона Z_{p1} .

Выводы. Таким образом, разработана нейронная сеть, использующая расстояние Хемминга при распознавании черно-белых изображений и способная распознавать изображения, находящиеся на минимальном расстоянии Хемминга от одного, двух или трех эталонных изображений, хранящихся в весах связей нейронной сети.

Список литературы: 1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с. 2. Камашинский В.И. Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В.И. Камашинский, Д.А. Смирнов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 94 с. 3. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений / А.Б. Барский. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с. 4. Голушкин А.И. Нейрокомпьютеры и их применение на рубеже тысячелетий в Китае / А.И. Голушкин. – В 2-х томах. Том 2. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 464 с. 5. Fausett L. Fundamentals of Neural Network. Architectures, Algorithms and Applications / L. Fausett. – New Jersey: Prentice Hall International, Inc., 1994. – 461 p. 6. Grossberg S. Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance / S. Grossberg // Cognitive Science. – 1987. – Vol. 11. – P. 23-63. 7. Carpenter G.A. A massively parallel architecture for selforganizing neural pattern recognition machine / G.A. Carpenter, S. Grossberg // Computing, Vision, Graphics and Image Processing. – 1987. – Vol. 37. – P. 54-115. 8. Дмитриенко В.Д. Алгоритмы обучения дискретных сетей АРТ без адаптации весов связей распределенных распознающих нейронов / В.Д. Дмитриенко, В.И. Носков, И.П. Хавина // Вестник НТУ "ХПИ". – 2006. – № 23. – С. 35-48. 9. Дмитриенко В.Д. Вычислительная сеть для решения задач распознавания с несколькими решениями / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина // Вестник НТУ "ХПИ". – 2007. – № 19. – С. 58-63.

Поступила в редакцию 3.06.2013

УДК 519.71:004.89

Нейронна мережа, що використовує відстань Хеммінга для розпізнавання зображень на границях декількох класів / Дмитрієнко В.Д., Заковоротний О.Ю.

// Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 57 – 67.

Проаналізовані недоліки відомої нейронної мережі Хеммінга, що нездатна розпізнавати зображення, які знаходяться на однаковій мінімальній відстані Хеммінга від двох чи більшої кількості еталонних зображень. Запропонована нова нейронна мережа, що використовує відстань Хеммінга, яка розпізнає зображення на границях двох чи трьох класів. Іл.: 2. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: нейронна мережа Хеммінга, відстань Хеммінга, зображення на границях двох чи трьох класів.

UDC 519.71:004.89

The neural network that uses Hamming distance for image recognition on the border of several classes / Dmitrienko V.D., Zakovorotnyi A.Y. / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 57 – 67.

Analyzed disadvantages known Hamming neural network not capable of recognizing the images in the same minimum Hamming distance between two or more reference images. A new neural network, using the Hamming distance and read the images on the border of two or three classes. Figs.: 2. Refs.: 9 titles.

Keywords: neural network Hamming, Hamming distance, the image on the boundary of two or three classes.

УДК 658.5

В.Д. ДМИТРИЕНКО, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
И.П. ХАВИНА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

ГИБРИДНАЯ ИЕРАРХИЧЕСКАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ ЗНАНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕХАНООБРАБОТКИ

Разработана архитектура гибридной иерархической нейронной сети (ГИНС), базирующаяся на нейронных сетях (НС) адаптивной резонансной теории АРТ-1 и их модификациях АРТ-1s и АРТ-1h и с использованием НС Хемминга. ГИНС применяется для описания онтологии знаний мультиагентной системы управления машиностроительным предприятием. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: иерархическая гибридная нейронная сеть, адаптивная резонансная теория, онтология знаний, мультиагентная система.

Постановка проблемы и анализ литературы. Существующие на сегодняшний момент компьютерные системы поддержки принятия решений осуществляют планирование, контроль производства и управление цепочками поставок, определение критических путей, узких мест и рисков сбоев в режиме реального времени, но не могут осуществлять гибкого адаптивного управления производством в целом. В контексте комплексной автоматизации управления сложного производства и выпуска высокотехнологичной продукции все вышеперечисленные задачи взаимосвязаны с высокой степенью знания о продукте [1, 2].

В настоящее время интерес вызывает новый класс систем управления производством – MES (Manufacturing Execution System) – производственные исполнительные системы) [3 – 5], а современным подходом для реализации такой системы является создание мультиагентной системы (МАС) [6 – 8]. Особенностью МАС является отсутствие системы глобального управления, децентрализация данных, реализация вычислений в асинхронном режиме и др. Архитектура мультиагентной системы включает в себя онтологию знаний о предметной области, логику принятия решений по планированию и модуль планирования, обеспечивающий необходимые вычислительные возможности для работы мультиагентной среды [7 – 9].

Для описания знаний, необходимых агентам, входящим в состав МАС, используется онтологический подход, согласно которому знания

отделены от программного кода системы и должны храниться в онтологии, представляющей собой сеть понятий и отношений предметной области [9].

Цель статьи – разработка архитектуры новой гибридной нейронной сети для хранения знаний о технологическом процессе механообработки.

На рис. 1 показаны некоторые объекты и ресурсы, участвующие в процессе изготовления детали.

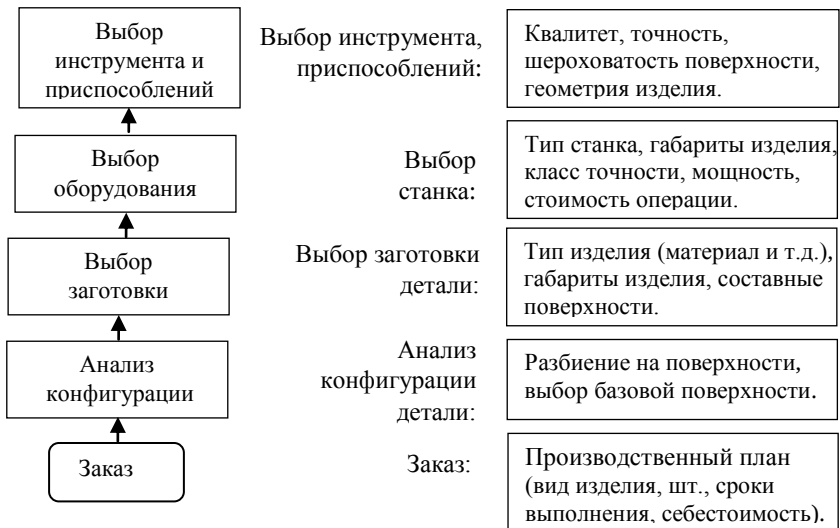


Рис. 1. Понятие и детализация заказа

Модель знаний предметной области (онтология) может быть представлена в виде дерева наследования или в виде семантической сети, вершинами которой являются концепты, а ребрами – отношения между концептами [9]. Подобную иерархию можно реализовать с помощью разработанной гибридной иерархической нейронной сети (ГИНС) на базе модулей, содержащих нейронные сети (НС) адаптивной резонансной теории – АРТ-1, и разработанных новых модификациях этой сети – сетях АРТ-1s и АРТ-1h [10], и НС Хемминга. На рис. 2 показана архитектура ГИНС.

Первые три модуля состоят из сетей АРТ-1у, которые по значениям ширины, длины и высоты изделия производят анализ размеров и конфигурации будущего изделия, выделяя особые признаки, например,

наличие цилиндрических или призматических поверхностей и другие признаки, влияющие на технологический процесс изготовления изделия. Результаты работы поступают на вход четвертого модуля (НС АРТ-1), где определяется вид заготовки.

Пятый модуль является дискретной нейронной сетью АРТ-1s, которая по типу обрабатываемой поверхности и виду операции определяет типы станков, которые могут выполнить заданную операцию.

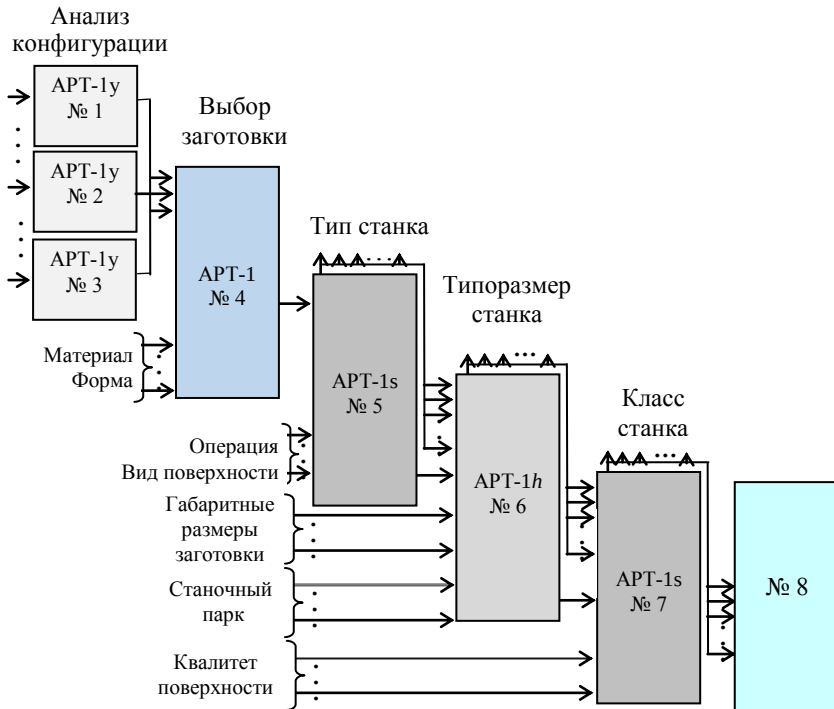


Рис. 2. Гибридная иерархическая нейронная сеть

Шестой модуль является дискретной нейронной сетью АРТ-1h, где по габаритам заготовки и типам станков, полученным на предыдущем шаге, определяется подмножество станков, которые подходят для обработки поверхностей изделия с заданными габаритными размерами. В качестве модуля применяется дискретная нейронная сеть АРТ-1h, которая производит анализ с помощью параметра сходства как на основе единичных, так и на основе нулевых данных и позволяет получать множество решений [10]. Результатом работы шестого модуля будет

множество кодов станков, на которые можно установить заготовку с заданными размерами.

Седьмой модуль – дискретная нейронная сеть АРТ-1s. Она определяет подмножество станков, обеспечивающих заданную точность обработки. Входными данными седьмого модуля являются выходные данные предыдущего модуля и данные о точности обработки поверхности.

Восьмой модуль – нейронная сеть Хемминга, определяет станок, обеспечивающий минимальную стоимость операции.

Выводы. Таким образом, с помощью ГИНС осуществляется выбор оборудования с соблюдением всех организационных и технологических ограничений для изготовления изделий методами лезвийной обработки. ГИНС может применяться для описания и хранения знаний МАС управления машиностроительным предприятием.

Список литературы: 1. Грабченко А.І. Робочі процеси високих технологій у машинобудуванні / А.І. Грабченко, М.В. Вереzub, Ю.М. Внуков та ін. – Житомир: ЖДТУ, 2003. – 455 с. 2. Erdélyi F. Advanced simulation of NC turning operations / F. Erdélyi, O. Hornyák. – Production Systems and Information Engineering, Miskolc. – 2003. – V. 1. – P. 41-53. 3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Полов. – СПб.: «Профессия», – 2003. – 752 с. 4. Трубицын А. На стыке экономики и технологии / А. Трубицын. – PC WEEK/RE. – 2005. – № 4. – С. 25-27. 5. Bartholomew D. MES provides vital link / D. Bartholomew // Industry Week. – 2001. – № 5. – P. 55. 6. Denkena B. Intelligent software agents as a basis for collaborative manufacturing systems / B. Denkena, A. Battino, P.O. Woelk. – Intelligent Production Machines and Systems, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005. Amsterdam, Elsevier, 2005. – P. 17-22. 7. Vokrinek J. Simulation of manufacturing processes using multi-agent technology / J. Vokrinek, D. Pavlíček, R. Šmerák. – Intelligent Production Machines and Systems, First I*PROMS Virtual Conference 4-15 July 2005. Amsterdam, Elsevier, 2005. – P. 461-466. 8. Fox M.S. Agent-Oriented Supply-Chain Management / M.S. Fox, M. Barbuceanu, R. Teigen // Flexible Manufacturing Systems. – 2000. – V. 12. – P. 165-188. 9. Иващенко А.В. Мультиагентная технология управления мобильными ресурсами в режиме реального времени / А.В. Иващенко, А.Н. Лада, Е.В. Симонова, П.О. Скобелев. – Самара: ПГУТИ, – 2011. – 177 с. 10. Дмитриенко В.Д. Моделирование технологических процессов механообработки методами искусственного интеллекта: монография / В.Д. Дмитриенко, И.П. Хавина, В.Л. Хавин, Н.В. Вереzub. – Х.: НТУ "ХПИ", – 2009. – 260 с.

Поступила в редакцию 20.04.2013

После доработки 03.06.2013

УДК 658.5

Гібридна ієрархічна нейронна мережа для зберігання знань технологічного процесу механообробки / Дмитрієнко В.Д., Хавіна І.П. // Вісник НТУ "ХПІ". Тематичний випуск: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 68 – 72.

Розроблена архітектура гібридної ієрархічної нейронної мережі (ГІНМ), що базується на нейронних мережах (НМ) адаптивної резонансної теорії АРТ-1 та їх модифікаціях АРТ-1s і АРТ-1h, та НМ Хеммінга. ГІНМ застосовується для опису онтології знань мультиагентної системи управління машинобудівним підприємством. Лл.: 2. Бібліогр.:

10 назв.

Ключові слова: гібридна ієрархічна нейронна мережа, адаптивна резонансна теорія, онтологія знань, мультиагентна система.

UDC 658.5

Hybrid hierarchical neural network for storing knowledge of the process cutting
/ **Dmitrienko V.D., Havina I.P.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject
issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). –
P. 68 – 72.

The architecture of the hybrid hierarchical neural network (HHNN) based on neural networks (NN) adaptive resonance theory ART-1, and their versions of ART-1h and ART-1s with NN Hemming. HHNN is used to describe the ontology knowledge multi-agent system control machinery manufacturer. Figs.: 2. Refs.: 10 titles.

Keywords: hybrid hierarchical neural network, adaptive resonance theory, the ontology of knowledge, multi-agent system.

УДК 621.391

Е.Г. ЖИЛЯКОВ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., НИУ "БелГУ",

Белгород,

А.А. ФИРСОВА, ассистент, НИУ "БелГУ", Белгород

СЕГМЕНТАЦИЯ РЕЧЕВЫХ СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ СУБПОЛОСНОГО АНАЛИЗА

Введены понятия нормированной субполосной корреляции и субполосного расстояния. Предложен новый метод сегментации речевых сигналов по границам звуков речи, основанный на использовании субполосного расстояния. Предложен новый метод выделения отрезков речевых сигналов, порождаемых звуками речи с почти периодической структурой. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: нормированная субполосная корреляция, субполосное расстояние, сегментация речевых сигналов, звуки речи с почти периодической структурой.

Постановка проблемы. В настоящее время возрастает интерес к разработке разнообразных речевых технологий [1, 2], в том числе к созданию методов и алгоритмов автоматического распознавания речи [3]. Обработке при этом подвергаются речевые сигналы (РС), которые являются результатами регистрации значений электромагнитных колебаний на выходе микрофонов при воздействии акустических колебаний на их входах, возникающих в результате речевого обмена. Одной из важных задач является сегментация РС, то есть разбиение их на отрезки, которые порождаются разными звуками речи или паузами речи. В данной работе эта задача рассматривается без идентификации порождающих акустические колебания звуков речи.

Основные рассматриваемые аспекты: обнаружение переходов речь/пауза и пауза/речь; моменты смены одного звука речи другим; выделение отрезков РС, порождаемых звуками речи с почти периодичной структурой, прежде всего вокализованных.

Анализ литературы. Эффективность алгоритма сегментации определяется точностью определения границы между различными звуками. Существующие методы сегментации речевых сигналов по звукам речи можно разделить на несколько классов: основанные на использовании спектрального анализа в базисе Фурье; основанные на использовании вейвлет-анализа; основанные на использовании коэффициентов корреляции. Отдельным классом можно выделить методы, основанные на различиях энергетических характеристиках, оценка которых осуществляется во временной области [4 – 6].

© Е.Г. Жилияков, А.А. Фирсова, 2013

Существующие методы сегментации либо позволяют определять только границы слогов или предложений, либо приводят к появлению дополнительных границ на участках, соответствующих одному звуку.

В основе многих из разработанных подходов используются частотные представления, так как порождаемые звуками речи отрезки РС обладают свойством концентрации энергии в достаточно "узких" полосах частотной оси. В связи с этим можно упомянуть рассматриваемое в литературных источниках разбиение частотной полосы на так называемые критические полосы слуха, которые опосредованно отражаются на частотных свойствах РС. Таким образом, адекватным подходом к обработке РС является субполосный анализ, когда их свойства соотносятся с некоторым разбиением оси частот на интервалы конечной ширины. Причем, в виду зависимости частотного распределения энергий от вида произносимого звука, анализу необходимо подвергать отрезки РС конечной длительности.

Цель статьи – разработка методов сегментации РС по границам звуков и выделение отрезков РС, порождаемых звуками речи с почти периодичной структурой, на основе субполосного анализа.

Основы субполосного анализа РС. Предполагается, что РС представлены эквидистантными отсчетами

$$x_i = x(i\Delta t), \quad i = 1, 2, \dots,$$

с частотой дискретизации:

$$f_d = 1/\Delta t \geq 8000 \text{ Гц}.$$

Известно [1, 3], что все звуки русской речи обладают свойствами концентрации энергии в пределах малой доли частоты дискретизации. Поэтому адекватным подходом к сегментации РС является применение субполосного анализа, когда их характеристики соотносятся некоторым разбиением области нормированных частот [7]

$$-\pi \leq \omega \leq \pi, \quad (1)$$

на частотные интервалы:

$$\Omega_r = [-\Omega_{2r}, -\Omega_{1r}] \cup [\Omega_{1r}, \Omega_{2r}], \quad (2)$$

где $r = 1, \dots, R$;

$$\Omega_{2r} > \Omega_{1r}; \quad \Omega_{2r} \leq \pi. \quad (3)$$

В соответствии с конечной длительностью звуков речи анализу должны подвергаться конечные наборы отсчетов РС (векторы)

$$\vec{x}_N = (x_1, \dots, x_N)^T, \quad (4)$$

где T – символ транспонирования.

Положим

$$X_N(\omega) = \sum_{i=1}^M x_i e^{-j\omega(i-1)}. \quad (5)$$

Имеет место формула обращения [8]

$$x_k = \int_{-\pi}^{\pi} X_N(\omega) e^{j\omega(k-1)} d\omega / 2\pi, \quad (6)$$

и справедлива формула Парсеваля

$$g_{xy} = (\vec{x}_N \vec{y}_N) = \sum_{i=1}^M x_i y_i = \int_{-\pi}^{\pi} X_N(\omega) Y_N^*(\omega) d\omega / 2\pi, \quad (7)$$

где звездочка означает комплексное сопряжение, а $\vec{y}_N = (y_1, \dots, y_N)^T$.

В частности, имея в виду частотные интервалы (2), соотношение (7) можно переписать в виде суммы:

$$(\vec{x}_N, \vec{y}_N) = \sum_{r=1}^R G_r(\vec{x}_N, \vec{y}_N), \quad (8)$$

слагаемые которой

$$G_r(\vec{x}_N, \vec{y}_N) = \int_{\omega \in \Omega_r} X_N(\omega) Y_N^*(\omega) d\omega / 2\pi \quad (9)$$

естественно называть субполосными корреляциями.

Кроме того, можно ввести понятие частей энергии, попадающих в частотные интервалы

$$\|\vec{x}_N\|^2 = \sum_{r=1}^R P_r(\vec{x}_N); \quad \|\vec{y}_N\|^2 = \sum_{r=1}^R P_r(\vec{y}_N), \quad (10)$$

где

$$P_r(\vec{z}_N) = \int_{\omega \in \Omega_r} |Z_N(\omega)|^2 d\omega / 2\pi, \quad (11)$$

где $\vec{Z}_N(\omega)$ – трансформанта Фурье вектора $\vec{z}_N$, и понятие субполосных нормированных корреляций

$$\rho_r(\vec{x}_N, \vec{y}_N) = \frac{G_r(\vec{x}_N, \vec{y}_N)}{\sqrt{P_r(\vec{x}_N) P_r(\vec{y}_N)}}. \quad (12)$$

Они, очевидно, удовлетворяют неравенству

$$|\rho_r(\bar{x}_N, \bar{y}_N)| \leq 1. \quad (13)$$

Именно характеристики (11) и (12) в дальнейшем положены в основу разрабатываемых алгоритмов сегментации речевых сигналов.

Примечательно, что для их вычисления нет необходимости переходить в частотную область, т.к. подстановка в представление (9) и (11) определений вида (5) позволяет получить реализуемые непосредственно во временной области билинейные и квадратичные формы

$$G_r(\bar{x}_N, \bar{y}_N) = \bar{x}_N^T A_r \bar{y}_N, \quad (14)$$

$$P_r(\bar{z}_N) = \bar{z}_N^T A_r \bar{z}_N, \quad (15)$$

где A_r субполосная матрица с элементами:

$$a_{ik}^r = \{\sin(\Omega_{2r}(i-k)) - \sin(\Omega_{1r}(i-k))\} / \pi(i-k). \quad (16)$$

Отметим, что соотношения (14) и (15) позволяют вычислить точные значения частей энергии отрезков сигналов, приходящихся на заданный частотный интервал, и соответствующих субполосных корреляций.

Селекция пауз в речевых воздействиях

Исходная (нулевая) гипотеза формируется следующим образом.

H_0 : отрезок сигнала $\bar{x}_N$ зарегистрирован в паузе речи так что

$$\bar{x}_N = \bar{u}_N, \quad (17)$$

где $\bar{u}_N = (u_1, \dots, u_N)^T$ – вектор отрезков шумов.

Альтернатива имеет следующую формулировку.

H_1 : хотя бы часть отчетов зарегистрирована в присутствии речевого воздействия, которые аддитивно взаимодействуют с шумом, то есть

$$\bar{x}_N = \bar{z}_N + \bar{u}_N, \quad (18)$$

где $\bar{z}_N = (z_1, \dots, z_N)^T$ – вектор отчетов возбуждаемых речью, часть из которых может быть равна нулю.

В качестве решающей функции предлагается использовать:

$$F_r(\bar{x}) = \frac{P_r(\bar{x}_N)}{E[P_r(\bar{u})]}, \quad (19)$$

где E – символ математического ожидания.

Гипотеза H_0 отвергается при выполнении следующего неравенства

$$\max F_r(\bar{x}) > h_\alpha, \quad (20)$$

где максимум определяется для всех частотных интервалов, а h_α – некоторый порог.

Предполагается, что имеется возможность предварительного обучения, на этапе которого при заведомом отсутствии речи можно определить оценки $\bar{P}_r(\bar{u}_N)$ математических ожиданий частей энергий шумов и оценку величины порога в (20), удовлетворяющую условию:

$$PR \left\{ P_r(\bar{u}_N) / \bar{P}_r(\bar{u}_N) \geq h_\alpha \right\}_{\max} \leq \bar{\alpha}, \quad (21)$$

где PR – оценка вероятности, α – желаемый уровень вероятности ошибок первого рода, а $\bar{\alpha}$ его оценка при использовании оценок математических ожиданий.

Оценивание математических ожиданий и порога можно осуществить по одному и тому же достаточно большому количеству отчетов шумов, при отсутствии речи, например по 10 000 отрезкам необходимой длительности (порядка 1,5 секунд).

Предполагая для простоты, что шумы в паузах, являются гауссовыми с независимыми отсчетами, причем

$$E[u_t] = 0, \quad (22)$$

$$\sigma_0^2 = E[u_t^2], \quad (23)$$

можно показать справедливость следующих соотношений

$$m_r = E[P_r(\bar{u})] = \sigma_u^2 N (\Delta\Omega_r / \pi)^2, \quad (24)$$

$$\sigma_r^2 = E[(P_r(\bar{u}) - m_r)^2] = 2N\sigma_u^4 (\Delta\Omega_r / \pi)^2, \quad (25)$$

где $\Delta\Omega_r = \Omega_{2r} - \Omega_{1r}$.

Таким образом, имеет место

$$\gamma_r = \sigma_r / m_r = 2/(N)^{1/2}. \quad (26)$$

То есть в отсутствии сигнала дисперсия решающей функции (19) обратно пропорциональна длительности обрабатываемого отрезка, а ее математическое ожидание равно единице.

В виду нестационарности речевых воздействий исследовать мощность критерия (20) (левая часть) не представляется возможным. Отметим только, что использование максимального значения решающей функции, по крайней мере, в случае белого шума, позволяет в среднем эффективно отреагировать на появления дополнительной энергии, которая сосредоточена в малой доле частотной полосы.

Сегментация квазипериодических звуков речи

Некоторые звуки речи порождают отрезки речевых сигналов с достаточно отчетливой повторяемостью фрагментов, которые естественно называть квазипериодами, наиболее отчетливо это свойство выражено при произнесении так называемых вокализованных звуков, к которым относятся гласные.

Выделение участков квазипериодичности является важной задачей обработки речевых сигналов, о чем свидетельствуют многие работы, в которых она рассматривается (см. например [1, 3]). При этом основное внимание уделяется оцениванию периода, так называемого, основного тона. Рассмотрим некоторые проявления свойств периодичности.

Пусть отрезок отсчетов сигнала $\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)^T$ обладает свойством периодичности

$$x_{i+kM} = x_i \quad (27)$$

и для простоты имеет место

$$N = L \times M, \quad (28)$$

где L и k – целые числа.

Тогда для его трансформанты Фурье справедливы соотношения

$$|X(\omega)|^2 = D^2(\omega) \times |X_M(\omega)|^2, \quad (29)$$

$$|X_M(\omega)|^2 = \left| \sum_{k=1}^M x_k e^{-j\omega(k-1)} \right|^2, \quad (30)$$

$$D^2(\omega) = \sin^2\left(LM \frac{\omega}{2}\right) / \sin^2\left(M \frac{\omega}{2}\right). \quad (31)$$

Функция (31) в частотной области имеет максимумы в точках (кроме $\omega = 0$)

$$\omega_k = k \frac{2\pi}{M}; \quad k = 1, \dots, n, \quad (32)$$

так что первый максимум соответствует периоду.

Если, в свою очередь, и произведение (29) будет иметь в точке $2\pi/M$ наибольший из экстремумов, то это позволяет оценить величину периода. Однако множитель (30) может иметь максимумы в других точках оси частот, так что наибольшее значение (29) достигается также в другой точке, чем определяется (32) при $k = 1$. Такой эффект, например, проявляется в том, что достаточно эффективный метод оценивания периода основного тона на основе вычисления скалярных произведений

$$G(\tau) = \sum_{i=1}^N x_i x_{i+\tau}, \quad (33)$$

и использования оценки

$$\overline{M} = \arg \max_{1 \leq \tau \leq 0} G_r(\tau) \quad (34)$$

также дает заниженные значения длительности периода основного тона.

Вместе с тем наличие квазипериодичности будет в той или иной мере проявляться во всех точках вида (32), так как множитель (30) будет отличен от нуля на всей частотной оси. Поэтому представляется естественным перейти к субполосным коэффициентам автокорреляции

$$\rho_r(\tau) = G_r(\tau) / \sqrt{P_r(\vec{x}_N) P_r(\vec{x}_N^T)}, \quad (35)$$

где $\vec{x}_N^T = (x_{1+\tau}, \dots, x_{N+\tau})^T$;

$$G_r(\tau) = \vec{x}_N^T A_r \vec{x}_N^t. \quad (36)$$

При этом в качестве оценки периода предлагается использовать:

$$\overline{M} = \arg \max_{1 < \tau \leq L} \sum_{r=1}^R \ln \frac{1 + \rho_r(\tau)}{1 - \rho_r(\tau)} / R. \quad (37)$$

Используемое здесь усреднение преобразования Фишера повышает устойчивость оценки.

Определение границ между звуками речи

Основная гипотеза имеет следующий вид:

H_0 : отрезки речевого сигнала $\vec{x} = (x_1, \dots, x_N)^T$ и $\vec{x}_N^N = (x_{N+1}, \dots, x_{2N})^T$ порождены одним и тем же звуком речи.

Положим

$$d_n(\vec{z}_N) = P_r(\vec{z}_N) / \|\vec{z}_N\|^2, \quad (38)$$

и введем на основе этих долей энергий понятие субполосного расстояния

$$\begin{aligned} V_N &= \left(\sum_{r=1}^R ((d_r(\vec{x}_N))^{1/2} - (d_r(\vec{x}_N^N))^{1/2})^2 / 2 \right)^{1/2} = \\ &= \left(1 - \sum_{r=1}^R (d_r(\vec{x}_N) d_r(\vec{x}_N^N))^{1/2} \right)^{1/2}. \end{aligned} \quad (39)$$

Для проверки исходной гипотезы предлагается использовать решающую функцию

$$W_N = s_1^2 / s_2^2 \times V_N, \quad (40)$$

где

$$s_1^2 = \max \left\{ \|\bar{x}_N\|^2, \|\bar{x}_N^N\|^2 \right\};$$

$$s_2^2 = \min \left\{ \|\bar{x}_N\|^2, \|\bar{x}_N^N\|^2 \right\}.$$

Гипотеза отвергается при выполнении неравенства

$$W_N > \vartheta_\alpha, \quad (41)$$

где ϑ_α – порог, который соответствует некоторой желаемой вероятности ошибок первого рода.

Выводы. В результате проделанной работы был предложен новый метод селекции отрезков РС, порождаемых квазипериодическими звуками русской речи, основанный на введенном в работе понятии нормированной субполосной корреляции. Данный метод позволяет осуществлять селекцию отрезков РС, порождаемых квазипериодическими звуками русской речи с вероятностью ошибочного принятия решения не более 0,12, а также определить значение периода основного тона с погрешностью не более 0,02. Разработана новая решающая функция сегментации РС по границам звуков речи, основанная на использовании введенного в работе понятия субполосного расстояния. Предложенная решающая функция позволяет определять границы звуков русской речи с вероятностью ошибочного принятия решения не более 0,15÷0,20.

Работа выполнена в рамках проекта № 8.2251.2011 Государственного задания Министерства образования и науки РФ подведомственным ВУзам на выполнение НИР в 2013 году.

Список литературы: 1. Шелухин О.И. Цифровая обработка и передача речи / О.И. Шелухин, Н.Ф. Лукьянцев. – М.: Радио и связь, 2000 – 456 с. 2. Арлазаров В.Л. Речевой ввод/вывод как развитие человеко-машинных интерфейсов / В.Л. Арлазаров // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2004. – № 2. – С. 3-10. 3. Сорокин В.Н. Структура проблемы автоматического распознавания речи / В.Н. Сорокин // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2004. – № 2. – С. 25-40. 4. Сорокин В.Н. Сегментация речи на кардинальные элементы / В.Н. Сорокин, А.И. Цыплихин // Информационные процессы. – 2006. – Т. 6. – № 3. – С. 177-207. 5. Дремин И.М. Вейвлеты и их использование / И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171. – № 5. – С. 465-500. 6. Ермоленко Т.Н. Алгоритмы сегментации с применением быстрого вейвлет-преобразования

/ Т.Н. Ермоленко, В.И. Шевчук // Статьи, принятые к публикации на сайте международной конференции Диалог'2003. www.dialog-21.ru. 7. Вариационные методы анализа сигналов на основе частотных представлений / Е.Г. Жилияков, С.П. Белов, А.А. Черноморец // Вопросы радиоэлектроники, серия ЭВТ. – 2010. – Вып. 1. – С. 10-26. 8. Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Голд Бю. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

Поступила в редакцию 03.04.2013

УДК 621.391

Сегментация мовних сигналів на основі субполосного аналізу / Жилияков Є.Г., Фірсова А.А. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 73 – 81.

Введено поняття нормованої субполосної кореляції і субполосної відстані. Запропоновано новий метод сегментації мовних сигналів на кордонах звуків мови, що засновані на використанні субполосного відстані. Запропоновано новий метод виділення відрізків мовних сигналів, породжуваних звуками мови з майже періодичною структурою. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: нормована субполосна кореляція, субполосна відстань, сегментація мовних сигналів, звуки мови з майже періодичною структурою.

UDC 621.391

Segmentation of speech signals based on analysis sub-banding / Zhilyakov E.G., Firsov A.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 73 – 81.

The concepts of the normalized sub-banding correlation and sub-banding distance. A new method for segmentation of speech signals on the limits of the sounds of speech, based on the use sub-banding distance. A new method for isolation of segments of speech signals generated by the sounds of speech from the post of a periodic structure. Refs.: 8 titles.

Keywords: normalized sub-banding correlation sub-banding distance, segmentation of speech signals, the sounds of speech with a beinah periodic structure.

УДК 004.93

Т.А. ЗАЙКО, аспирантка, ЗНТУ, Запорожье,
А.А. ОЛЕЙНИК, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье,
С.А. СУББОТИН, канд. техн. наук, проф., ЗНТУ, Запорожье

АССОЦИАТИВНЫЕ ПРАВИЛА В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ

Рассмотрена задача построения моделей на основе ассоциативных правил. Проанализирован процесс поиска ассоциативных правил. Исследованы различные виды ассоциативных правил (негативные, численные, обобщенные, временные и нечеткие ассоциативные правила) при использовании их для решения задач интеллектуального анализа данных. Библиогр.: 15 назв.

Ключевые слова: ассоциативное правило, различные виды ассоциативных правил, интеллектуальный анализ данных, нечеткие ассоциативные правила.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время в связи со снижением удельной стоимости хранения данных возрастает объем хранимой информации на предприятиях [1, 2], в результате чего возникают задачи, связанные с необходимостью обработки больших массивов данных с целью поиска новых закономерностей, установления и выявления новых знаний.

Задачи прикладного характера, связанные с необходимостью обработки больших массивов данных, возникают на промышленных предприятиях, а также в организациях, занимающихся розничной торговлей, финансовым анализом, логистикой и коммуникациями [2 – 4].

Для анализа данных в настоящее время широко применяют методы и средства искусственного интеллекта [1, 4, 5], в частности нейронные сети, нечеткие модели, деревья решений, байесовские сети, методы регрессионного анализа и др. [1, 4 – 7].

Однако такие методы, как правило, используются для обработки структурированных данных, представленных в виде массивов, содержащих значения признаков и выходных параметров экземпляров выборки [1, 4 – 6].

В настоящее время наблюдается переизбыток так называемых неструктурированных данных [1, 2], в которых каждая единица хранения не может быть представлена конечным числом признаков (атрибутов). Такие данные могут содержать, например, информацию о товарах, купленных одним покупателем у предприятия розничной торговли; результаты ответов респондента при проведении анкетирования; набор

установленных диагнозов и результатов лабораторных исследований у пациентов лечебных учреждений; набор различного рода данных о клиентах предприятий и др.

Такие данные представляются, как правило, в виде последовательностей связанных событий [1 – 4]. При этом нет чёткого понимания, что является входными данными, а что выходными. Кроме того, размер каждой транзакции (множества событий, произошедших одновременно) не является фиксированным.

В связи с этим возникают задачи:

- сокращения объемов неструктурированных данных путем удаления избыточных транзакций, исключение которых из дальнейшего рассмотрения не повлияет на качество синтезируемых правил и моделей;

- выявления интересных правил, позволяющих извлекать новые знания на основе имеющихся неструктурированных данных;

- построения моделей на основе больших массивов неструктурированных данных для решения практических задач прогнозирования, классификации и кластеризации данных.

Для обработки больших массивов неструктурированных данных и решения указанных задач целесообразно использовать методы поиска ассоциативных правил [2, 4, 5, 8 – 10], позволяющие выявлять новые закономерности вида "если условие, то действие" в имеющихся данных и синтезировать на их основе интерпретабельные базы правил, понятные экспертам в прикладных областях.

В настоящее время предложено достаточно большое количество видов ассоциативных правил, каждый из которых целесообразно применять для решения определенного класса задач. Поэтому актуальным является обзор и классификация ассоциативных правил для дальнейшего их применения с целью решения практических задач интеллектуального анализа данных.

Цель статьи – анализ ассоциативных правил и методов их построения для решения задач интеллектуального анализа данных.

Синтез ассоциативных правил. Пусть задан набор данных D :

$$D = \{T_1, T_2, \dots, T_{N_D}\}, \quad (1)$$

представляющий собой транзакционную базу данных [2], в которой каждый элемент T_j , $j = 1, 2, \dots, N_D$ содержит информацию о некоторых взаимосвязанных событиях, где $N_D = |D|$ – количество элементов (транзакций) в наборе данных D .

Элементы T_j могут представляться в виде (2):

$$T_j = (tid_j, item_j), \quad (2)$$

где tid_j – идентификатор j -й транзакции T_j ; $item_j = \{t_{1j}, t_{2j}, \dots, t_{N_{item_j}j}\} \subseteq I$ – список элементов транзакции T_j ; t_{ij} – i -й элемент списка $item_j$, $i = 1, 2, \dots, N_{item_j}$; $N_{item_j} = |item_j|$ – количество элементов множества $item_j$; $I = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_I}\}$ – множество возможных значений, которые могут входить в список элементов $item_j$ каждой транзакции T_j , $j = 1, 2, \dots, N_T$ набора данных D ; τ_a – a -й элемент множества I , $a = 1, 2, \dots, N_I$; $N_I = |I|$ – количество элементов в I .

Таким образом, каждая транзакция T_j набора данных D представляет собой список элементов $item_j$, являющийся подмножеством множества I .

Ассоциативным правилом (АП) называется импликация $X \rightarrow Y$, в которой наборы X и Y не пересекаются (3) [2, 8 – 10]:

$$X \rightarrow Y: X \subset I, Y \subset I, X \cap Y = \emptyset. \quad (3)$$

Т.е. ассоциативное правило описывает закономерности вида: "Из события X следует событие Y " или "если условие, то действие" [2, 9].

Задача поиска ассоциативных правил AR заключается в том, чтобы на основе имеющегося набор данных D (транзакционной базы данных) найти закономерности между событиями $\tau_a \in I$, $a = 1, 2, \dots, N_I$.

Задача построения АП связана с необходимостью вычисления поддержки достоверности правил a . Набор $X \subset I$ из базы D имеет поддержку $\text{supp}(X)$, определяемую как отношение количества транзакций T в наборе данных D , содержащих множество элементов X , к общему количеству транзакций в базе данных D .

Поддержкой $\text{supp}(X \rightarrow Y)$ правила $X \rightarrow Y$ является поддержка множества $X \cup Y$: $\text{supp}(X \rightarrow Y) = \text{supp}(X \cup Y)$.

Достоверностью $\text{conf}(X \rightarrow Y)$ правила $X \rightarrow Y$ называют отношение его поддержки $\text{supp}(X \rightarrow Y)$ к поддержке $\text{supp}(X)$ множества X .

Процесс синтеза ассоциативных правил может быть разбит на два этапа [2, 9]:

– генерирование всех наборов X с уровнем поддержки, не ниже заданного экспертом порогового значения $\text{minsupport}(X)$, в результате чего формируются часто встречаемые наборы $X \subset I$;

– генерирование всех правил $X \rightarrow Y$ с уровнем достоверности, не ниже заданного экспертом порогового значения $\text{minconfidence}(X \rightarrow Y)$.

Анализ видов ассоциативных правил. При поиске взаимосвязей между различными элементами в транзакционных базах данных $D = \{T_1, T_2, \dots, T_{N_T}\}$ часто необходимо выявлять не только, так называемые, позитивные ассоциативные правила (positive association rules) $X \rightarrow Y$, но и другие виды правил. К таким правилам относятся [8 – 15]: негативные, численные, обобщенные, временные и нечеткие АП.

Негативные АП (negative association rules) характеризуют отрицательную взаимосвязь между различными событиями типа: "Если произошло событие X , то событие Y не наступит" ($X \rightarrow \bar{Y}$) или "Если не произошло событие X , то наступит событие Y " ($\bar{X} \rightarrow Y$) [11].

Необходимость извлечения негативных ассоциативных правил $X \rightarrow \bar{Y}$ или $\bar{X} \rightarrow Y$ наряду с позитивными правилами $X \rightarrow Y$ обуславливается следующей причиной. Построение полного набора ассоциативных правил ($X \rightarrow Y$, $X \rightarrow \bar{Y}$, $\bar{X} \rightarrow Y$) между различными объектами $\tau_a \in I$, $a = 1, 2, \dots, N_I$ базы данных $D = \{T_1, T_2, \dots, T_{N_T}\}$ позволит более детально описать исследуемые зависимости, что в свою очередь приведет к более точным результатам прогнозирования по синтезированной базе правил [8, 11].

Для поиска интересных негативных правил (таких, которые представляют интерес в конкретной прикладной области в соответствии с заданным набором данных D) необходимо учитывать уровень их интереса, определяемый в соответствии с критерием Пятецкого-Шапиро [2, 9] следующим образом

$$\text{supp}(X \rightarrow \bar{Y}) - \text{supp}(X)\text{supp}(\bar{Y}) \geq \varepsilon_I. \quad (4)$$

При выполнении неравенства (4) правила $X \rightarrow \bar{Y}$ считаются интересными. Аналогичным образом можно определить и неравенства для поиска интересных негативных правил типа $\bar{X} \rightarrow Y$ [11].

Таким образом, при извлечении негативных правил $X \rightarrow \bar{Y}$ из набора данных D поиск происходит таких транзакций T_j , в результате чего извлекается набор негативных правил $X \rightarrow \bar{Y}$, удовлетворяющих списку условий (5):

$$\left\{ \begin{array}{l} (\text{supp}(X) \geq \text{minsupport}) \cap (\text{supp}(Y) \geq \text{minsupport}) \cap \\ \cap (\text{supp}(X \rightarrow \bar{Y}) \geq \text{minsupport}); \\ \text{conf}(X \rightarrow Y) \geq \text{minconfidence}; \\ |\text{supp}(X \rightarrow \bar{Y}) - \text{supp}(X)\text{supp}(\bar{Y})| \geq \varepsilon_I. \end{array} \right. \quad (5)$$

Приведенные условия позволяют выявлять достоверные негативные правила $X \rightarrow \bar{Y}$ с приемлемым уровнем поддержки и являющиеся интересными в исследуемой предметной области.

Важно отметить, что при идентификации негативных ассоциативных правил необходимо обрабатывать нечастые последовательности в заданной базе данных D . Однако большинство методов синтеза АП основаны на извлечении и анализе часто встречаемых наборов, что затрудняет их применение на практике для поиска негативных АП [2, 8–11], и обуславливает необходимость разработки новых методов синтеза АП, позволяющих извлекать как позитивные, так и негативные АП.

Часто признаки $\tau_a \in I$, $a=1, 2, \dots, N_I$ могут принимать не только бинарные, но и численные значения из некоторого диапазона значений $\tau_a \in [\tau_{a\min}; \tau_{a\max}]$ или множества значений $T(\tau_a) = \{\tau_{a1}, \tau_{a2}, \dots, \tau_{aN_{\tau a}}\}$. Поэтому актуальной является задача выделения правил вида Если $X \in [X_{\min}; X_{\max}]$, то $Y \in [Y_{\min}; Y_{\max}]$. Численным ассоциативным правилом (quantitative association rule) называется импликация вида (6) [2, 12]:

$$\langle X, v(X) \rangle \rightarrow \langle Y, v(Y) \rangle, \quad (6)$$

где $v(X) \in T(X)$ и $v(Y) \in T(Y)$ – значения переменных X и Y , соответственно, принадлежащие множествам возможных значений $T(X)$ и $T(Y)$.

Поддержка $\text{supp}(X \rightarrow Y)$ численного АП $X \rightarrow Y$ вида (6) определяется по формуле (7) [12]:

$$\text{supp}(X \rightarrow Y) = \frac{1}{|D|} \sum_{j=1}^{|D|} \prod_{i=1}^{N_X+N_Y} v_j(\tau_a), \quad \tau_a \in (X \cup Y), \quad (7)$$

где N_X и N_Y – количество элементов $\tau_a \in I$ в множествах $X = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_X}\}$ и $Y = \{\tau_{N_X+1}, \tau_{N_X+2}, \dots, \tau_{N_X+N_Y}\}$, соответственно; $v_j(\tau_a)$ – значение a -го признака τ_a в j -й транзакции T_j базы данных D .

Достоверность $\text{conf}(X \rightarrow Y)$ численного АП $X \rightarrow Y$ вида (6) определяется аналогично позитивным АП. При этом поддержка $\text{supp}(X)$ множества X вычисляется в соответствии с формулой (8) [12]:

$$\text{supp}(X) = \frac{1}{|D|} \sum_{j=1}^{|D|} \prod_{i=1}^{N_X} v_j(\tau_a), \quad \tau_a \in X. \quad (8)$$

Процесс поиска численных АП вида (6) по заданным наборам данных D связан с необходимостью разбиения на интервалы (дискретизации) диапазонов возможных значений элементов $\tau_a \in I$, входящих в транзакции T_j , $j=1, 2, \dots, N_T$. В результате такого разбиения каждая j -я транзакция $T_j = (tid_j, item_j)$ представляется списком элементов $item_j = \{t_{1j}, t_{2j}, \dots, t_{N_{item_j}j}\} \subseteq I$, в котором каждый i -й элемент t_{ij} представляется в виде (9):

$$t_{ij} = (\text{элемент } \tau_a \in I; \text{диапазон значений элемента } \tau_a), \quad (9)$$

при этом множество $I = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_I}\}$ возможных значений, которые могут входить в список элементов $item_j$ каждой транзакции T_j , содержит элементы τ_a (10):

$$\tau_a \in [\tau_{a\min}; \tau_{a\max}] = \bigcup_{c=1}^{N_{\text{разб}}\tau_a} [\tau_{a\min c}; \tau_{a\max c}], \quad a=1, 2, \dots, N_I, \quad (10)$$

где $\tau_{a\min}$ и $\tau_{a\max}$ – минимальное и максимальное значение, которые может принимать a -й элемент τ_a множества I ; $\tau_{a\min \tilde{n}}$ и $\tau_{a\max \tilde{n}}$ – минимальное и максимальное значение c -го интервала разбиения значений a -го элемента τ_a множества I ; $N_{\text{разб}}\tau_a$ – количество интервалов разбиения a -го элемента τ_a .

После дискретизации значений численных переменных выполняется поиск ассоциативных правил $X \rightarrow Y$. При этом используются методы извлечения ассоциативных правил, удовлетворяющих приведенным выше условиям к позитивным правилам вида $X \rightarrow Y$, но при таком поиске каждый диапазон дискретизации каждой переменной считается отдельным элементом, который может быть использован при построении ассоциативного правила [2].

Однако необходимость дискретизации диапазонов значений переменных для извлечения численных АП существенно увеличивает пространство поиска и требования к вычислительным ресурсам ЭВМ. Кроме того, в некоторых случаях дискретизация приводит к неудачным разбиениям диапазона значений переменных, в результате чего не обеспечивается приемлемая точность прогнозирования или классификации по синтезированной базе АП. Поэтому актуальной задачей является разработка новых методов поиска численных АП, свободных от указанных недостатков.

Иногда элементы $\tau_a \in I$, образующие транзакции T_j базы данных D , могут быть объединены в группы, а группы элементов могут формировать группы более высокого уровня и т.д., образуя, таким образом, некоторую иерархическую древоподобную структуру. В таких случаях целесообразно извлекать правила, связывающие не только наборы конкретных элементов $\tau_a \in I$ из базы данных D , но и элементы с группами, а также группы с группами. Это особенно полезно, например, в задачах анализа взаимосвязей потребительского спроса на различные группы товаров, взаимосвязей различных групп болезней в медицинском диагностировании и т.п. [8 – 10, 13].

Пусть задана транзакционная база данных D (1), содержащая элементы $\tau_a \in I$, которые могут быть отнесены к определенным группам $Gr = \{gr_1, gr_2, \dots, gr_{N_{Gr}}\}$. То есть может быть построено дерево, описывающее связи типа "часть – целое" исследуемой предметной области. Для узла-потомка τ_{child} будем считать узел τ_{parent} , который располагается на более высоком уровне дерева, и от которого имеется путь к узлу τ_{child} .

Обобщенным АП (generalized association rule) называется импликация $X \rightarrow Y$, в которой ни один из элементов множества $Y = \{\tau_{Y1}, \tau_{Y2}, \dots, \tau_{N_Y}\}$ не является предком какого-либо элемента множества $X = \{\tau_{X1}, \tau_{X2}, \dots, \tau_{N_X}\}$ [2, 8 – 10, 13]. При этом остальные условия для АП сохраняются.

Задача поиска обобщенных АП заключается в том, чтобы на основе заданной базы данных D и построенной иерархии элементов идентифицировать все правила с уровнями поддержки, достоверности и интереса, не ниже заданных пороговых значений minsupport , minconfidence и ε_I . При этом поддержка $\text{supp}(X \rightarrow Y)$ и достоверность

$\text{conf}(X \rightarrow Y)$ обобщенных АП $X \rightarrow Y$ вычисляются аналогично позитивным АП.

Использование дополнительной информации об иерархических связях и о возможности группировки элементов $\tau_a \in I$, а также введение дополнительного множества $Gr = \{gr_1, gr_2, \dots, gr_{N_{Gr}}\}$ при поиске АП позволяет извлекать правила между различными иерархическими уровнями, что, в свою очередь, обеспечивает возможность выявления скрытых связей между различными наборами элементов из D (1). Это достигается в том числе за счет того, что поддержка группы $\text{supp}(gr)$ может быть больше поддержки элементов $\tau_a \in I$, ее образующих, и, соответственно, быть более минимальной поддержки $\text{minsupport}(X)$, что позволит синтезировать правила типа $gr \rightarrow Y$, $X \rightarrow gr$, $gr_1 \rightarrow gr_2$, в то время как некоторые правила типа $X \rightarrow Y$ не будут извлечены в силу невыполнения условий соответствия, условий удовлетворения пороговым значениям поддержки и достоверности.

С целью извлечения обобщенных АП применяют методы поиска позитивных АП. При этом каждая транзакция T_j базы данных D (1) расширяется путем дополнения ее всеми предками каждого из элементов, в нее входящих. Однако применение такого подхода связано с такими проблемами [8, 13]:

- элементы gr , расположенные на верхних иерархических уровнях дерева, характеризуются существенно более высокими значениями поддержки, что, как правило, приводит к их появлению в большинстве синтезированных правил и, следовательно, к построению избыточных правил и к усложнению построенной базы правил;

- существенное увеличение пространства поиска, связанное с добавлением групповых элементов gr в транзакции T_j , что усложняет задачу извлечения АП и увеличивает количество извлеченных правил.

Необходимость устранения приведенных недостатков обуславливает потребность разработки новых и модификации существующих методов извлечения АП.

При работе с базами данных, содержащих информацию о событиях, связанных во времени, целесообразно синтезировать временные АП (temporal association rules) [14]. Существенным отличием баз данных типа D (1) от тех, с которыми приходится иметь дело при извлечении временных АП, является наличие информации о времени транзакций T_j . Поэтому большинство понятий и определений, приведенных для

позитивных АП являются верными и для временных АП. Исключение составляет поддержка правил.

К временным АП относятся [14]:

а) АП, описывающие зависимости, связанные с некоторыми интервалами времени. Такие правила могут быть представлены в виде: "В интервал времени $time(X)$ истинным является выражение: Если X , то Y ". Временным интервалом $time(X)$ набора элементов X считается интервал времени, на протяжении которого выполняется этот набор (11):

$$time(X) = [time(T_f); time(T_e)], \quad (11)$$

где $time(T_f)$ и $time(T_e)$ – времена первой T_f и последней T_e транзакций, содержащих набор элементов X , $time(T_f) < time(T_e)$.

При таком подходе поддержкой $supp(X)$ набора элементов X является отношение количества $N_{T_j \in D | X \subseteq T}$ транзакций T_j базы данных D , содержащих набор X , к количеству $N_{T_j \in D | time(t) \subseteq time(X)}$ транзакций, происходящих во временном интервале $time(X)$. Поддержка $supp(X)$ в таком случае вычисляется по формуле (12):

$$supp(X) = \frac{N_{T_j \in D | X \subseteq T}}{N_{T_j \in D | time(t) \subseteq time(X)}}; \quad (12)$$

б) циклические АП – описывают регулярные циклические действия во времени. Например, к таким АП могут быть отнесены правила, которые являются истинными в определенный промежуток времени каждого дня. Такие правила могут быть представлены в виде: "В интервал времени $time(X)$ с периодичностью $Period$ истинным является выражение: Если X , то Y ".

Пусть Δt – некоторый интервал времени. Тогда транзакция T_j выполняется в j -й интервал времени $time(T_j)$: $[j \cdot \Delta t; (j+1) \cdot \Delta t]$. Обозначим $ST(time(T_j))$ – множество транзакций, выполняемых в j -й интервал времени $time(T_j)$: $ST(time(T_j)) = \{T \in D | time(T) \subseteq time(T_j)\}$. Циклическая поддержка $supp(X \rightarrow Y, time(T_j))$ АП $X \rightarrow Y$ в j -й интервал времени $time(T_j)$ отношение количества транзакций в

множестве $ST(time(T_j))$ к общему количеству транзакций в базе данных D . Аналогичным образом определяется и достоверность $\text{conf}(X \rightarrow Y, time(T_j))$ правила $X \rightarrow Y$ в j -й интервал времени (13):

$$\text{conf}(X \rightarrow Y, time(T_j)) = \frac{\text{supp}(X \rightarrow Y, time(T_j))}{\text{supp}(X, time(T_j))}. \quad (13)$$

Определим цикл как пару $c = (Period, O)$, в которой $Period$ – период или длина цикла (например, $L = 24$ часа, $\Delta t = \text{час}$), O – смещение, т.е. конкретное время срабатывания правила, $0 \leq O \leq Period$. Таким образом, АП $X \rightarrow Y$ является циклическим с циклом $c = (Period, O)$, если оно срабатывает в каждый O -й интервал времени с периодичностью $Period$.

Для извлечения временных АП, аналогично поиску других видов правил, задаются пороговые значения минимальной поддержки, достоверности и интересности правила: minsupport , minconfidence и ε_I , соответственно.

Однако непосредственное применение методов поиска позитивных АП для извлечения временных АП связано с проблемой вычисления интересности правил с учетом времени их выполнения [2, 8 – 10, 14]. Кроме того, существуют проблемы извлечения временных АП с разными периодами срабатывания правил, поиска оптимальных интервалов дискретизации времени Δt и др. Поэтому целесообразной является разработка новых методов извлечения временных АП, устраняющих недостатки существующих методов.

Пусть транзакционная база данных D характеризуется набором транзакций T_j , состоящих из элементов $\tau_a \in I = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_I}\}$, а также неотрицательных весовых коэффициентов (весов) $W = \{w_1, w_2, \dots, w_{N_I}\}$, где w_a – вес элемента τ_a , $a = 1, 2, \dots, N_I$.

Понятие нечетких АП (fuzzy association rules) связано с численными правилами [15]. При этом основные понятия и определения относительно бинарных (позитивных) АП расширяются на нечеткие АП для численных транзакций. Как отмечено выше, числовые значения элементов τ_a при поиске численных АП должны быть дискретизированы – разбиты на непересекающиеся интервалы, каждый из которых рассматривается в дальнейшем как отдельный атрибут или терм. С целью устранения проблемы неэффективного разбиения на интервалы при извлечении АП в

случае наличия в транзакционной базе данных D числовых переменных используется теория нечетких множеств, в сочетании с теорией АП позволяющая извлекать нечеткие АП и строить на их основе нечеткие базы правил.

Нечеткая поддержка $\text{supp}(X, T_j)$ набора X в транзакции T_j определяется по формуле (14) [15]

$$\text{supp}(X, T_j) = \bigcap_{i=1}^{|X|} \mu_{X_i}(T_j), \quad (14)$$

где $\mu_{X_i}(T_j)$ – функция принадлежности переменной X_i множеству T_j .

Нечеткая поддержка $\text{supp}(X)$ набора X по всей транзакционной базе данных D может быть вычислена аналогично по формуле (15)

$$\text{supp}(X) = \sum_{T_j: X \subseteq T_j} \text{supp}(X, T_j) = \sum_{T_j: X \subseteq T_j} \prod_{i=1}^{|X|} \mu_{X_i}(T_j). \quad (15)$$

При извлечении нечетких АП используются понятия взвешенной нечеткой поддержки набора элементов X и правила $X \rightarrow Y$ [15].

Взвешенная нечеткая поддержка $\text{wsupp}(X)$ набора элементов X определяется как произведение поддержка $\text{supp}(X)$ на сумму весовых коэффициентов w_a элементов τ_a , присутствующих в наборе X (16)

$$\text{wsupp}(X) = \left(\sum_{\tau_a \in X} w_a \right) \text{supp}(X). \quad (16)$$

Взвешенная нечеткая поддержка правила $X \rightarrow Y$ вычисляется по формуле (17)

$$\text{wsupp}(X \rightarrow Y) = \left(\sum_{\tau_a \in X \cup Y} w_a \right) \text{supp}(X \cup Y). \quad (17)$$

Взвешенная нечеткая достоверность правила $X \rightarrow Y$ вычисляется по формуле (18)

$$\text{wconf}(X \rightarrow Y) = \frac{\text{wsupp}(X \rightarrow Y)}{\text{wsupp}(X)} = \frac{\left(\sum_{\tau_a \in X \cup Y} w_a \right) \text{supp}(X \cup Y)}{\left(\sum_{\tau_a \in X} w_a \right) \text{supp}(X)}. \quad (18)$$

Для извлечения нечетких АП задаются уровни минимальной взвешенной поддержки wminsupport , минимальной взвешенной достоверности wminconfidence и минимальной интересности правила ε_I . Если взвешенная нечетка поддержка $\text{wsupp}(X)$ набора элементов X не меньше минимально допустимого значения ($\text{wsupp}(X) \geq \text{wminsupport}$), то набор X считается часто встречаемым. Аналогично, если значение взвешенной нечеткой достоверности $\text{wconf}(X \rightarrow Y)$ правила $X \rightarrow Y$ не меньше минимально допустимого значения ($\text{wconf}(X \rightarrow Y) \geq \text{wminconfidence}$), то правило $X \rightarrow Y$ считается достоверным. Кроме того, уровень интересности правила должен быть не менее заданного порогового значения ε_I .

Методы извлечения нечетких АП на начальном этапе выполняют преобразование каждой числовой переменной к нечеткому множеству с соответствующими лингвистическими термами, используя для этого функции принадлежности. Далее выполняется расчет скалярной мощности каждого лингвистического термина по всей базе данных D , а также вычисление поддержки наборов элементов, используя итеративный подход для поиска больших наборов данных. Затем выполняется поиск нечетких АП из этих больших наборов данных.

Каждый элемент используется только в лингвистическом терме с максимальной мощностью на более поздних итерациях, в результате чего количество обрабатываемых нечетких областей такое же, как количество элементов τ_a в множестве $I = \{\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{N_I}\}$. Таким образом, основной акцент осуществляется на наиболее важные лингвистические термы, что снижает временную сложность таких методов [15].

Однако необходимость выделения нечётких термов при извлечении АП требует решения задачи кластерного анализа (в результате чего термы могут быть определены как проекции границ кластеров на оси признаков), что усложняет процесс поиска нечетких АП, либо участия пользователя – эксперта в прикладной области, что уменьшает уровень автоматизации программных средств извлечения нечетких АП на основе соответствующих методов. Необходимость устранения указанных

недостатков обуславливает потребность разработки новых методов поиска нечетких АП.

Таким образом, с целью устранения выявленных недостатков существующих методов извлечения АП целесообразно разработать новые и модифицировать существующие методы для поиска негативных, численных, обобщенных, временных и нечетких ассоциативных правил.

Выводы. В работе решена актуальная задача исследования видов ассоциативных правил. Показано, что для обработки больших массивов неструктурированных данных целесообразно использовать ассоциативные правила, которые позволяют синтезировать базы правил, удобные для дальнейшего восприятия и анализа экспертами в прикладных областях.

Проанализирован процесс извлечения ассоциативных правил. Отмечено, что проанализированные методы не позволяют решать задачи отбора информативных признаков, кластерного анализа, построения моделей на основе больших массивов неструктурированных данных и др., возникающие при решении реальных практических задач прогнозирования, классификации и кластеризации данных.

Проанализированы основные виды АП (негативные, численные, обобщенные, временные и нечеткие АП), необходимость построения которых возникает при решении реальных задач. Показано, что существующие методы извлечения бинарных АП неэффективно функционируют при извлечении особых видов АП, что обуславливает необходимость разработки новых и модификации существующих методов для поиска негативных, численных, обобщенных, временных и нечетких АП.

С целью устранения выявленных недостатков предлагается:

- разработать эффективные методы извлечения негативных, численных, обобщенных, временных и нечетких АП;
- создать метод отбора информативных признаков с использованием АП;
- разработать метод кластерного анализа на основе АП;
- создать метод построения нейро-нечетких сетей с использованием АП;
- выполнить программную реализацию предложенных методов. На основе разработанного программного обеспечения исследовать предложенные методы, выполнить их сравнение с существующими аналогами, решить практические задачи распознавания образов.

Работа выполнена в рамках госбюджетной НИР кафедры радиотехники и телекоммуникаций Запорожского национального

технічного університету "Методи, моделі і пристрої прийняття рішень в системах розпізнавання образів" (№ гос. реєстрації 0111U000059), а також в рамках НІР ДБ 04922 "Інтелектуальні інформаційні технології автоматизації проектування, моделювання, управління і діагностування виробничих процесів і систем".

Список літератури: 1. Shin Y.C. Intelligent systems: modeling, optimization, and control / C.Y. Shin, C. Xu. – Boca Raton: CRC Press, 2009. – 456 p. 2. Zhang C. Association rule mining: models and algorithms / C. Zhang, S. Zhang. – Berlin: Springer-Verlag. – 2002. – 238 p. 3. Ding S.X. Model-based fault diagnosis techniques: design schemes, algorithms, and tools / S.X. Ding. – Berlin: Springer, 2008. – 473 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. Інтелектуальні інформаційні технології проектування автоматизованих систем діагностування і розпізнавання образів: монографія / [С.А. Субботин, Ан.А. Олейник, Е.А. Гофман, С.А. Зайцев, Ал.А. Олейник; под ред. С.А. Субботина]. – Харків: ООО "Компанія Сміт", 2012. – 317 с. 6. Гібридні нейрофаззи моделі і мультиагентні технології в складних системах: монографія / [В.А. Філатов, Е.В. Бодянский, В.Е. Кучеренко і др.; под общ. ред. Е.В. Бодянского). – Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – 403 с. 7. Айвазян С.А. Прикладна статистика: Исследование зависимости / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с. 8. 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. 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. Koh Y.S. Rare Association Rule Mining and Knowledge Discovery / Y.S. Koh, N. Rountree. – New York: Information Science Reference. – 2009. – 320 p. 11. Piao X. Research on Mining Positive and Negative Association Rules Based on Dual Confidence / X. Piao, Z. Wang, G. Liu // Internet Computing in Science and Engineering: The Fifth International Conference ICICSE, Harbin, China, 1–2 November 2010: Proceedings of the Conference. – Washington: IEEE Press, 2010. – P. 102-105. 12. Ke Y. An information-theoretic approach to quantitative association rule mining / Y. Ke, J. Cheng, N. Wilfred // Knowledge and Information Systems. – 2008. – Vol. 16. – № 2. – P. 213-244. 13. Wu C. Generalized association rule mining using an efficient data structure / C. Wu, Y. Huang // Expert Systems With Applications. – 2011. – Vol. 38. – № 6. – P. 7277-7290. 14. Nam H. Identification of temporal association rules from time-series microarray data sets / H. Nam, K. Y. Lee, D. Lee // BMC Bioinformatics. – 2009. – Vol. 10. – № 3. – P. 6-9. 15. Pach F.P. Compact fuzzy association rule-based classifier / F.P. Pach, A. Gyenesei, J. Abonyi // Expert Systems With Applications. – 2008. – Vol. 34. – № 4. – P. 2406-2416.

Поступила в редакцію 03.09.2012

Роботу представив декан математического факультета Запорозького національного університету, д-р техн. наук, проф. Гоменюк С.И..

УДК 004.93

Асоціативні правила в інтелектуальному аналізі даних / Зайко Т.А., Олійник А.О., Субботін С.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 82–96.

Розглянуто завдання побудови моделей на основі асоціативних правил. Проаналізовано процес пошуку асоціативних правил. Досліджено різні види асоціативних правил (негативні, чисельні, узагальнені, часові та нечіткі асоціативні правила) при використанні їх для розв'язання завдань інтелектуального аналізу даних. Бібліогр.: 15 назв.

Ключові слова: асоціативне правило, різні види асоціативних правил, інтелектуальний аналіз даних, нечіткі асоціативні правила.

UDC 004.93

Association rules in data mining / Zayko T.A., Oliinyk A.A., Subbotin S.A. // Herald of the National University "KhPI". Subject issue: Information science and Modeling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – С. 82–96.

The problem of synthesis of models based on association rules is considered. The process of mining association rules is analyzed. Various types of association rules (negative, quantitative, generalized, temporal and fuzzy association rules) for solving data mining problems are investigated. Refs.: 15 titles.

Keywords: association rule, various types of association rules, data mining, fuzzy association rules.

УДК 37.01:007

В.В. КАРАСЮК, канд. техн. наук, доц., НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", Харьков,

С.Н. ИВАНОВ, канд. техн. наук, доц., НУ "ЮАУ им. Я. Мудрого", Харьков

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ ГУМАНИТАРНЫМ ДИСЦИПЛИНАМ

В статье изложено исследование особенностей представления учебной информации в области правоведения. Определены компоненты интегрального пространства учебной информации современного ВУЗа. Приведены результаты экспериментальной эксплуатации учебного комплекса в системе Moodle на примере одной дисциплины. Сформулированы принципы совершенствования тестов и задачи создания структур представления знаний. Ил.: 2. Библиогр.: 12 назв..

Ключевые слова: учебная информация в области правоведения, дистанционное обучение, тест, представление знаний.

Постановка проблемы и ее актуальность. С развитием информационных технологий в образовательной сфере произошли принципиальные изменения. В Национальной доктрине развития образования в Украине [1] определена стратегия реформирования образования, направленная на обеспечение государственных гарантий равной доступности к качественному образованию. Согласно Болонским соглашениям, в дополнение к академическим программам, должны существовать неформальные программы обучения, которые регламентированы в международном стандарте ISO FDIS 29990-2010 (E) [2]. Реализацию базовых и неформальных услуг могут обеспечить лишь адекватные современные средства образовательной деятельности, организации мониторинга освоения учебных программ, использования систем контроля и управления образовательным процессом.

В Национальном университете "Юридическая академия Украины имени Ярослава Мудрого" поставлена задача создания интегрированного пространства знаний для целей обучения студентов. Особенностью данного информационного пространства является использование объемных массивов разноплановой правовой информации. Основными требованиями к виртуальному пространству следует выделить следующие: обеспечение каждому пользователю эффективного доступа к релевантной относительно задачи информации; представление учебной информации для целей базового образования и самообразования;

использование средств мониторинга учебной деятельности; наличие средств развития и обновления наполнения системы. Сформулированная проблема озвучена в планах развития университета, представляет научный и практический интерес и, с учетом увеличения значимости электронного образования, является весьма актуальной.

Анализ публикаций и исследований в области дистанционного образования. Следует отметить тенденции, характерные для высшего и, в частности, дистанционного образования [3 – 9].

1. Существующая коммуникационная среда существенно снижает эффективность многих педагогических приемов, которые наработаны в индустриальной фазе развития цивилизации.

2. Уменьшение роли преподавателя в учебном процессе, одновременно понижение уровня моральных принципов современного общества, причем в соответствии со снижением уровня непосредственного влияния преподавателей на учащихся.

3. Усложнение междисциплинарных связей, ускорение темпов обновления учебных материалов и увеличение их объема; востребованность и повышение цены практических знаний учащихся.

4. Объективное повышение уровня компьютеризации приводит к распространению самообразования. Специфика образовательного пространства способствует поляризации образовательной деятельности от абсолютно несамостоятельной до полного принятия учениками на себя функций управления учебной деятельностью.

Таким образом, совершенствование системы образования может идти путем усиления системы информационной поддержки обучения за счет создания единого пространства знаний с эффективной технологией его актуализации. Формирование информационной среды современной системы электронного обучения является когнитивно значимой задачей в контексте создания структуры предметной области.

Цель исследования. Повышение эффективности информационных технологий обеспечения образовательной деятельности путем построения интегрированной информационной среды образования, использования программных средств и методик совершенствования информационного наполнения пространства учебных ресурсов, повышения качества тестирования знаний и мониторинга траектории индивидуального направленного обучения.

Создание интегрального учебного пространства правовой информации. Информация, используемая для решения практических и научных задач в области правоведения, в том числе для обучения,

относится к правовой. Она имеет определенные особенности [10, 11]. Рассмотрим, каким образом реализуются подходы к обучению гуманитарным дисциплинам в Национальном университете "ЮАУ им. Я. Мудрого". Общая структура образовательного пространства представлена на рис. 1.

В ней предусматривается ряд компонентов: информационные ресурсы электронной библиотеки; ftp-сервер учебных ресурсов; учебные электронные информационные комплексы (УЭИК) в среде Moodle; знаниеориентированная учебно-консультационная правовая система JURONT (юридическая онтология); учебная подсистема АСУ университета с различными учебными ресурсами и другие источники. Однако эти ресурсы, хотя и имеют внутреннюю структуризацию, являются независимыми и не дают возможности выполнять навигацию во всем информационном пространстве. Поэтому поставлена задача создания средств: представления знаний, используемых для обучения; консолидации знаний из различных источников; разработки методики и средств использования создаваемой базы знаний.

В университете разработаны электронные учебные курсы по основным дисциплинам [12]. Актуальной оказалась проблема защиты авторских прав на электронные учебные материалы. В качестве средств защиты интеллектуальной собственности на содержание учебных курсов осуществлена регистрация авторских прав на их содержание.

Исследование эффективности учебного информационного комплекса. Практическое применение комплекса по дисциплине "Правовая информация и компьютерные технологии в юридической деятельности" показало, что в целом он выполняет поставленную задачу – в результате его использования студенты показали успеваемость по дисциплине на уровне 2,89 – 3,58 по пятибалльной шкале оценок. Это соответствует среднестатистическим показателям успеваемости соответствующих специальностей и курсов по университету. Если рассмотреть распределение оценок студентов по первым 4 темам дисциплины, то выразительное группирование оценок в области 3 баллов указывает на стабильность усвоения материала с использованием учебного комплекса. Более наглядным показателем качества тестов является индекс легкости вопросов в заданиях. На рис. 2 показано распределение индекса легкости по вопросам тестов первой и четвертой тем. Здесь видна неоднородность степени сложности вопросов, что указывает на необходимость совершенствования вопросов в случаях, когда значение индекса является высоким или выделяется среди индексов остальных вопросов.

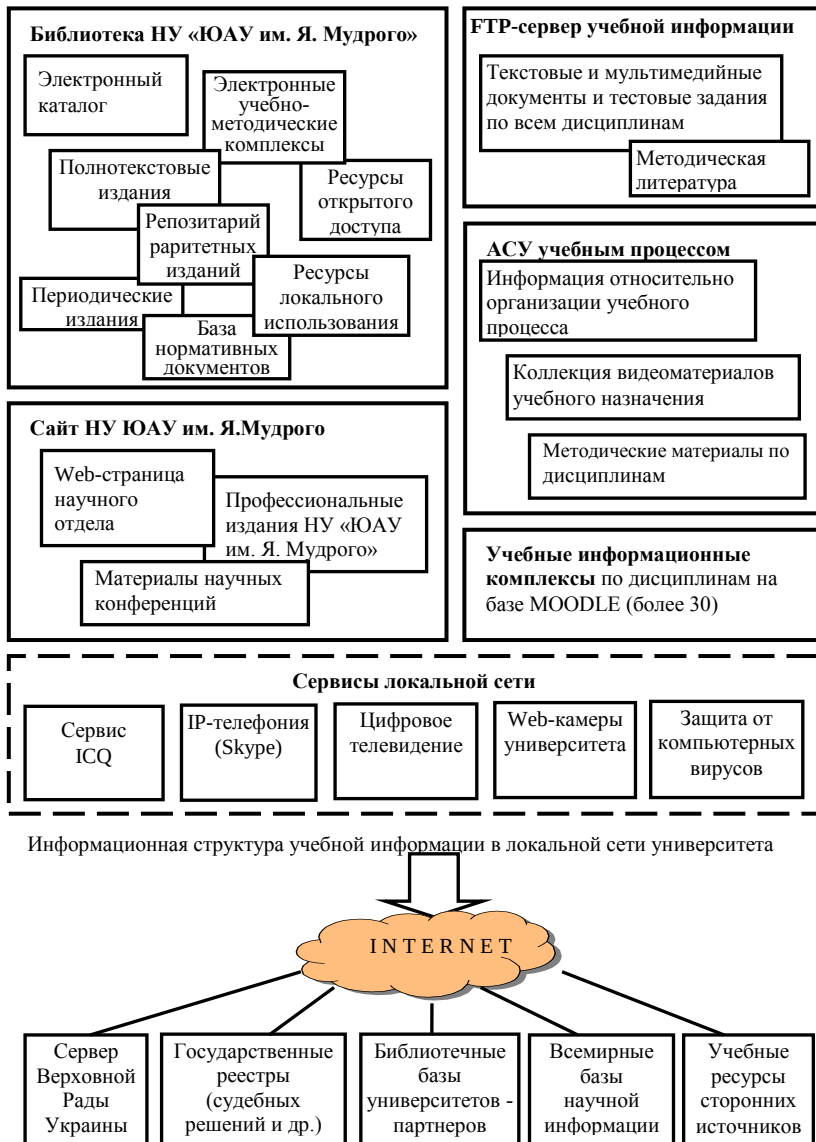


Рис. 1. Структура виртуальной учебной среды для пользователей в сети университета

Анализ этих показателей, а также индекса и коэффициента дифференцирования положен в основу используемой методики совершенствования тестов.

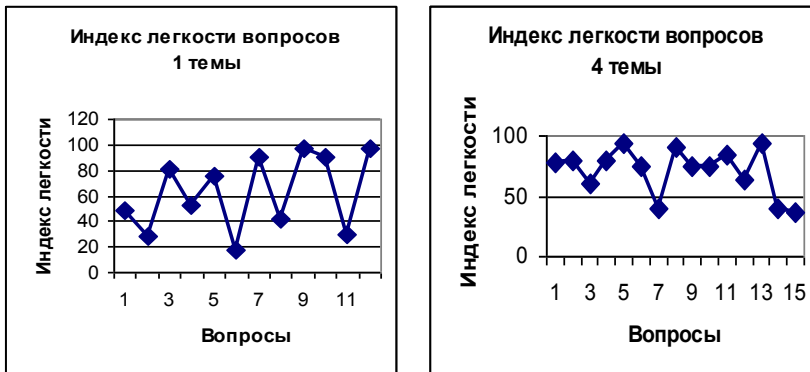


Рис. 2. Пример индексов легкости вопросов первой и четвертой тем

Выводы. Таким образом, можно сделать несколько выводов. Современные студенты для повышения эффективности обучения требуют расширения информационных услуг, в том числе, на рабочих местах, в общежитиях и дома. Реализованная модель виртуальной информационной среды обучения обеспечивает: удобный доступ к учебным ресурсам; современную среду коммуникаций; доступ к глобальной сети Internet; развитие творческих способностей студентов и навыков работы в информационном пространстве.

Перспективные исследования предполагается выполнить в направлении создания структур представления знаний в виде семантической сети и установления связей между понятиями в области правоведения. Также предполагается исследование влияния принципов самоорганизации на качество создаваемой множеством пользователей информационной базы предметной области.

Список литературы: 1. Про національну доктрину розвитку освіти / Указ Президента України від 17.04.2002 р. № 347 // Освіта України. – 2002. – № 33. – С. 4 – 6. 2. ISO FDIS 29990 – 2010 (E) "Learning services for non-formal education and training – Basic requirements for service providers". [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.enad.ru/usr/ISO-DIS%2029990.pdf>. 3. Головань В. Способ информационной поддержки аудиторных и дистанционных занятий / В.Г. Головань, А.М. Дроздов, В.В. Мамич // Системы обработки информации. Сборник научных трудов. – Харьков: Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. – 2010. – Вып. 7 (88). – С. 112 – 116. 4. Костикова М.В. Использование системы MOODLE при дистанционной организации самостоятельной

работы студентов / *М.В. Кости́кова, И.В. Скры́пина* // Системы обработки информации. Сборник научных трудов. – Харьков: Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба. – 2010. – Вып. 7 (88). – С. 117 – 120. **5. Карпенко, М.** Непрерывное образование на основе информационно-коммуникационных технологий / *М. Карпенко* // Высшее образование в России. – 2005. – № 6. – С. 8 – 18. **6. Батура М.П.** Новые образовательные технологии на основе высококачественной видеоконференцсвязи / *М.П. Батура, Б.В. Никульшин, В.Ю. Цветков* // Развитие информатизации и государственной системы научно-технической информации (РИНТИ 2010): доклады IX Межд. конф. (Минск, 18 ноября 2010 г.). – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2010. – С. 122 – 127. **7. Миськевич, В.** Проблемы преподавания дисциплин социогуманитарного модуля в условиях дистанционной формы образования / *В.И. Миськевич* // Дистанционное обучение – образовательная среда XXI века: Материалы VII Межд. научно-метод. конф.. – Минск: БГУИР, 2011. – С. 376 – 378. **8. Gurin N.** The technology of creating computer-based learning systems incorporating virtual teacher / *N.I. Gurin, O.V. German, Yu.O. German* // Works of Belarusian state technological university. – 2011. – № 6 (144). – Р. 146–150. **9. Федасюк Д.В.** Віртуальне навчальне середовище львівської політехніки / *Д.В. Федасюк, Л.Д. Озірковський* // Вісник Національного університету "Львівська політехніка", № 703, серія "Інформатизація вишого навчального закладу", 2011. – С. 26 – 31. **10. Tatsyi V.** Semantic network of knowledge in science of law / *V. Tatsyi, A. Getman., S. Ivanov, V. Karasiuk, O. Lugoviy, O. Sokolov* // Automation, Control, and Information Technology (ACIT 2010): Proceedings of the IASTED International Conference on Automation, Control, and Information Technology, June 15 – 18 2010, Russia / The International Association of Science and Technology for Development. – Anaheim, USA, Calgary, Canada, Zurich, Switzerland: ACTA Press 2010. – Р. 218 – 222. **11. Закон України "Про інформацію"** / Відомості Верховної Ради України, 1992. – № 48. – С. 650. **12. Інструктивні матеріали щодо підготовки навчальних електронних комплексів (для розробників НЕІК)** / *В.В. Комаров, С.М. Іванов, В.В. Карасюк, С.В. Гіляняський, О.С. Луговий*. – Харків, Нац. ун. "Юрид. акад. України ім. Я. Мудрого", 2011. – 16 с.

Поступила в редакцію 14.03.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Серков А.А.

УДК 37.01:007

Вдосконалення системи дистанційного навчання гуманітарних дисциплін / Карасюк В.В., Іванов С.М. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 97 – 103.

У статті представлено дослідження особливостей подання навчальної інформації в галузі правознавства. Визначені компоненти інтегрального простору навчальної інформації сучасного ВНЗ. Наведені результати експериментальної експлуатації учбового комплексу у системі Moodle на прикладі однієї дисципліни. Сформульовані принципи вдосконалення тестів і задачі створення структур представлення знань. Іл.: 2. Бібліогр.: 12 назв.

Ключові слова: навчальна інформація в області правознавства, дистанційне навчання, тест, представлення знань.

UDC 37.01:007

Improvement of distance learning in humanities subjects / Karasiuk V.V., Ivanov S.N. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – Р. 97 – 103.

The paper presents the material of research of features representation of educational information in the field of Law. The components of the integrated area of educational information of modern university are defined. The results of the experimental operation the training complex

in the Moodle system are shown in the example of a single discipline. The guidelines for improving tests are formulated. Tasks of representation a structure of knowledge are defined in this article also. Figs.: 2. Refs.: 12 titles.

Keywords: educational information in area of jurisprudence, controlled from distance educating, test, representations of knowledge.

УДК 621.396.969

Н.А. КОВАЛЕНКО, аспирант, УИПА, Харьков,
В.Д. САХАЦКИЙ, д-р техн. наук, проф., УИПА, Харьков

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСКАЖЕНИЯ ЗОНДИРУЮЩИХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ЛЮДЕЙ ЗА НЕПРОЗРАЧНОЙ ПРЕГРАДОЙ

На примере трехслойной модели человека в завале проведено исследование зависимости амплитуды и искажения отраженного сигнала для различных форм зондирующего импульса. Показано, что наибольшую амплитуду имеет отраженный зондирующий сигнал в виде гауссова моноцикла. Ил.: 7. Библиогр.: 18 назв.

Ключевые слова: трехслойная модель, искажение отраженного сигнала, зондирующий импульс, моноцикл.

Постановка проблемы. В последнее время в литературе описывается много приборов обнаружения и диагностики биологических объектов, основанных на использовании сверхширокополосных (СШП) сигналов. Подробный обзор работ, посвященных поиску людей в завалах и за непрозрачными преградами, а также работ по медицинской диагностике человека приведен в [1]. Несмотря на бурное развитие данной темы в научном мире, дальность действия приборов радиолокационного поиска людей не превышает десяти метров. В большинстве случаев используются подповерхностные радиолокаторы со специфическими системами обработки отраженного сигнала, направленной на обнаружение вибрации грудной клетки и сердечной мышцы человека за преградой. Для целей биорадиолокации рекомендуется использовать зондирующие сигналы с центральными частотами в диапазоне 1 – 10 ГГц [2].

В работе [3] были получены частотные зависимости коэффициента отражения для трехслойной структуры "кирпич-человек-грунт" от толщины слоя кирпича с учетом дисперсионных свойств человека, строительного материала, под которым находится человек, и грунта. Это дало возможность определить рабочий диапазон частот для систем поиска людей в завалах строительных конструкций, при котором амплитуда отраженного излучения будет максимальной.

Анализ литературных источников. В настоящее время для целей биорадиолокации человека используются различные виды СШП

© Н.А. Коваленко, В.Д. Сахаций, 2013

сигналов. В работе [4] предлагается использовать в качестве зондирующих сигналы $s_1(t)$, $s_2(t)$, представленные на рис. 1.а и рис. 1.б. В [5] предлагается использовать в качестве зондирующего сигнала радиоимпульс $s_3(t)$ (рис. 1.в) либо СШП сигнал $s_1(t)$, представленный на рис. 1.а. В [6] в качестве зондирующего сигнала предлагается использовать гауссов моноцикл $s_4(t)$ (рис. 1.г). Для переносных радиолокаторов с разрешением по дальности $\Delta R \leq 0,3 - 0,5$ м необходимо использовать зондирующие импульсы длительностью менее 2 – 3 нс и шириной спектра более 300 – 500 МГц [7]. Преимущества использования того или иного вида СШП сигнала для целей биорадиолокации остается малоизученным.

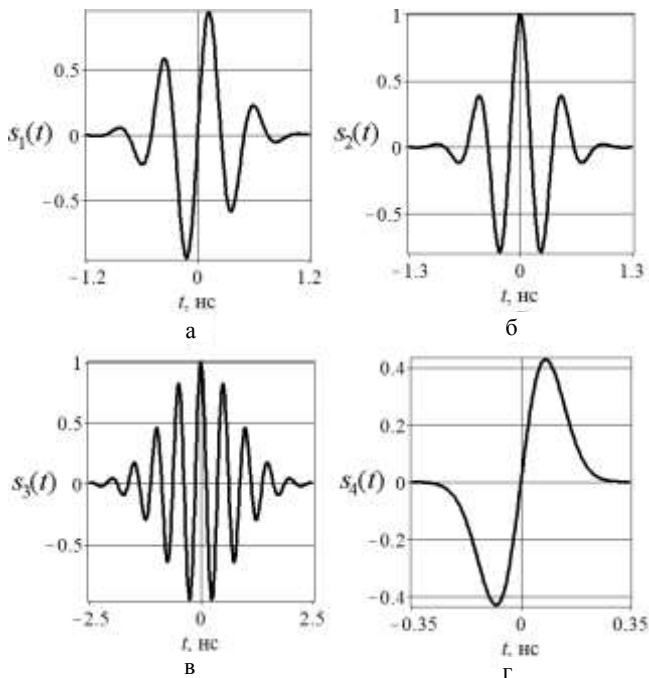


Рис. 1. Виды зондирующих сигналов, применяемых в системах биорадиолокации

Классическим методом решения задач распространения короткоимпульсных излучений в различных средах является метод одномерного преобразования Фурье (ОПФ). Основным недостатком данного метода является отсутствие в функции спектральной плотности

информации о положении соответствующих частотных составляющих на временной оси [7], что существенно для задач спектрального анализа. В задачах распространения короткоимпульсных излучений анализу подлежит обратное преобразование Фурье, которое описывает временную зависимость распространяющегося сигнала и характеризует его форму. Так, метод ОПФ широко используют при исследовании искажения формы СШП сигнала в процессе распространения в плазменных средах [8] и при исследовании формы излученного импульса апертурными антеннами [9, 10]. Численный расчет полученных интегральных преобразований может осуществляться, например, с использованием алгоритма дискретного быстрого преобразования Фурье (ДБПФ) с применением спектральных "окон" Хана, Хемминга и Барлетта [11]. В работе [12] отмечается, что, если спектр сигнала относительно гладок, то при вычислении данных интегральных преобразований "окна" можно вообще не применять.

Целью работы является определение вида и параметров зондирующего сигнала, который при отражении от человека, находящегося под слоем кирпича, имеет максимальную амплитуду и минимальные искажения.

Основная часть. В СВЧ диапазоне при решении задач дифракции моделью человека может служить эллипсоид, цилиндр либо плоская структура [13, 14]. Предполагаем, что моделью человека служит плоский слой толщиной b . Человек лежит непосредственно на полубесконечном грунте и над ним находится слой строительного материала толщиной a с электрофизическими параметрами красного кирпича (рис. 2). Считаем, что электрофизические параметры человека соответствуют электрофизическим параметрам его мышечной ткани. На рис 2 ε_0 – относительная диэлектрическая проницаемость свободного пространства равная 1; ε_1 , ε_2 , ε_3 – комплексные относительные диэлектрические проницаемости соответствующих слоев; k_0 – волновое число в свободном пространстве; k_1 , k_2 и k_3 – соответствующее каждому слою волновое число.

Частотная зависимость коэффициента отражения от человека для приведенной структуры описана в [3]. В работе показано, что при размещении приемной антенны в свободном пространстве из-за сильного отражения СШП излучения от поверхности завала среднее значение коэффициента отражения практически одинаково как при наличии в завале человека, так и при его отсутствии. Поэтому для фиксации отраженного излучения необходимо принимать специальные меры. В

случае размещения приемной антенны непосредственно на поверхности завала на частотах 1 – 6 ГГц различие между коэффициентом отражения при наличии человека и при его отсутствии становится существенным.

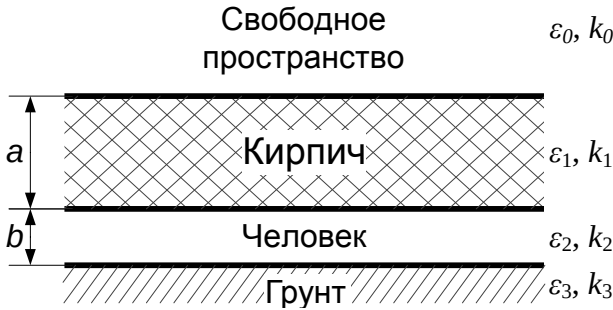


Рис. 2. Трехслойное полупространство в разрезе

Увеличение относительной влажности слоя кирпича приводит к сужению рабочего диапазона частот, при котором уровень отраженного сигнала остается высоким, до 1 – 2 ГГц. В работе [15] по результатам экспериментальных исследований рекомендуют использовать для целей биорадиолокации диапазон частот в пределах 1,6 – 2 ГГц. Исходя из вышесказанного, является целесообразным исследовать искажение формы зондирующего сигнала в данном диапазоне центральных частот для случая, когда приемная антенна (точка наблюдения) расположена непосредственно на поверхности кирпичного слоя.

Исследуемые сигналы, приведенные на рис. 1 а – 1 г, соответственно можно представить следующими математическими моделями [4 – 6]:

$$s_1(t) = A e^{-\frac{\pi t^2}{\tau^2}} \cos(2\pi f_0 t); \quad (1)$$

$$s_2(t) = A \cdot e^{-\Delta f^2 t^2} \cos \left(2\pi f_0 t - e^{\frac{1}{4} \frac{(2\pi f_0)^2}{\Delta f^2}} \right); \quad (2)$$

$$s_3(t) = A \cdot e^{-\Delta f^2 t^2} \sin(2\pi f_0 t); \quad (3)$$

$$s_4(t) = \frac{A \cdot t \cdot e^{-\frac{t^2}{\tau^2}}}{\tau}, \quad (4)$$

где f_0 – центральная частота спектра СШП-сигнала; $\Delta f = f_B - f_H$, а f_B и f_H – соответственно верхняя и нижняя частоты спектра; τ – время спада моноцикла.

Форма отраженного от человека СШП-сигнала при расположении точки приема на поверхности кирпичного слоя определялась при помощи методов прямого и обратного преобразования Фурье [7]. Для модели исходного зондирующего сигнала $s_i(t)$, где индекс i соответствует индексу сигнала в уравнениях (1) – (4), вычислялся спектр сигнала $C_i(f)$ при помощи прямого преобразования Фурье

$$C_i(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_i(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt. \quad (5)$$

Спектры сигналов $C_1(f)$ – $C_4(f)$, соответствующие сигналам $s_1(t)$ – $s_4(t)$, показаны на рис. 3.

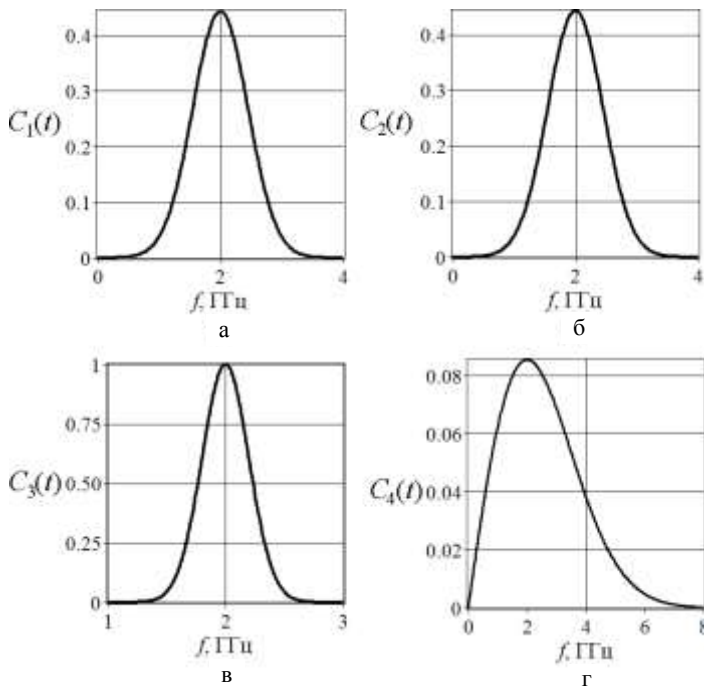


Рис. 3. Спектры зондирующих сигналов, представленных на рис. 1

Используя приведенный в [3] коэффициент отражения $R(f)$ зондирующего сигнала от рассматриваемой трехслойной структуры определяется спектр отраженного сигнала:

$$SC_i(f) = R(f) \cdot C_i(f), \quad i = \overline{1, 4}, \quad (6)$$

где $R(f) = \frac{t_1(r_2 + r_3 e^{j2k_2 b}) e^{j2k_1 a}}{D};$

$$D = 1 + r_2 r_3 e^{j2k_2 b} + r_1 (r_2 + r_3 e^{j2k_2 b}) e^{j2k_1 a};$$

$$t_i = \frac{2k_{i-1}}{k_{i-1} + k_i} - \text{коэффициент прохождения для } i\text{-го слоя};$$

$$r_i = \frac{k_0 - k_i}{k_0 + k_i} - \text{коэффициент отражения от } i\text{-го слоя};$$

$$\varepsilon_i - \text{относительная диэлектрическая проницаемость } i\text{-го слоя};$$

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} - \text{волновое число в свободном пространстве};$$

$$k_i = \frac{1}{15} \pi f \sqrt{\varepsilon_i} - \text{волновое число в } i\text{-м слое}.$$

Здесь частота f определяется в ГГц, а λ – в см.

Относительные диэлектрические проницаемости каждого слоя описываются следующими выражениями [3]:

$$\varepsilon_1 = 4,5 + j0,5;$$

$$\varepsilon_2 = (53,440 + 0,131 f^2 - 2,663 f) + j(1,382 + 0,079 f^2 + 0,119 f);$$

$$\varepsilon_3 = (0,004 f^2 - 0,095 f + 3,864) + j(0,006 f^2 - 0,087 f + 0,037).$$

ε_1 соответствует относительной влажности кирпича 4,3%.

Данные зависимости являются аппроксимацией экспериментально полученных значений в исследуемом диапазоне частот. Форма отраженного сигнала находилась посредством обратного преобразования Фурье:

$$S_i(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} SC_i(f) \cdot e^{j2\pi f t} df. \quad (7)$$

Численное моделирование формы отраженных сигналов проведено в компьютерной системе аналитических вычислений Maple [16]. Значение коэффициента A для сигналов $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$, $s_4(t)$ выбиралось равным 1 В/м. Все зондирующие импульсы имели центральную частоту f_0 , равную 2 ГГц. Коэффициент широкополосности η [17] для сигналов $s_1(t)$ и $s_2(t)$ равен 0,68, для радиоимпульса $s_3(t)$ – 0,3, а для сигнала $s_4(t)$ – 1,67.

При численных расчетах во внимание принималось, то обстоятельство, что форма записи коэффициента отражения в виде (6) соответствует временной зависимости гармонического поля, определяемой показателем $e^{-j\omega t}$, т.е. она справедлива для положительной области частот. В отрицательной области частот этот показатель соответствует $e^{+j\omega t}$. Для такой временной зависимости поля комплексную диэлектрическую проницаемость необходимо записывать в виде комплексно-сопряженного выражения [18]. Значения реальной и мнимой частей диэлектрической проницаемости для положительных и отрицательных частот соответствовали друг другу.

Правомерность использования комплексно-сопряженных выражений при вычислении интеграла вида (7) проверялась на задаче о прохождении короткоимпульсного излучения гауссовой формы в слой грунта. Решение данной задачи, проведенное иным методом, представлено в [13]. Подставляя в интеграл (7) вместо $C_i(f)$ приведенную в [13] передаточную функцию и те же самые параметры грунта и зондирующего сигнала $s_i(t)$, получено, что для произвольно выбранной глубины грунта, равной 1 м, результаты расчета формы прошедшего в грунт импульса с помощью выражения (7) и в работе [13] полностью совпадают.

Результаты расчетов для зондирующих импульсов $s_1(t)$, $s_2(t)$ и $s_3(t)$ приведены на рис. 4 – рис. 6 соответственно. Из рисунков видно, что отражение этих сигналов изменяет свою форму уже при толщине кирпичного слоя 100 см, а при толщине 200 см и более форма сигнала полностью искажается. Это объясняется тем, что спектр этих зондирующих импульсов расположен в высокочастотной области (рис. 3.а – рис. 3.в), в которой имеет место сильное поглощение спектральных составляющих и коэффициент отражения для них очень мал.

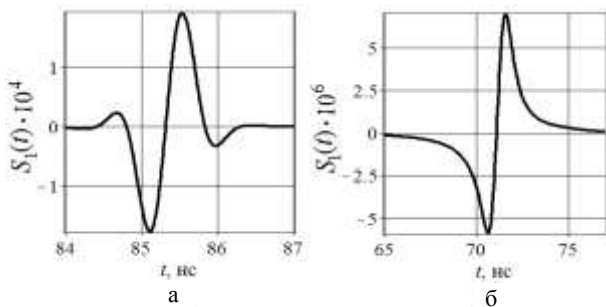


Рис. 4. Форма отраженного сигнала для зондирующего импульса $S_1(t)$:
 а – $a = 100$ см; б – $a = 200$ см

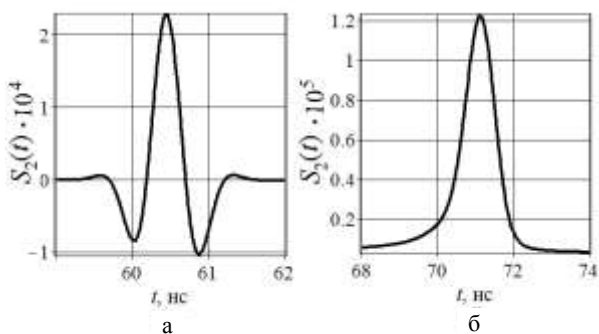


Рис. 5. Форма отраженного сигнала для зондирующего импульса $S_2(t)$:
 а – $a = 100$ см; б – $a = 200$ см.

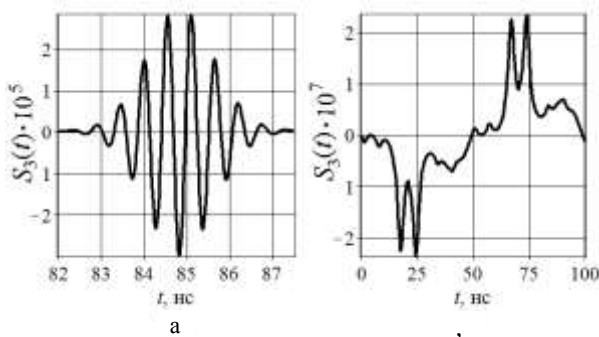


Рис. 6. Форма отраженного сигнала для зондирующего импульса $S_3(t)$:
 а – $a = 100$ см; б – $a = 200$ см

Спектр зондирующего импульса $s_4(t)$ занимает не только высокочастотную, но и низкочастотную области (рис. 3.г). Поэтому затухание импульса в процессе распространения происходит в меньшей степени.

Форма отраженного импульса $S_4(t)$ показана на рис. 7.

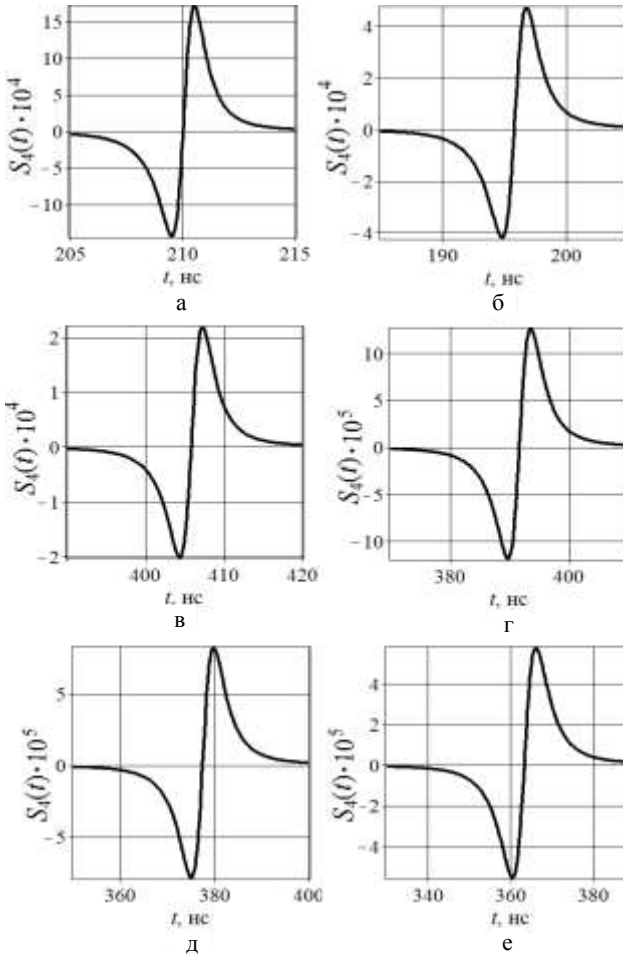


Рис. 7. Форма отраженного сигнала для зондирующего импульса $s_4(t)$:

а – $a = 100$ см; б – $a = 200$ см; в – $a = 300$ см;
г – $a = 400$ см; д – $a = 500$ см; е – $a = 600$ см.

Видно, что его длительность увеличивается, но двух лепестковый характер формы импульса сохраняется не только при толщине кирпичного слоя равного 100 см, но и в несколько раз превышающих эту толщину. При этом амплитуда отраженного импульса $S_4(t)$ намного больше амплитуды отраженных импульсов $S_1(t)$, $S_2(t)$ и $S_3(t)$.

Очевидно, что полученные результаты исследования в частном случае для человека можно распространить и на другие объекты, которые обладают высокими отражающими свойствами.

Выводы. Анализ полученных результатов показывает, что исследуемые зондирующие сигналы при отражении от человека (как хорошей проводящей среды) изменяют форму. Это приводит к увеличению длительности и некоторому смещению центральной частоты спектра отраженного сигнала в область низких частот. Расчеты показали, что с возрастанием влажности строительного материала эти эффекты усиливаются. Наибольшую амплитуду имеет отраженный зондирующий сигнал в виде гауссова моноцикла. Его форма искажается, но число лепестков, по которым можно идентифицировать этот вид сигнала, остается неизменным.

Перспективой дальнейших исследований является разработка математической модели для человека в виде цилиндра конечных размеров.

Список литературы: 1. Абрамов А.В. Биорадиолокация: монография / А.В. Абрамов; под ред. А.С. Бугаева, С.И. Ивашова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 396 с. 2. Обнаружение и дистанционная диагностика состояния людей за препятствиями с помощью РЛС: материал технической информации / А.С. Бугаев, И.А. Васильев, С.И. Ивашов и др // Радиотехника. – 2003. – № 7. – С. 42-47. 3. Коваленко Н.А. Дифракция сверхширокополосного излучения на многослойных структурах / Н.А. Коваленко, В.Д. Сахацкий // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2012. – Вип. 3 (32). – С. 178–184. 4. Бугаев А.С. Радиолокационные методы выделения сигналов дыхания и сердцебиения: материал технической информации / А.С. Бугаев, И.А. Васильев, С.И. Ивашов, В.В. Чапурский // Радиотехника и электроника. – 2006. – Т. 51. – № 10. – С. 1224–1239. 5. Черняк В.С. Оптимизация обнаружения неподвижных людей под завалами строительных конструкций с помощью СШП-радиолокатора / В.С. Черняк // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009 – № 1–2. – С. 58-72. 6. Варяница-Рошупкина Л.А. Дифракция видеоимпульсной электромагнитной волны на подповерхностных объектах / Л.А. Варяница-Рошупкина, Г.П. Почанин // Радиофизика и электроника. – 2006. – Том 11. – № 2. – С. 240–252. 7. Лазоренко О.В. Сверхширокополосные сигналы и физические процессы. 2. Методы анализа и применение / О.В. Лазоренко, М.Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия, 2008. – Т. 13. – № 14. – С. 270–332. 8. Будагян И.Ф. Поведение сверхширокополосных импульсов на границе раздела с неоднородными и дисперсными средами / И.Ф. Будагян, Г.Г. Щучкин // Радиотехника и электроника. – 2000. – Т. 52. – № 2. – С. 176–191. 9. Зернов Н.В. О решении нестационарных краевых задач электродинамики // ДАН СССР – 1951. – Т. 30. – № 1. – С. 33–35. 10. Зернов Н.В. Характеристики

направленности круглых апертурных антенн при излучении несинусоидальных сигналов / Н.В. Зернов, Я.И. Пустовой // Доповіді Нац. Академії наук України, 1995. – № 9. – С. 46–48. **11.** Лазоренко О.В. Дисперсионные искажения высокочастотных сверхширокополосных радиосигналов при распространении в ноосфере / О.В. Лазоренко, М.Ф. Черногор // Геомагнетизм и аэродинамика. – 1977. – Т. 37. – № 6. – С. 80–90. **12.** Марил.-мк. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его применения / С.Л. Марил.-мк. – М.: Мир, 1990. – 584 с. **13.** Кинг Р. Антенны в материальных средах: В 2-х книгах. Кн.1. Пер. с англ. / Р. Кинг, Г. Смит. – М.: 1984. – 824 с. **14.** Вовшин Б.М. Процедуры обнаружения подвижных объектов за преградами / Б.М. Вовшин, А.Ю. Гринев, Д.В. Фадин // Успехи современной радиоэлектроники. – 2009. – № 1–2. – С. 83–94. **15.** Вязьмитинов И.В. Результаты исследований ослабления энергии электромагнитных волн оптически непрозрачными преградами / И.В. Вязьмитинов [и др.] // Радиофизика и электроника. – 2007. – Том 12. – № 2. – С. 426–434. **16.** Дьяконов В.П. Maple 10/11/12/13/14 в математических расчетах. – М.: Изд-во ДМК-Пресс, 2011. – 800 с. **17.** Иммореев И.Я. Сверхширокополосные радары. Особенности и возможности / И.Я. Иммореев // Радиотехника и электроника. – 2009. – № 1. – Т. 54. – С. 5–31. **18.** Никольский В.В. Электродинамика и распространение радиоволн. – М.: Высш. школа, 1984 – 147 с.

Поступила в редакцию 20.03.2013

После доработки 27.06.2013

УДК 621.396.969

Математична модель спотворення зонduючих сигналів у системах контролю місцезнаходження людей за непрозорою перешкодою / Коваленко М.О., Сахаський В.Д. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 104 – 114.

На прикладі тришарової моделі людини в завалі проведено дослідження залежності амплітуди і спотворення відбитого сигналу для різних форм зонduючого імпульсу. Показано, що найбільшу амплітуду має відбитий зонduючий сигнал у вигляді гаусового моноциклу. Лл.: 7. Бібліогр.: 18 назв.

Ключові слова: тришарова модель, спотворення відбитого сигналу, зонduючий імпульс, моноцикл.

UDC 621.396.969

Mathematical model of distortion probing signals in the control systems of the people location over opaque barrier / Kovalenko N.A., Sahatsky V.D. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 104 – 114.

On the example of a three-layer model of human rubble study the amplitude of the reflected signal and distortion for various forms of the probe pulse. Shown that the largest amplitude is reflected probe signal in the form of Gaussian monocycle. Figs.: 7. Refs.: 18 titles.

Keywords: a three-layer model, the distortion of the reflected signal, probe pulse, monocycle.

УДК 004.94; 004.89

С.Ю. ЛЕОНОВ, канд. тех. наук, доц., НТУ "ХПИ"

К-ЗНАЧНАЯ НЕЙРОННАЯ СЕТЬ АРТ ДЛЯ АНАЛИЗА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

В статье рассматривается использование разработанной К-значной нейронной сети адаптивной резонансной теории для классификации К-значных сигналов на выходах логических элементов и устройств вычислительной техники. Это позволяет автоматизировать процессы определения ситуаций, которые могут приводить к сбоям в цифровых устройствах. Ил.: 5. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: К-значная нейронная сеть, сеть адаптивной резонансной теории, классификация К-значных сигналов, логические элементы и устройства, сбои в цифровых устройствах.

Постановка проблемы и анализ литературы. В настоящее время анализ работоспособности проектируемых устройств невозможен без применения различных систем моделирования. Это и широко известные системы булевого функционального моделирования OrCAD [1] и PCAD [2], системы аналогового моделирования типа MicroCAP [3]. Однако двоичные системы моделирования не позволяют получить полное представление о сложном характере переключения современных быстродействующих микросхем повышенной степени интеграции, а аналоговые системы не позволяют выполнить анализ сложных устройств. В связи с этим в [4] предлагается использовать систему автоматизированного проектирования на основе К-значного дифференциального исчисления, которая позволяет более полно, по сравнению с двоичным моделированием, представить процессы переключения булевых сигналов и моделировать достаточно сложные вычислительные устройства. Однако при практическом использовании этой системы моделирования очень желательно иметь информацию, какие из получаемых процессов переключения несут риски сбоев, а какие – представляют собой правильные переключения из одного устойчивого состояния в другое.

В связи с этим в статье [5] был приведен пример разработки программной реализации нейронной сети, которая использовалась для определения типов сигналов переключения в логических элементах на основе тринадцатизначного алфавита Фантози [6]. В качестве нейронной сети использовалась двухслойная нейронная сеть на основе К-значных нейронов, обучаемая на основе правила Хебба для К-значных нейронов.

Однако на практике данные, используемые для обучения или самообучения сети, часто неполные. Например, если будет подано изображение, относящееся к новому классу и его необходимо обнаружить, то обычная двухслойная нейронная сеть такую задачу выполнить не сможет [7, 8, 9]. Нейронная сеть Хебба не может выделять новые изображения, а также не обладает возможностью дообучения, поскольку обучение новому образу приводит к искажению уже запомненной информации. Поэтому при обучении должна использоваться вся запоминаемая информация. Таким образом, двухслойные или многослойные сети, использующие для своего обучения алгоритм Хебба или метод обратного распространения ошибки не обладают свойством стабильности, т.е. свойством сохранять известную информацию при запоминании новой.

Сети адаптивной резонансной теории (АРТ) были разработаны для разрешения этой проблемы, а именно: запоминание новых классов изображений нейронной сетью без искажения или потери уже хранимой информации [10]. В связи с этим предлагается использовать для распознавания правильных переключений и переключений, несущих в себе риски сбоев при переходе логических сигналов из одного устойчивого состояния в другое, нейронные сети АРТ.

При вводе изображения сигнала сеть АРТ-1 пытается сопоставить ему некоторый класс из числа уже имеющихся. В частности, это может быть один из видов переключения выхода логического элемента из одного устойчивого состояния в другое. Если такой класс переключения удастся найти, то классификация сигнала на этом заканчивается. При этом сигнал можно отнести то ли к одному из классов правильного переключения, то ли к одному из классов сигналов, "несущих" риски сбоев. Если же такой класс найти не удастся, то образуется (вводится) новый класс. При этом предъявленный сигнал используется затем в качестве прототипа (типичного представителя) для нового класса. При этом известные классы не изменяются.

Целью статьи является разработка на основе адаптивной резонансной теории K -значной нейронной сети для классификации сигналов, возникающих при моделировании цифровых вычислительных устройств в системе моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления.

Рассмотрим случай, когда K -значная нейронная сеть АРТ классифицирует тринадцать видов сигналов, представленных в K -значном виде при использовании семизначного алфавита. Данные получаются в системе моделирования на основе K -значного

дифференциального исчисления. На рис. 1 приведены 13 типичных сигналов, полученных в этой системе.

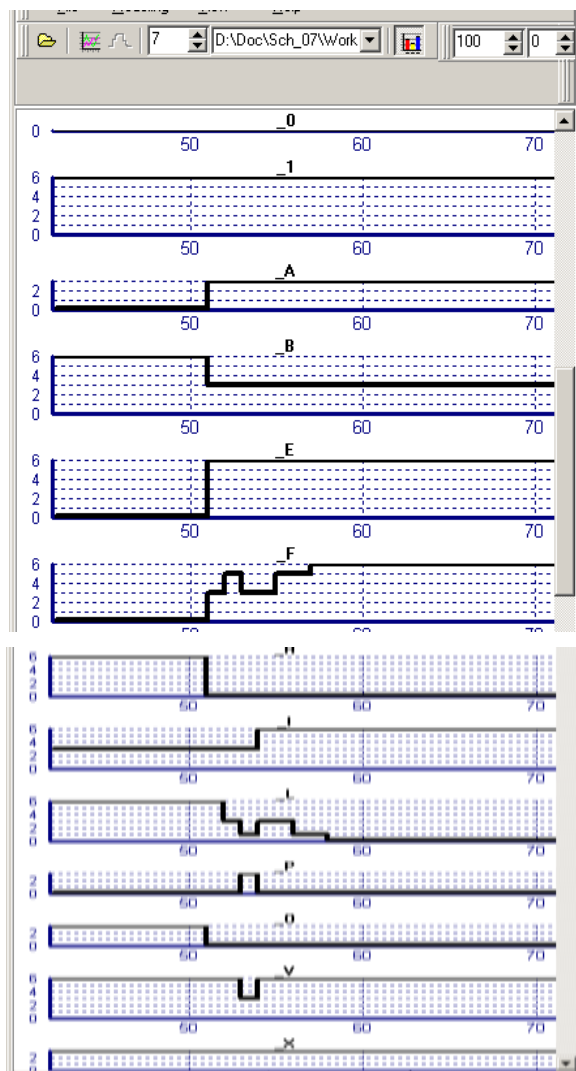


Рис. 1. Тринадцать видов сигналов в K -значном виде при использовании семизначного алфавита, полученные в системе моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления

В соответствии с приведенным рисунком при использовании семизначного алфавита используют следующие тринадцать видов сигналов [5]: первый сверху сигнал вида " $_0$ " – соответствует статическому бинарному сигналу нулевого уровня, следующий сигнал " $_1$ " представляет собой значение " $K - 1$ ", соответствующий значению уровня статической бинарной "единицы", далее сигнал " $_A$ " – соответствует переходу из нуля в неопределенность " $(K - 1)/2$ ", сигнал " $_B$ " – переходу из " $(K - 1)$ " в неопределенность " $(K - 1)/2$ ", " $_E$ " – переходу из нуля в " $(K - 1)$ ", " $_F$ " – динамическому риску сбоя при переключении из нуля в " $(K - 1)$ ", " $_H$ " – нормальному переходу из $(K - 1)$ в нуль, " $_I$ " – переходу из неопределенности " $(K - 1)/2$ " в $(K - 1)$, " $_L$ " – динамическому риску сбоя при переключении из $(K - 1)$ в нуль, " $_P$ " – статическому риску сбоя в нуле, " $_O$ " – переходу из неопределенности " $(K - 1)/2$ " в нуль, " $_V$ " – статическому риску сбоя в $(K - 1)$, сигнал " $_X$ " соответствует значению неопределенности " $(K - 1)/2$ " при бинарном представлении сигналов.

Эти сигналы должны храниться в памяти K -значной нейронной сети АРТ-1К, архитектура которой приведена на рис. 2.

Архитектура сети включает три группы нейронов: поле F_1 входных обрабатывающих нейронов, состоящее из двух слоев S - и Z - элементов, слой распознающих Y -нейронов и управляющие нейроны R , G_1 , G_2 (рис. 2).

Поле F_1 входных обрабатывающих нейронов состоит из двух слоев – входного слоя S -элементов и интерфейсного слоя Z -элементов. Входной слой воспринимает предъявляемые изображения и передает полученную информацию нейронам интерфейсного Z -слоя и управляющим нейронам R , G_1 , G_2 . Каждый элемент Z_i ($i = 1, \dots, n$) интерфейсного слоя связан с каждым элементом Y_j ($j = 1, \dots, m$) распознающего слоя Y двумя видами взвешенных связей. Сигналы из интерфейсного слоя в слой Y передаются идущими снизу вверх связями с весами W_{ij}^1 , а из распознающего слоя в интерфейсный – связями с весами W_{ji}^2 , ($j = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$). Из-за наличия большого числа связей на рис. 2 приведено обозначение только одной пары связей с весами W_{ij}^1 , W_{ji}^2 , между интерфейсным и распознающим слоями элементов.

Слой Y является слоем конкурирующих или соревнующихся нейронов. В любое время каждый элемент Y_j ($j = 1, \dots, m$) распознающего слоя находится в одном из трех состояний:

– активен (выходной сигнал $U_{\text{вых}Y_j}$ нейрона Y_j равен d : $U_{\text{вых}Y_j} = d$;
 $d = 6$ для АРТ-1К, при значности входного алфавита $K = 7$;

- неактивен ($U_{\text{вых}Y_j} = 0$, но нейрон может участвовать в соревновании);
- заторможен ($U_{\text{вых}Y_j} = -1$ и нейрон не допущен к соревнованиям при предъявлении текущего входного изображения).

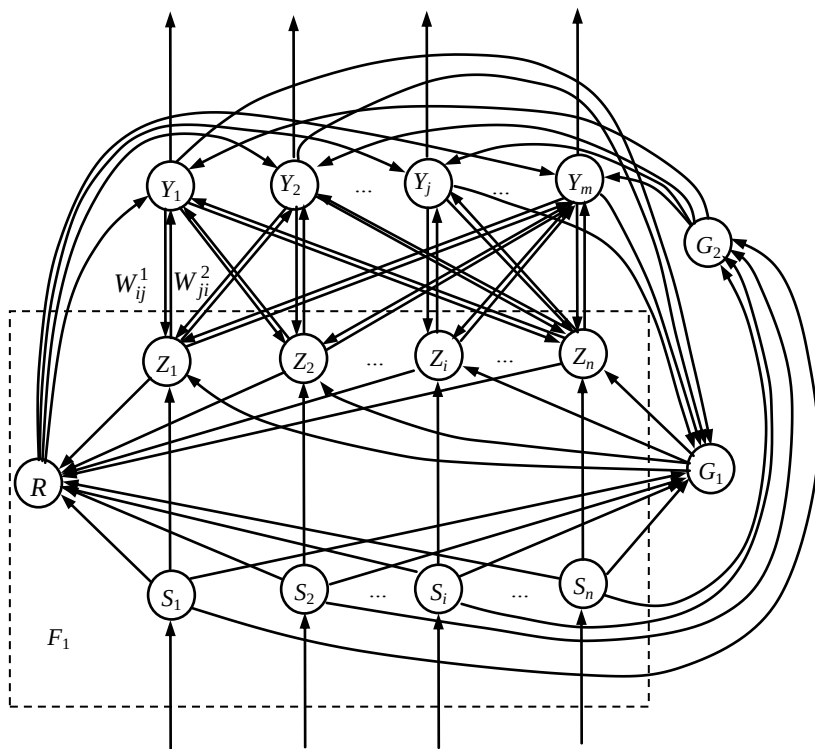


Рис. 2. Архитектура нейронной сети АРТ-1К

После предъявления входного изображения активным остается только один распознающий нейрон, все остальные Y -элементы имеют нулевые или отрицательные выходные сигналы. Выделенный распознающий нейрон в режиме обучения допускается к обучению входным изображением только в том случае, когда его весовой вектор связей из слоя Y в слой Z подобен входному вектору. Это решение

принимается с помощью R -нейрона и специального параметра, получившего название параметра сходства, и сигналов, поступающих из входного и интерфейсного слоев элементов. Через вспомогательные элементы производится или обучение выделенного распознающего Y -элемента, или его затормаживание (сброс) с дальнейшим исключением из числа соревнующихся при повторных предъявлениях этого же входного изображения, когда из Y -слоя выделяются новые кандидаты для обучения входным изображением.

Большинство связей, приведенных на рис. 2, являются возбуждающими: от входного слоя S -элементов к нейронам R , G_1 , G_2 и Z -слоя, от нейронов G_1 , G_2 соответственно к нейронам слоев Z и Y . Тормозящие сигналы передают только множества связей от интерфейсных элементов к R -нейрону и от Y -нейронов к элементу G_1 , от R -нейрона к нейрону победителю в распознающем слое. Все связи сети АРТ-1К передают K -значные сигналы из алфавита $M = \{0, 1, 2, \dots, K - 1\}$.

Каждый элемент в интерфейсном или Y -слое сети АРТ-1К имеет три источника входных сигналов. Произвольный интерфейсный элемент Z_i ($i = 1, \dots, n$) может получать сигналы от элемента S_i входного слоя, от элементов Y -слоя и от нейрона G_1 . Аналогично элемент Y_j ($j = 1, \dots, m$) может получить сигналы от интерфейсных элементов, нейронов R и G_2 . Для перевода нейронов интерфейсного или распознающего слоев в активное состояние необходимо наличие двух источников входных возбуждающих сигналов. Поскольку каждый из рассматриваемых нейронов имеет три возможных источника сигналов, то условие возбуждения этих нейронов получило название "правила два из трех".

В исходном состоянии нейроны R , G_1 , G_2 и входного слоя S имеют нулевые выходные сигналы. При подаче на входы S -элементов K -значных компонент предъявляемого изображения часть из них, получивших ненулевые входные сигналы, переходит в возбужденное состояние ($U_{\text{вых}} > 0$). Возбуждающие сигналы с выходов этих нейронов переводят в состояние "6" нейроны G_1 , G_2 , а также поступают на входы соответствующих нейронов интерфейсного слоя. Нейроны интерфейсного слоя, получившие сигналы от нейронов входного слоя и элемента G_1 , по правилу два из трех переходят в активное состояние и посылают свои возбуждающие сигналы по связям с весами W_{ij}^1 ($i = 1, \dots, n$, $j = 1, \dots, m$) на входы нейронов Y_j распознающего слоя. Нейроны распознающего слоя переходят в активное состояние по правилу два из трех, получая возбуждающие сигналы не только от элементов интерфейсного слоя, но и от элемента G_2 . Выходные сигналы активных Y -нейронов определяются соотношением

$$U_{\text{вых}Y_j} = U_{\text{вх}Y_j} = \sum_{i=1}^n W_{ij}^1 U_{\text{вых}Z_i}, \quad j = 1, \dots, m,$$

и удовлетворяют условию

$$0 < U_{\text{вых}Y_j} \leq 6.$$

Затем в Y -слое нейронов происходит латеральный процесс выделения единственного элемента J с наибольшим выходным сигналом. Все нейроны Y -слоя, кроме победившего Y_j , переводятся в неактивное состояние "0" ($U_{\text{вых}Y} = 0$), а победивший нейрон – в состояние с единичным ($K = 6$) выходным сигналом. Сигнал победившего Y -нейрона затормаживает управляющий нейрон G_1 , а также поступает по связям с весами W_{ji}^2 на входы нейронов интерфейсного слоя. Поскольку элементы интерфейсного слоя подчиняются правилу два из трех, то при отсутствии возбуждающего сигнала от нейрона G_1 в активном состоянии останутся только те интерфейсные элементы, которые получают сигналы и от элемента входного слоя, и от победившего Y_j -нейрона распознающего слоя. Тормозящие сигналы активных элементов интерфейсного слоя поступают на входы R -элемента, который получает и возбуждающие сигналы от нейронов входного слоя. В зависимости от соотношения величин возбуждающих и тормозящих сигналов определяется выходной сигнал управляющего элемента R . При нулевом выходном сигнале R -элемента в сети наступает резонанс и происходит обучение весов связей победившего Y -нейрона, а при единичном выходном сигнале – победивший Y -нейрон затормаживается ($U_{\text{вых}Y_j} = -1$) и фактически лишается возможности участвовать в соревнованиях при предъявлении текущего изображения. Затем в Y -слое производится выбор нового победившего нейрона. Если входное изображение недостаточно подобно ни одному из запомненных, то все распределенные Y -нейроны в конце концов оказываются заторможенными, а победителем становится нераспределенный Y -элемент, который и запоминает в своих весах новое изображение.

На основе метода быстрого обучения для нейросетей АРТ-1К может использоваться обучающий алгоритм, в котором приняты следующие обозначения:

m – максимальное число распознающих элементов в Y -слое или максимальное число распознаваемых образов;

n – число компонентов во входном векторе или изображении;

S^k – n -мерный K -значный входной вектор, $k = 1, \dots, q$;

q – число входных векторов;

$U_{\text{вых}Z} = (U_{\text{вых}Z_1}, \dots, U_{\text{вых}Z_n})$ – n -мерный K -значный вектор выходных сигналов интерфейсного слоя элементов;

$\|X\|$ – норма вектора X ;

p – параметр сходства между входным вектором и вектором, хранящемся в весах связей победившего нейрона Y -слоя; диапазон допустимых значений параметра: $0 < p < 1$;

W_{ij}^1 – вес связи от элемента Z_i ($i = 1, \dots, n$) к элементу Y_j ($j = 1, \dots, m$); диапазон допустимых начальных значений $0 < W_{ij}^1 \leq \frac{1}{6(L-1+n)}$;

рекомендуемое начальное значение: $W_{ij}^1 = \frac{1}{6(1+n)}$; все вычисления выполняются с учетом использования K -значных сигналов;

L – константа, превосходящая единицу; рекомендуемое значение: $L = 2$;

W_{ji}^2 – вес связи от элемента Y_j к элементу Z_i ; рекомендуемое начальное значение: $W_{ji}^2 = 6$, что соответствует K -значной "единице".

Обучающий алгоритм

Шаг 1. Первым шагом является инициализация параметров L , p и весов связей из интерфейсного слоя в выходной W_{ij}^1 и связей от выходного слоя к интерфейсному W_{ji}^2 ($i = 1, \dots, n$; $j = 1, \dots, m$).

Шаг 2. Анализируются условия останова, и пока они не выполняются, реализуются шаги 3 – 14 алгоритма.

Шаг 3. Для каждого обучающего входного вектора S^k ($k = 1, \dots, q$) выполняются шаги 4 – 13.

Шаг 4. Задаются нулевые сигналы всех распознающих элементов выходного Y -слоя:

$$U_{\text{вых}Y_j} = 0, \quad j = 1, \dots, m.$$

Входным вектором S^k устанавливается активация S -элементов входного слоя:

$$U_{\text{вых}S_i} = S_i^k, \quad i = 1, \dots, n.$$

Шаг 5. Вычисляется норма вектора выходных сигналов нейронов входного слоя:

$$\|U_{\text{вых}S}\| = \|S^k\| = \sum_{i=1}^n S_i^k.$$

Шаг 6. Для элементов интерфейсного слоя формируются входные и выходные сигналы:

$$U_{\text{вх}Z_i} = U_{\text{вых}S_i}, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$U_{\text{вых}Z_i} = U_{\text{вх}Z_i}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Шаг 7. Рассчитывается выходной сигнал для каждого незаторможенного Y -нейрона:

$$\text{если } U_{\text{вых}Y_j} \neq -1, \text{ то } U_{\text{вых}Y_j} = \sum_{i=1}^n W_{ij}^1 U_{\text{вых}Z_i}, \quad j = 1, \dots, m.$$

Шаг 8. Пока не найден Y -нейрон выходного слоя, весовой вектор которого в соответствии с заданным значением параметра сходства p соответствует входному вектору S^k , выполняются шаги 9 – 12.

Шаг 9. В Y -слое определяется нейрон Y_j , удовлетворяющий условию

$$U_{\text{вых}Y_j} \geq U_{\text{вых}Y_j}, \quad j = 1, \dots, m.$$

Если таких элементов несколько, то выбирается элемент с наименьшим индексом. Если $U_{\text{вых}Y_j} = -1$, то все элементы заторможены и входное изображение не может быть классифицировано или запомнено.

Шаг 10. Рассчитываются выходные сигналы Z -элементов интерфейсного слоя с использованием K -значной логической операции:

$$U_{\text{вых}Z_i} = U_{\text{вых}S_i} \langle \cap \rangle_K W_{ji}^2, \quad i = 1, \dots, n.$$

Шаг 11. Вычисляется норма вектора выходных сигналов интерфейсного слоя:

$$\|U_{\text{вых}Z}\| = \sum_{i=1}^n U_{\text{вых}Z_i}.$$

Шаг 12. Проверяется условие возможности обучения выделенного нейрона Y_j .

Если $\|U_{\text{вых}Z}\| / \|S^k\| < p$, то условие не выполняется и элемент Y_j затормаживается, т.е. $U_{\text{вых}Y_j} = -1$. После этого осуществляется переход к шагу 8 алгоритма.

Если $\|U_{\text{вых}Z}\|/\|S^k\| \geq p$, то условие возможности обучения нейрона Y_j выполняется и осуществляется переход к следующему шагу алгоритма.

Шаг 13. Адаптируются веса связей элемента Y_j с учетом использования K -значных сигналов:

$$W_{ij}^1 = \frac{LU_{\text{вых}Z_i}}{6(L - 1 + \|U_{\text{вых}Z}\|)}, \quad i = 1, \dots, n,$$

$$W_{ji}^2 = U_{\text{вых}Z_i}, \quad i = 1, \dots, n.$$

Шаг 14. Проверяются условия останова.

Условиями останова могут быть: отсутствие изменений весов W_{ij}^1, W_{ij}^2 сети в течение эпохи, достижение заданного числа эпох и т.д.

Шаг 15. Останов.

Работу приведенного алгоритма можно показать на следующем примере.

Рассмотрим работу K -значной нейронной сети АРТ-1К для диагностики сигналов многоразрядного сумматора. Схема одного разряда такого сумматора имеет следующий вид (рис. 3).

На вход такого сумматора поступают K -значные сигналы слагаемых $A[1, t]$ и $B[1, t]$ и сигнал переноса из предыдущего разряда $P[1, t]$. Кроме того, на входе имеются управляющие сигналы сброса выходных триггеров в ноль NS и сигнал их установки в единицу NR . Выходами такого устройства является K -значный сигнал результата суммы для первого разряда $SU[1, t]$ и сигнал переноса в следующий разряд $PE[1, t]$. Все входные и внутренние сигналы поступают на входы блоков автоматизированной диагностики, выполненных на разработанных нейронных сетях АРТ-1К.

Эти сигналы могут иметь форму процессов переключения, приведенных на рис. 1, где показано 13 видов сигналов из алфавита Фантози, каждый из которых может быть на каждом входе многоразрядного сумматора в качестве информационного и они соответствуют K -значным сигналам системы моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления. Эти K -значные сигналы ($K = 7$), рассматриваются в рамках окна длительностью 17 тактов (рис. 4). На входе K -значной нейронной сети АРТ-1К они преобразуются в вектор, размерностью $17 \times 7 = 119$ элементов.

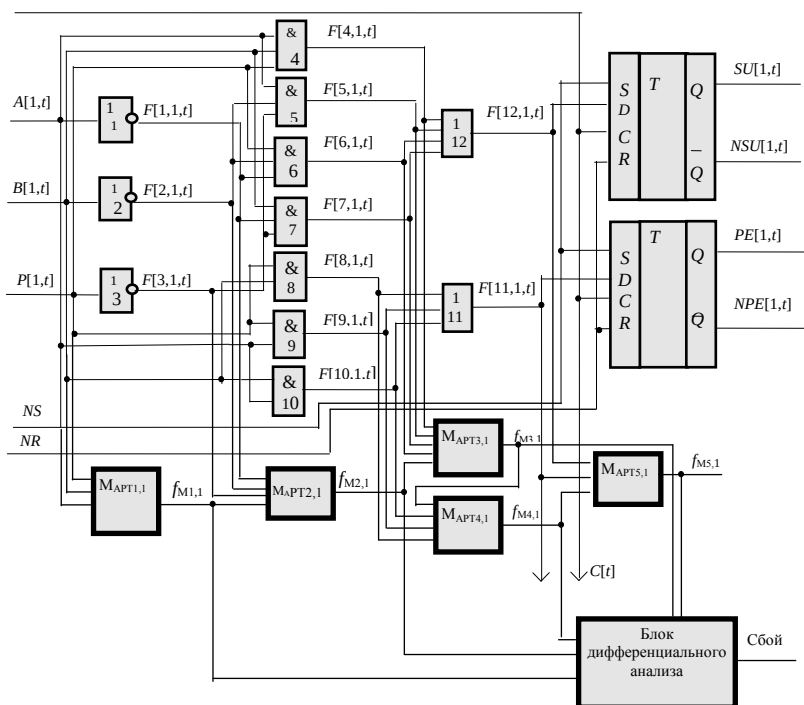


Рис. 3. Схема одного разряда многоаргументного сумматора

На рис. 4 показан вид K -значных сигналов на входе блока автоматизированного распознавания сигналов.

В реальных устройствах вид переключения может быть близок к приведенному, но не полностью совпадать с таким изменением. В связи с этим обучение нейронной сети АРТ-1К выполнялось на сигналах, где каждый из них находился в поле, имеющем три диапазона в соответствии с семизначным алфавитом: $[0 - 1]$, $[2 - 4]$, $[5, 6]$, как это показано на рис. 5.

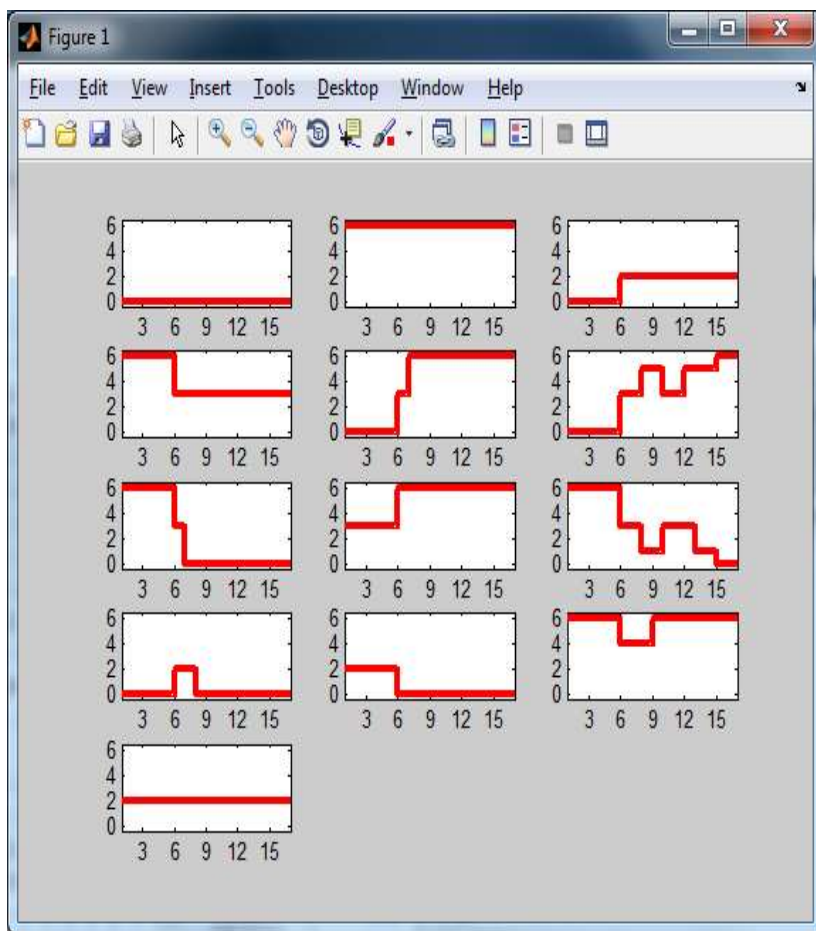


Рис. 4. К-значные сигналы на входе нейронной сети АРТ-1К

После обучения нейронной сети проводилось ее тестирование на сигналах из алфавита Фантози, каждый из которых входит в приведенный диапазон девиации.

В результате экспериментов установлено, что разработанная нейронная сеть правильно классифицирует 95 % предъявленных сигналов.

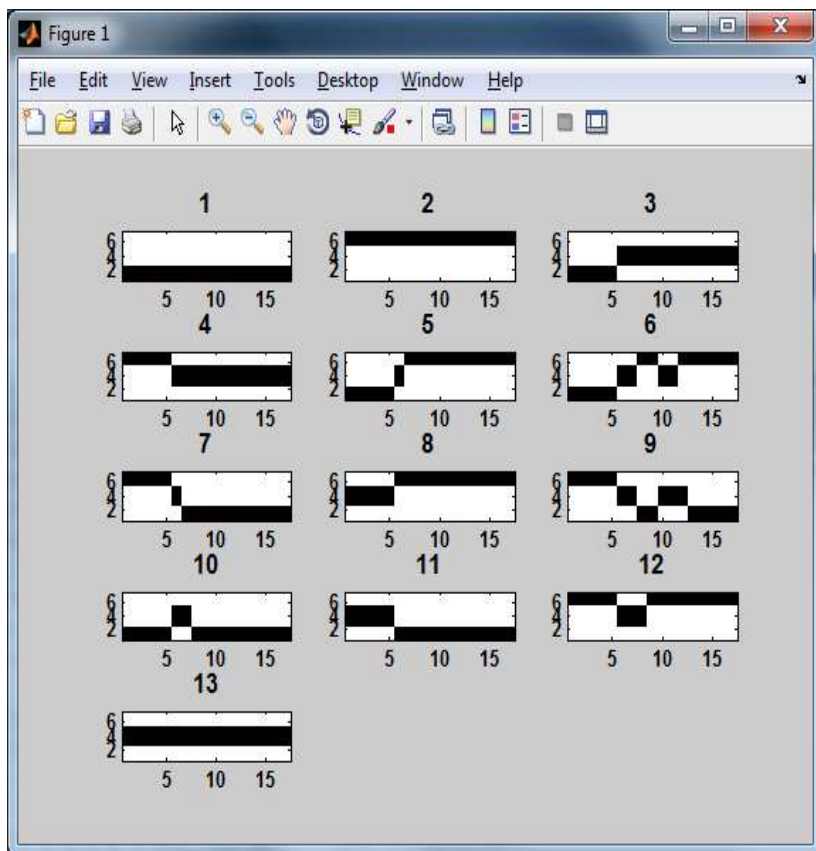


Рис. 5. Поля K -значных сигналов на входе нейронной сети АРТ-1К в режиме обучения

Выводы. Таким образом, на основе адаптивной резонансной теории и дискретной нейронной сети АРТ-1 разработана K -значная нейронная сеть для классификации сигналов, возникающих при моделировании цифровых вычислительных устройств в системе моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления.

Разработана методика применения нейронной сети АРТ-1К для анализа работоспособности вычислительных устройств.

Проведено тестирование разработанной нейронной сети, показавшее ее работоспособность и возможность применения в системе моделирования на основе K -значного дифференциального исчисления.

Список литературы: 1. *Разевиг В.Д.* Система проектирования цифровых устройств OrCAD / В.Д. Разевиг. – М.: Солон, 2000. – 160 с. 2. *Разевиг В.Д.* Применение программ P-CAD и PSpice для схемотехнического моделирования на ПЭВМ: В 4 вып. / В.Д. Разевиг. – М.: Радио и связь, 1992. 3. *Разевиг В.Д.* Система схемотехнического моделирования MICRO-CAP 5 / В.Д. Разевиг. – М.: СОЛОН, 1997 – 152 с. 4. *Гладких Т.В.* Система К-значного моделирования для исследования переключательных процессов в цифровых устройствах / Т.В. Гладких, С.Ю. Леонов // Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2005. – Вып. 56. – С. 175–187. 5. *Дмитриенко В.Д.* Использование нейронной сети на основе К-значных нейронов для распознавания рисков сбоев / В.Д. Дмитриенко, С.Ю. Леонов, Т.В. Гладких. – Вестник НТУ "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ", 2011. – Вып. 36. – С. 52–60. 6. *Aktouf C.* A complete strategy for testing an on-chip multiprocessor architecture / C. Aktouf // IEEE Design & Test of Computers. – 2002. – Issue: 1. – P. 18–28. 7. *Рутковский Л.* Методы и технологии искусственного интеллекта / Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 520 с. 8. *Круг П.Г.* Нейронные сети и нейрокомпьютеры / П.Г. Круг. – М.: Издательство МЭИ, 2002. – 176 с. 9. *Grossberg S.* Competitive learning: From interactive activation to adaptive resonance / S. Grossberg // Cognitive Science. – 1987. – № 11. – P. 13–25. 10. *Носков В.И.* Моделирование и оптимизация систем управления и контроля локомотивов / В.И. Носков, В.Д. Дмитриенко, Н.И. Запоровский, С.Ю. Леонов. – Харьков: ХФИ "Транспорт Украины", 2003. – 248 с.

Поступила в редакцию 13.05.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"
Дмитриенко В.Д.

УДК 004.94; 004.89

К-значна нейронна мережа АРТ для аналізу працездатності обчислювальних пристроїв / Леонов С.Ю. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 115 – 128.

У статті розглядається застосування розробленої К-значної нейронної мережі адаптивної резонансної теорії для класифікації К-значних сигналів на виходах логічних елементів і пристроїв обчислювальної техніки. Це дозволяє автоматизувати процеси вилучення ситуацій, які можуть приводити до сбоїв в цифрових пристроях. Лл.: 5. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: К-значна нейронна мережа, мережа адаптивної резонансної теорії, класифікація К-значних сигналів, логічні елементи та пристрої, збої в цифрових пристроях.

UDC 004.94; 004.89

K-Valued neural network adaptive resonance theory for analyze the health state of the art of computing devices / Leonov S.Yu. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 115 – 128.

This article discusses how to use the K-Valued neural network Adaptive resonance theory for classification K-Valued output signal of logic elements and devices of computer engineering. This allows to automate the processes of identifying situations that may cause crashes in digital devices. Figs.: 5. Refs.: 10 titles.

Keywords: K-digit network neural network, adaptive resonance theory, the classification of K-valued logic gates, signals and devices, failures in digital devices.

УДК 651.326

В.В. ЛИМАРЕНКО, ст. преп., НТУ "ХПИ",
И.П. ХАВИНА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ СППР ПРОЦЕССОВ МЕХАНООБРАБОТКИ

В работе рассмотрены вопросы выбора входных параметров системы поддержки принятия решений (СППР) технологического процесса механообработки деталей для авиадвигателестроения. Перечислены основные параметры, имеющие практическое влияние на процесс механообработки, и показаны связи между ними. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: входные параметры, система поддержки принятия решений, технологический процесс, механообработка.

Постановка проблемы и анализ литературы. Общеизвестным атрибутом высокоразвитого государства в наше время является способность создания и производства изделий авиационной техники. К особенностям авиационного двигателестроения необходимо отнести: высокую точность деталей и изделий в целом; сложность конфигурации деталей; широкое применение труднообрабатываемых и дорогих материалов; большое разнообразие используемых процессов механообработки; жесткий контроль качества; сравнительно частую смену объектов производства; мелкосерийность производства и использование сверхсовременного дорогостоящего оборудования [1]. При этом на одних и тех же инструментальных комплексах могут производиться несколько наименований различных деталей. С учетом этих особенностей на первое место выдвигается проблема повышения производительности технологических процессов (ТП).

Повышение производительности ТП механообработки выражается в уменьшения затрат времени и средств на изготовление одной единицы изделия, при условии гарантированного сохранения необходимого качества и заданных свойств изделия, и выдвигает на первый план задачу повышения качества планирования ТП механообработки [2, 3].

Задачи синтеза ТП решаются в два этапа: первый направлен на создание структуры ТП – структурный синтез, второй – на поиск параметров структуры, при которых объект будет функционировать с учетом всех ограничивающих факторов – параметрический синтез [4]. Задача параметрического синтеза ТП механообработки является более сложной задачей, что объясняется тем, что ТП механообработки

характеризуются низкой формализацией при многовариантности решений, многомерностью, наличием эмпирической информации и скрытых объективных законов. Для ТП механообработки характерно наличие большого количества входных параметров и сложных взаимосвязей между ними [4 – 7]. В связи с этим задача параметрического синтеза превращается в многокритериальную оптимизационную задачу (МОЗ). При решении МОЗ необходимо учитывать, что оптимальное решение по одному критерию, как правило, оказывается не лучшим по значениям других критериев. Поэтому, вместо оптимального для всех параметров, в математическом смысле, решения, приходится ограничиваться либо Парето-оптимальным решением, либо решением, полученным по методу ведущего (главного) решения, т.к. такие методы как: метод последовательных уступок, метод линейной свертки, метод максимальной свертки, метод минимакса и т.п. являются либо слишком приближенными, либо идеализированными, либо имеют большое количество приближений и допущений [8].

Для реализации системного подхода к автоматизированному синтезу оптимальной структуры, расчета и реализации оптимального технологического процесса необходимо создание специальной управляющей системы – системы поддержки принятия решений (СППР).

СППР позволит в значительной мере сократить время, необходимое на принятие обоснованных инженерных решений в условиях неопределенности, вызванной необходимостью учитывать большое количество переменных факторов и параметров в ходе решения МОЗ для параметрического синтеза.

Одним из механизмов, позволяющих осуществить процесс синтеза с учетом влияния существующих факторов и параметров, а также накопленных эмпирических данных является использование элементов искусственного интеллекта.

В работе [4] приведены результаты теоретических исследований с использованием системного подхода процессов механической обработки с целью построения их математических моделей и разработки методов структурной и параметрической оптимизации технологических процессов. Описаны методы выбора вида заготовки, маршрута обработки, структуры технологической операции, рациональной системы станочных приспособлений и др. Особенности параметрической оптимизации ТП рассмотрены на примерах многокритериальной и многопараметрической оптимизации режимов механической обработки. В работе [1] описаны технологии на основе нейронных сетей для задачи проектирования дисков компрессора газотурбинного авиационного двигателя. В работе [6] подробно рассмотрены физические процессы,

происходящие в зоне резания: стружкообразование, контактные явления, теплообмен, изнашивание инструментов, обрабатываемость материалов, формирование обработанной поверхности и др. Особое внимание уделено современным процессам обработки – резанию на станках с ЧПУ, сверхскоростному резанию, резанию с подогревом.

Цель статьи – определение набора входных параметров СППР механообработки с учетом их практического влияния на процесс.

Определение входных параметров СППР. Эффективность параметрической оптимизации процесса резания определяется полнотой используемых входных параметров: v – скорости резания, s – подачи, t – глубины резания, P_z – силы резания, T – стойкости инструмента, а также температуры в зоне резания, охлаждения, геометрии инструмента, мощности станка, свойств материала заготовки, заданной точности обработки и т.д. Управляющими параметрами являются v , s и t . Между тем, v – ограничивается мощностью станка и стойкостью инструмента, t – припуском на обработку, а s – эффективной мощностью и крутящим моментом станка, прочностью слабого звена механизма подачи станка, жёсткостью обрабатываемой детали, прочностью и стойкостью инструмента, шероховатостью обработанной поверхности [3, 7, 8]. При этом стойкость инструмента, в свою очередь, зависит так же от целого ряда факторов. Однако необходимо отметить, что влияние тех или иных параметров либо факторов величина не постоянная и может меняться от минимальной до критической в каждом отдельном случае и в зависимости от вида обработки [7].

Как показано в [3, 4] в качестве критерия для параметрической оптимизации процесса точения наиболее выгодно использовать максимальную производительность оборудования Π

$$\Pi = \frac{1000Tv_s}{\pi DL}, \quad (1)$$

где D – наибольший диаметр поверхности резания; L – длина детали.

Так же в [4] доказано, что максимальная производительность соответствует критерию минимальное штучное время резания $t_{шт.р}$

$$t_{шт.р} = t_p(\lambda + t_{см} / T), \quad (2)$$

где t_p – время резания; λ – коэффициент резания; $t_{см}$ – время на смену и переналадку инструмента.

Выразим критерий (2) для операции точения через основные параметры v , s и t с учетом зависимости скорости от стойкости и частоты вращения заготовки

$$t_{\text{шт.р}} = \frac{\pi D L h}{1000 v s t} \left(\lambda + \frac{t_{\text{см}} v^{1/m} t^{x/m} s^{y/m}}{C_v^{1/m}} \right), \quad (3)$$

где h – толщина слоя, удаляемого на операции; x , y – показатели степени переменных в формуле скорости резания; m – показатель относительной стойкости; C_v – постоянный коэффициент, характеризующий нормативные условия обработки.

При этом необходимо так же учитывать, что на такие параметры, как v , s и t действуют дополнительные ограничения. Так v для различных режимов обработки определяется по формуле

$$v = \frac{C_v D^{z_v} k_v}{T^m t^x s^y z^u B_\phi^r}, \quad (4)$$

где z_v , u , r – показатели степени при переменных в формуле скорости резания; k_v – поправочный коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала, состояние поверхности заготовки, характеристику режущего инструмента; z – число зубьев режущего инструмента; B_ϕ – ширина фрезерования.

Еще одним параметром, играющим значительную роль, особенно на этапе чистовой (финальной) обработки, является требуемая шероховатость поверхности – R . Этот параметр устанавливает взаимосвязь между v , s и допустимой высотой или формой шероховатости поверхности. Данная зависимость представляется в виде следующего выражения

$$R = k_1 n^{k_2} s^{k_3} t^{k_4} \phi_1^{k_5} \phi^{k_6} r^{k_7}, \quad (5)$$

где $k_1, \dots, k_7$ – экспериментально устанавливаемые коэффициенты; n – частота вращения заготовки; ϕ , ϕ_1 , r – параметры геометрии режущей части инструмента.

Необходимо так же отметить, что правильность и адекватность математической модели процесса механообработки зависит, в первую очередь, от выбора технических ограничений, которые в наибольшей степени определяют описываемый процесс [8]. Приведенные выше параметры и зависимости являются общими для всех процессов

механообработки и обязательно должны учитываться в качестве входных параметров СППР.

Выводы. В результате анализа работ [3 – 8] и зависимостей (1) – (5) были определены входные параметры СППР процесса механообработки.

Список литературы: 1. Богуслаев А.В. 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. 2. Erdélyi F. Advanced simulation of NC turning operations / F. Erdélyi, O. Hornyák // Production Systems and Information Engineering, Miskolc, – 2003. – V. 1. – P. 41-53. 3. Вереzub Н.В. Системный анализ, структурная и параметрическая оптимизация технологических процессов / Н.В. Вереzub, Е.В. Островерх, А.А. Симонова. – Х.: НТУ "ХПИ", 2012. – 170 с. 4. Рыжов Э.В. Оптимизация технологических процессов механической обработки / Э.В. Рыжов, В.И. Аверченков. – К.: Наукова думка, 1989. – 344 с. 5. Вейц В.Л. Динамика и моделирование процессов резания при механической обработке / В.Л. Вейц, В.В. Максаров, П.А. Лончих. – Иркутск: РИО ИГИУВа. – 2000. – 189 с. 6. Яцерицын П.И. Теория резания / П.И. Яцерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2008. – 512 с. 7. Аверченков В.И. Автоматизация выбора режущего инструмента для станков с ЧПУ: монография / В.И. Аверченков, А.В. Аверченков, М.В. Терехов, Е.Ю. Кукло. – Брянск: БГТУ, 2010. – 148 с. 8. Феофанов А.Н. О методах многокритериальной оптимизации в связи с их применением к задаче построения гибких автоматических линий (ГАЛ) / А.Н. Феофанов, И.В. Иевлев // Стружка. – М.: Роспечать. – 2006. – № 3 (14). – С. 20-23.

Поступила в редакцию 15.03.2013

После доработки 28.04.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Вериzub Н.В.

УДК 651.326

Визначення входних параметрів для СППР процесів механообробки / Лимаренко В.В., Хавіна І.П. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 129 – 133.

В роботі розглянуті питання вибору входних параметрів системи підтримки прийняття рішень (СППР) технологічного процесу механообробки деталей для авіадвигунобудування. Перераховані основні параметри, що мають практичний вплив на процес механообробки і показані зв'язки між ними. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: входні параметри, система підтримки прийняття рішень, технологічний процес, механообробка.

UDC 651.326

Determination of input parameters for machining process DSS / Limarenko V.V., Havina I.P. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 129 – 133.

The paper deals with the choice of input parameters of a decision support system (DSS) technological process machined parts for aircraft engine. Are the key parameters that have practical effects on the process of machining, and shows the links between them. Refs.: 8 titles.

Keywords: input parameters, decision support system, technological process, machining.

УДК 004.93.1:656.073.5

Б.І. МОРОЗ, д-р техн. наук, проф., зав. каф., Академія митної служби України, Дніпропетровськ,
С.М. КОНОВАЛЕНКО, аспірант, зав. лаб., Академія митної служби України, Дніпропетровськ

ОПТИМІЗІЦІЯ ПАРАМЕТРІВ НАВЧАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ МИТНОГО КОНТРОЛЮ

Розглянуто аспекти підвищення якості навчання нейронних мереж типу багатошаровий персептрон за рахунок аналізу та корегування таких параметрів, як крок навчання градієнтного методу, об'єм вхідного вектору, пераметр регуляризації. Графічно показано можливі залежності цільової функції від цих параметрів та приведено заходи, щодо зменшення негативного впливу певної ситуації. Лл.: 3. Бібліогр.: 9 назв.

Ключові слова: нейронна мережа, цільова функція, градієнтний метод.

Постановка проблеми. Розробка методів та засобів переробки інформації для потреб митної служби України є задача важлива та актуальна [1 – 3]. Оскільки досить часто трапляються випадки подання суб'єктами зовнішньоекономічної діяльності недостовірних відомостей про характеристики товарів з метою заниження (завищення) митної вартості, перевезення контрабанди, то існує потреба застосування методів і засобів бізнес-аналітики. До таких моделей обробки інформації висуваються такі вимоги, як здатність до навчання, якісного розпізнавання чи класифікації. Враховуючі можливості інформаційних технологій система аналізу та управління ризиками потребує імплементації потужних методів інтелектуальної обробки інформації.

Аналіз літератури. Публікації в галузі впровадження сучасних інформаційних технологій в автоматизовані системи митної служби носять досить концептуальний характер [2, 3], виділяючи проблематику та формалізуючи загальні аспекти функціонування. В роботах [4, 5] висвітлено такий важливий аспект, як підготовка "сирих" даних (інформація митного контролю), що подаються на вхід аналітичної системи. У працях [6, 7] було запропоновано використати математичну модель нейронної мережі типу багатошаровий персептрон, що за своєю суттю є універсальним апроксиматором, для ідентифікації ризиків порушення митного законодавства. В цих роботах були отримані досить хороші результати розпізнавання ризиків, що інтерпретуються як

"Високий", "Помірний", "Низький", проте мало приділено уваги проблематиці якісного машинного навчання. Тобто, яким чином можна вплинути на якість навчання нейрокласифікатора та шляхи подолання проблем що виникають.

Метою статті є продовження циклу робіт щодо формалізації та розробки моделі ідентифікації ризиків порушення митного законодавства на основі математичного апарату нейронних мереж типу багатошаровий перцептрон. Мета роботи описати такий важливий аспект розробки інтелектуальної системи, як організація та керування процесом навчання з метою запобігання втрати нею такої властивості, як узагальнення.

Інтелектуальна система обробки інформації (ICOI). Процес розробки ICOI загалом передбачає собою наступні етапи (див. рис. 1):

1. Перцепція інформації з різноманітних джерел (як правило це різнотиповий вектор вхідних даних).
2. Підготовка або нормалізація вхідного вектору.
3. Обробка інформації.
4. Інтерпретація отриманих результатів.

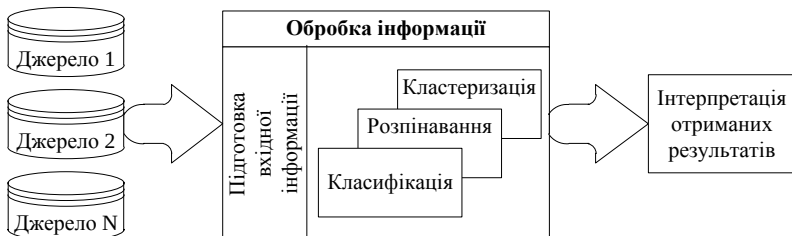


Рис. 1. Інтелектуальна система обробки інформації (ICOI)

Аналіз предметної галузі проблеми, що розглядається, передбачає собою обробку досить великих масивів даних, що носять переважно різнотиповий характер та відповідно виділення таких факторів та ознак, що мають найбільш важливе значення [5]. В роботі [7] було визначено вектор ознак інформації митного контролю та відповідним чином оброблено [4] для адекватного сприйняття нейрокласифікатором. Необхідно зауважити, що сформована для навчання системи вибірка повинна отримати такі властивості, як репрезентативність (для адекватного відображення предметної галузі) та несуперечливість.

Процес інтелектуальної обробки інформації залежить від вибору методів. Напевно, передусім це методи, що використовують алгоритми

машинного навчання. У нашому випадку було застосовано математичну модель штучних нейронних мереж типу багатошаровий персептрон [7].

І нарешті інтерпретація отриманих результатів ставить собою на меті передусім донесення у зрозумілій формулі для користувача про результат розпізнавання або класифікації. В контексті аналізу ризиків порушення митного законодавства це рівень ризику – "Високий", "Помірний" або "Низький".

Налаштування параметрів навчання ICOI. Якісне навчання ICOI є, напевно, найважливішою задачею, що необхідно вирішити розробнику, адже це безпосередньо впливає на результат [8]. Тому перш за все, необхідно сформовану множину вхідних даних розділити на:

1. Навчальну множину $\{x^{(1)}, y^{(1)}\}, \dots, \{x^{(m)}, y^{(m)}\}$.
2. Перевірочну – $\{x_{cv}^{(1)}, y_{cv}^{(1)}\}, \dots, \{x_{cv}^{(m_{cv})}, y_{cv}^{(m_{cv})}\}$.
3. Тестову – $\{x_{test}^{(1)}, y_{test}^{(1)}\}, \dots, \{x_{test}^{(m_{test})}, y_{test}^{(m_{test})}\}$.

Розподіл необхідно зробити у такій пропорції – відповідно 60 %, 20 % та 20% від загальної кількості. Це дозволить нам використовувати отримані похибки $J_{train}(\Theta)$ (*Training error*), $J_{cv}(\Theta)$ (*Cross Validation error*) та $J_{test}(\Theta)$ (*Test error*). Загалом функція похибки (цільова функція) має наступний вигляд:

$$J(\Theta) = \frac{1}{2m} \left[\sum_{i=1}^m \left(h_{\Theta}(x^{(i)}) - y^{(i)} \right)^2 + \lambda \sum_{j=2}^n \Theta_j^2 \right], \quad (1)$$

де $h_{\Theta}(x) = g(\Theta^T x)$ – модель, що налаштовується, або гіпотеза; Θ – вектор параметрів, що налаштовується; λ – параметр регуляризаційного члену.

Зауважимо, що цільова функція (1) записана в загальному випадку, без врахування шарів та кількості нейронів у персептроні, що дозволяє враховувати такі моделі як лінійна, нелінійна та логістична регресія.

Використовуючи градієнтні методи оптимізації ми можемо знайти мінімум цільової функції, проте для адекватної роботи, як згадувалось вище, необхідно провести нормалізацію вхідного простору. Наприклад привести до діапазону $\{0 \dots 1\}$ (2), або відповідним кодуванням:

$$x_i = \frac{x_i}{\max(x)}; \quad x_i = \frac{x_i - \mu}{S}, \quad (2)$$

де μ – середнє значення вектора x у навчальній вибірці, а S – максимінне або стандартне відхилення.

Масштабування вхідних ознак допоможе пришвидшити збіжність оптимізаційного процесу. Так наприклад на рис. 2. а зображено поверхні рівня цільової функції $J(\Theta)$ для двох Θ . Тож можемо уявити як це полегшить оптимізацію для функції багатьох змінних.

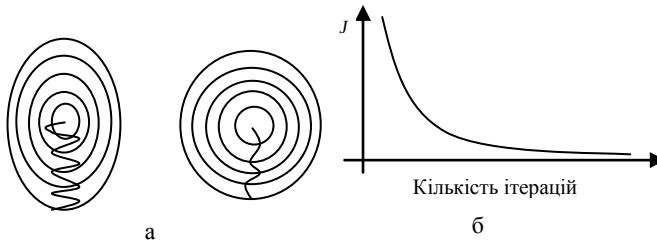


Рис. 2. а – порівняння процесу мінімізації до та після масштабування;
б – залежність функції похибки від кількості ітерацій (epoch)

Процес навчання персептрона градієнтними методами передбачає собою ітераційний алгоритм мінімізації цільової функції $J(\Theta)$ шляхом налаштування параметрів Θ (3).

$$\Theta_j = \Theta_j - \alpha \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (h_{\Theta}(x^{(i)}) - y^{(i)}) x_j^{(i)} + \frac{\lambda}{m} \Theta_j \right), \quad (3)$$

де α – крок навчання.

Швидкість (крок) навчання α (*learning rate*) необхідно вибирати таким чином щоб уникнути наступних проблем [9]:

1. Якщо α занадто мала, то градієнтні методи доволі повільно збігаються.

2. Якщо α занадто велика, то можлива ситуація, коли оптимізаційний процес багаторазово "перестрибує" мінімум цільової функції, або навіть зовсім розбігається.

Під час оптимізації доцільно побудувати залежність цільової функції $J(\Theta)$ від кількості ітерацій та зупиняти процес навчання коли зменшення значення функції за одну ітерацію не буде менше ніж встановлений поріг, наприклад 10^{-3} . В ідеалі вона зображує релаксаційний процес показаний на рис. 2.б. В процесі навчання ICOI доцільно, та мабуть необхідно, обчислювати вищевказані похибки ($J_{train}(\Theta)$, $J_{cv}(\Theta)$ та $J_{test}(\Theta)$) на просторі відповідних множин. Аналізуючи ці похибки можна виявити декілька проблем, які впливають

на здатність класифікатора до узагальнення. Ці проблеми можна описати наступними термінами:

1. Недонавчання (*underfit*) – λ має велике значення (рис. 3. а)).
2. Перенавчання (*overfit*) – $\lambda = 0$ (рис. 3. а)).
3. Тільки правильні (*just right*) – λ має середнє значення (рис. 3. а)).

Побудова залежностей функцій похибки від регуляризаційного параметру λ та об'єму вибірки m (рис. 3) дозволяє виявити підступну проблему перенавчання, тобто ситуацію, коли класифікатор коректно працює лише на навчальній множині.

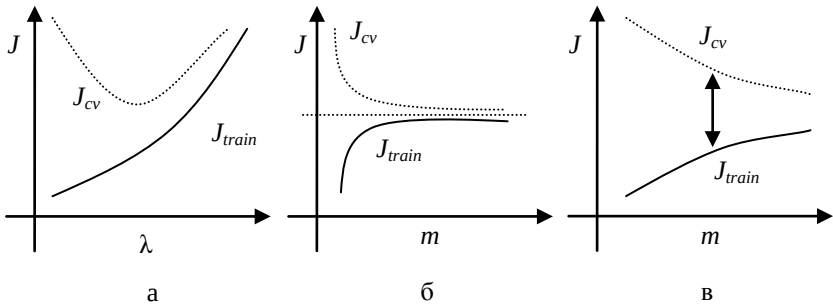


Рис. 3. а – залежність $J(\lambda)$; б – та в – залежність $J(m)$, де m – об'єм вибірки.

Якщо під час навчання та кросвалідації ми отримуємо велику помилку (рис. 3. б)), збільшення числа m не вирішить проблему. У ситуації (рис. 3. в)), навпаки – збільшення дещо покращить якість навчання в цілому [9]. Окрім того, до цього можна додати процедуру зменшення розмірності вхідного простору (якщо є така необхідність).

На останок додамо ще одну рекомендацію: перед навчанням нейронної мережі градієнтними методами варто включити в оптимізаційний алгоритм перевірку градієнта за відомою геометричною формулою наближеного обрахування градієнту. Зауважимо, що перевірку необхідно робити до навчання класифікатора алгоритмом зворотного розповсюдження помилки. Не врахувавши цього, ми отримаємо надлишковий код та збільшення обрахунків на кожній ітерації.

Висновки. В результаті роботи виділені методики аналізу якості процесу навчання ICOI та шляхи подолання такої проблеми нейронних мереж, як втрата здатності до узагальнення. Врахування цих рекомендацій покращує навчальний алгоритм та відповідно впливає на якість розпізнавання ризиків порушення митного законодавства. В

подальшому перспективним для дослідження є удосконалення архітектури нейрокласифікатора.

Список літератури: 1. Основи митної справи в Україні: Підручник / За ред. П.В. Паука. – К.: Знання, 2008. – 652 с. 2. Семенко О.М.-М. Підвищення ефективності роботи по протидії контрабанді та порушенням митних правил, митного контролю за рахунок впровадження автоматизованої системи аналізу та управління митними ризиками на основі Fuzzy-технології / О.М.-М. Семенко. – К.: LAT & K, 2008. – 238 с. 3. Митні інформаційні технології: навч. посібник / О.Ф. Волик, О.В. Кащесва, І.В. Дорда та ін. / За ред. П.В. Паука. – К.: Знання, 2011. – 391 с. 4. Konovalenko Sergii Preprocessing "raw" data sets as an important aspect of intelligent information processing / Sergii Konovalenko // International Book Series "Information Science and Computing". Artificial Intelligence Driven Solutions to Business and Engineering Problems. – Rzeszow and Sofia: ITHEA, 2012. – Book 27. – P. 133-139. 5. SPSS: Искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем. / Ахим Бююль, Петер Цёфель. – СПб.: ООО "ДиаСофтЮП", 2005. – 608 с. 6. Коноваленко С.М. Деякі аспекти розвитку системи аналізу ризиків порушення митного законодавства / С.М. Коноваленко, Б.І. Мороз // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". – Харків: НТУ "ХПИ", 2011. – № 17. – С. 109-114. 7. Коноваленко С. Применение нейронных сетей в рамках концепции "электронная таможня" / С. Коноваленко, Б. Мороз // International Book Series "Information Science and Computing". Applicable Information Models. – Sofia: ITHEA, 2011. – Book 22. – P. 104-110. 8. Christopher M. Bishop Pattern Recognition and Machine Learning (Information Science and Statistics). – Springer, 2007. – P. 738. 9. Andrew Ng Machine Learning Online Course Режим доступу: <http://www.coursera.org>.

Надійшла до редакції 25.03.2013

УДК 004.93.1:656.073.5

Оптимизация параметров обучения нейросетевой системы обработки информации таможенного контроля / Мороз Б.И., Коноваленко С.Н. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 134 – 139.

Рассмотрены аспекты повышения качества обучения нейронных сетей типа многослойный перцептрон, за счет анализа и корректировки таких параметров, как шаг обучения градиентного метода, объем входного вектора, параметр регуляризации. Графически показаны возможные зависимости целевой функции от этих параметров и приведены средства уменьшения негативного влияния определенной ситуации. Ил.: 3. Библиогр.: 9 назв.

Ключевые слова: нейронная сеть, целевая функция, градиентный метод.

UDC 004.93.1:656.073.5

Optimization of parameters training a neural network of the system information processing of customs control / Moroz B.I., Konovalenko S.N. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 134 – 139.

Considered the aspects of improving the quality of training neural networks such as multilayer perceptron, by analyzing and adjusting the parameters such as: the learning step of gradient method, capacity of the input vector parameters of regularization. Graphically shown the possible dependence of the target function of these parameters and given the means of reducing the negative influence of a particular situation. Figs: 3. Refs: 9 titles.

Keywords: neural network, target function, gradient method.

УДК 62-83:621.77

Т.Б. НИКИТИНА, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
Б.Б. КОБЫЛЯНСКИЙ, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",
М.О. ТАТАРЧЕНКО, аспирант, НТУ "ХПИ"

СИНТЕЗ РОБАСТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТРЕХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С УЧЕТОМ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

Разработана математическая модель трехмассовой электромеханической системы с учетом неопределенности объекта управления и обоснован вектор цели робастного управления. Выполнено исследование динамических характеристик робастного управления трехмассовой электромеханической системой. Показано, что синтезированная система робастного управления имеет низкую чувствительность к изменению параметров модели объекта управления. Ил.: 2. Библиогр.: 17 назв.

Ключевые слова: трехмассовая электромеханическая система, математическая модель, неопределенности объекта управления, робастное управление.

Введение. Для эффективного повышения точности регулирования скорости вращения электромеханических систем с упругими элементами в трансмиссии между приводным двигателем и рабочим органом широко используется управление по вектору состояния [1, 2]. Методы синтеза систем управления, основанные на минимизации квадратичного критерия, называются задачами H^2 -оптимизации. Однако, квадратичный критерий чувствителен к наличию неучтенных помех и возмущений как со стороны внешних сигналов, так и параметрических возмущений самих объектов. Поэтому в последнее десятилетие получили развитие методы минимизации H^∞ -нормы, которая служит эффективным показателем реакции системы на различного типа воздействия при наличии неопределенностей в описании объекта управления

Постановка проблемы. Рассмотрим построение робастной системы управления для работы во всем диапазоне изменения параметров объекта управления. При таком подходе в вектор цели робастного управления необходимо включить переменные состояния системы, характеризующие чувствительность системы к изменению параметров объекта управления, а в вектор внешних воздействий включить сами изменения параметров объекта управления. Для синтеза робастного управления необходима математическая модель объекта управления в виде уравнения состояния, в которой в вектор внешних воздействий включены неопределенности параметров модели исходного объекта управления, а в вектор цели робастного управления включены переменные состояния объекта

управления, характеризующие реакцию объекта управления на вариацию параметров модели исходного объекта управления [3 – 5].

Анализ последних достижений и публикаций по данной проблеме. К настоящему времени теория робастного управления динамическими системами представляет собой законченную теорию [3 – 17] и доведена до программной реализации, в частности, в Robust control toolbox пакета MATLAB. Задача синтеза робастного управления заключается в минимизации чувствительности системы к параметрическим возмущениям. В частности, для системы управления в замкнутой форме по вектору состояния системы, восстанавливаемому с помощью робастного наблюдателя, управление находится из условия минимизации нормы вектора цели по управлению и максимизации этой же нормы вектора цели по норме вектора внешних воздействий [3 – 5]. В работах [1, 2] разработаны математические модели многомассовых электромеханических систем. Однако, в этих работах не разработана математическая модель трехмассовой электромеханической системы с учетом неопределенности объекта управления а также отсутствует методика синтеза робастного управления такой системы с учетом неопределенности объекта управления.

Целью данной статьи является повышение точности управления и уменьшение чувствительности к изменению параметров объекта управления (трехмассовой электромеханической системы) на основе робастных методов. Задачей статьи является разработка математической модели, синтез и исследование динамических характеристик робастного управления трехмассовой электромеханической системой с учетом неопределенности объекта управления.

Изложение материалов исследования, полученных научных результатов. Рассмотрим модель электромеханической системы с упругими элементами в виде трехмассовой электромеханической системы. В этом случае вся трансмиссия передачи момента от приводного двигателя к рабочему механизму представляется в виде трех сосредоточенных масс с моментами инерции двигателя J_d , редуктора J_p и рабочего механизма J_m , связанных упругими валами с жесткостями C_1 , C_2 и коэффициентами внутреннего вязкого трения β_1 , β_2 в быстроходном и тихоходном валах на скручивание. Схема такой системы показана на рис. 1.

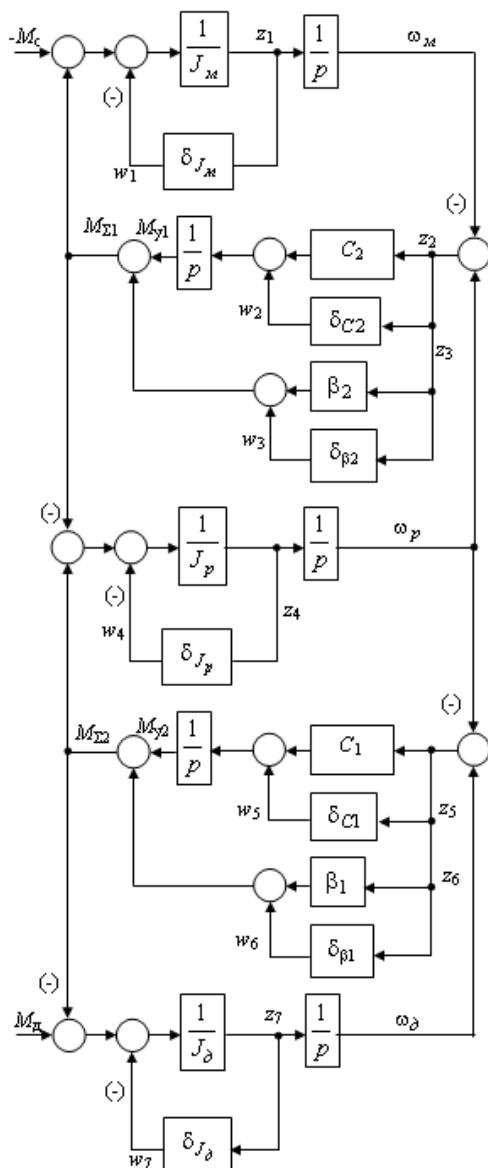


Рис. 1. Схема математической модели трехмассовой электромеханической системы с учетом неопределенностей

Приводной двигатель с моментом инерции J_∂ развивает момент двигателя M_∂ , а на рабочий механизм с моментом инерции J_m действует момент сопротивления M_c .

Рассмотрим теперь математическую модель трехмассовой электромеханической системы с учетом неопределенностей задания ее параметров. В процессе работы системы момент инерции рабочего механизма J_m , как правило, изменяется в определенных, часто в достаточно широких, пределах. В ряде механизмов достаточно сильно изменяются и жесткости упругих валов C_1 , C_2 , связывающих валы рабочего механизма, редуктора и приводного двигателя. В частности, это имеет место при использовании люфтовывбирающих пружин.

Представим фактические значения моментов инерции приводного двигателя $\bar{J}_\partial$, редуктора $\bar{J}_p$ и рабочего механизма $\bar{J}_m$ и жесткостей упругих передач $\bar{C}_1$, $\bar{C}_2$, и коэффициентов внутреннего вязкого трения $\bar{\beta}_1$, $\bar{\beta}_2$ в быстроходном и тихоходном валах на скручивание в виде суммы номинальных значений параметров J_∂ , J_p , J_m , C_1 , C_2 , β_1 , β_2 и изменения этих значений параметров δ_{J_∂} , δ_{J_p} , δ_{J_m} , δ_{C1} , δ_{C2} , $\delta_{\beta1}$, $\delta_{\beta2}$, как это показано на рис.1.

Контур прямого управления моментом двигателя M_∂ представим в виде аperiodического звена первого порядка с постоянной времени T_∂ . Для реализации астатизма по управлению, включим в модель объекта управления интегратор с переменной состояния I , на вход которого подадим ошибку системы между заданным значением скорости вращения и скорости вращения рабочего органа.

Введем вектор состояния этой трехмассовой системы, компонентами которого являются скорость вращения механизма ω_m , момент упругости в тихоходном валу M_{y2} , скорость вращения редуктора ω_p , момент упругости в быстроходном валу M_{y1} , скорость вращения двигателя ω_∂ , момент двигателя M_∂ и выходная переменная интегратора I в следующем виде:

$$x = [\omega_m, M_{y2}, \omega_p, M_{y1}, \omega_\partial, M_\partial, I]^T.$$

Введем вектор управления $\vec{u}(t)$, компонентами которого являются задание по моменту двигателя $M_{з0}$ и момент сопротивления M_c в следующем виде:

$$\vec{u}(t) = [M_{з0}, M_c]^T.$$

Запишем уравнение состояния, вектор цели $\vec{z}(t)$ и вектор измеряемого выхода $\vec{y}(t)$ в стандартной форме, принятой в H_∞ теории робастного управления:

$$\begin{aligned} \frac{d\vec{x}}{dt} &= A\vec{x}(t) + B_1\vec{w}(t) + B_2\vec{u}(t), \\ \vec{z}(t) &= C_1\vec{x}(t) + D_{11}\vec{w}(t) + D_{12}\vec{u}(t), \\ \vec{y}(t) &= C_2\vec{x}(t) + D_{21}\vec{w}(t) + D_{22}\vec{u}(t). \end{aligned}$$

где $\vec{w}(t)$ – вектор внешних возмущений.

Задача синтеза робастного управления заключается в минимизации чувствительности системы к параметрическим возмущениям. При синтезе робастного управления будем считать $\vec{w}(t)$ – вектор внешних возмущений, независимым, а задачей синтеза робастного управления является минимизация нормы вектора цели $\vec{z}(t)$. При таком подходе с помощью робастного управления фактически минимизируется чувствительность системы к параметрическим возмущениям объекта управления.

В вектор контролируемых переменных z кроме компонент z_i , характеризующих изменения переменных состояния системы при изменении параметров объекта управления, введем также управление – задание по моменту двигателя M_z , ошибку регулирования $\varepsilon = \omega_3 - \omega_m$, и выходную переменную интегратора I , так, что вектор z примет следующий вид

$$z = [z_1, z_2, z_3, z_4, z_5, z_6, z_7, \varepsilon, I, M_z]^T.$$

В вектор внешних воздействий $\vec{w}(t)$ кроме компонент изменения параметров объекта управления, введем также заданное значение скорости ω_3 , момент сопротивления M_c , а также помеху измерения скорости f_ω и фиктивную помеху измерения выхода интегратора f_I , так что вектор внешних воздействий w примет следующий вид

$$w = [w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, \omega_3, M_c, f_\omega, f_I]^T.$$

В вектор измеряемых переменных $\vec{y}$ введем скорость вращения двигателя ω_∂ , измеренную с помехой f_ω , и переменную состояния интегратора I , измеренную с помехой f_I .

Тогда соответствующие матрицы в стандартном описании системы примут следующий вид:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{\beta_2}{J_M} & \frac{1}{J_M} & \frac{\beta_2}{J_M} & & & & \\ -C_2 & & C_2 & & & & \\ \frac{\beta_2}{J_p} & -\frac{1}{J_p} & -\frac{\beta_1 - \beta_2}{J_p} & \frac{1}{J_p} & \frac{\beta_1}{J_p} & & \\ & & -C_1 & & C_1 & & \\ & & \frac{\beta_1}{J_\partial} & -\frac{1}{J_\partial} & -\frac{\beta_1}{J_\partial} & \frac{1}{J_\partial} & \\ & & & & & -\frac{1}{T_\partial} & \\ & & & & -1 & & \end{bmatrix},$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{J_M} & & \frac{1}{J_M} & & & & & -\frac{1}{J_M} & & \\ & 1 & & & & & & & & \\ & & -\frac{1}{J_p} & -\frac{1}{J_p} & \frac{1}{J_p} & & & & & \\ & & & & 1 & & & & & \\ & & & & -\frac{1}{J_\partial} & -\frac{1}{J_\partial} & & & & \\ & & & & & & 1 & & & \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ \frac{K_\partial}{T_\partial} \\ \\ \end{bmatrix},$$

$$C_1 = \begin{bmatrix} -\frac{\beta_2}{J_M} & \frac{1}{J_M} & \frac{\beta_2}{J_M} & & & & \\ -1 & & 1 & & & & \\ -1 & & 1 & & & & \\ \frac{\beta_2}{J_p} & -\frac{1}{J_p} & -\frac{\beta_1 - \beta_2}{J_p} & \frac{1}{J_p} & \frac{\beta_1}{J_p} & & \\ & & -1 & 1 & & & \\ & & -1 & 1 & & & \\ & & \frac{\beta_1}{J_\partial} & -\frac{1}{J_\partial} & -\frac{\beta_1}{J_\partial} & \frac{1}{J_\partial} & \\ -1 & & & & & & \\ & & & & & & 1 \\ & & & & & & \end{bmatrix}, \quad C_2 = \begin{bmatrix} & & & & 1 & & \\ & & & & & & 1 \end{bmatrix},$$

$$D_{11} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{J_M} & & & & & & -\frac{1}{J_M} & & \\ & \frac{1}{J_M} & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & -\frac{1}{J_p} & -\frac{1}{J_p} & \frac{1}{J_p} & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & -\frac{1}{J_\partial} & -\frac{1}{J_\partial} & & & \\ & & & & & & 1 & & \\ & & & & & & & & \\ & & & & & & & & \end{bmatrix},$$

$$D_{12} = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ 1 \end{bmatrix}, \quad D_{21} = \begin{bmatrix} & & & & & & & & 1 \\ & & & & & & & & 1 \end{bmatrix}, \quad D_{22} = \begin{bmatrix} \end{bmatrix}.$$

Заметим, что для получения приемлемых показателей качества в вектор цели необходимо также вводить моменты упругости и скорости вращения двигателя и рабочего механизма.

Результаты моделирования на ЭВМ. В качестве примера приведем переходные процессы робастной системы управления трехмассовой электромеханической системой при изменении параметров объекта управления. На рис. 2 показаны переходные процессы: а – скорости вращения рабочего механизма ω_m ; б – момента упругости в тихоходном валу M_{y1} ; в – скорости вращения редуктора ω_p ; г – момента упругости в быстроходном валу M_{y2} ; д – скорости вращения двигателя ω_∂ и е – момента двигателя M_∂ трехмассовой электромеханической системы по моменту сопротивления для трех значений параметров объекта управления.

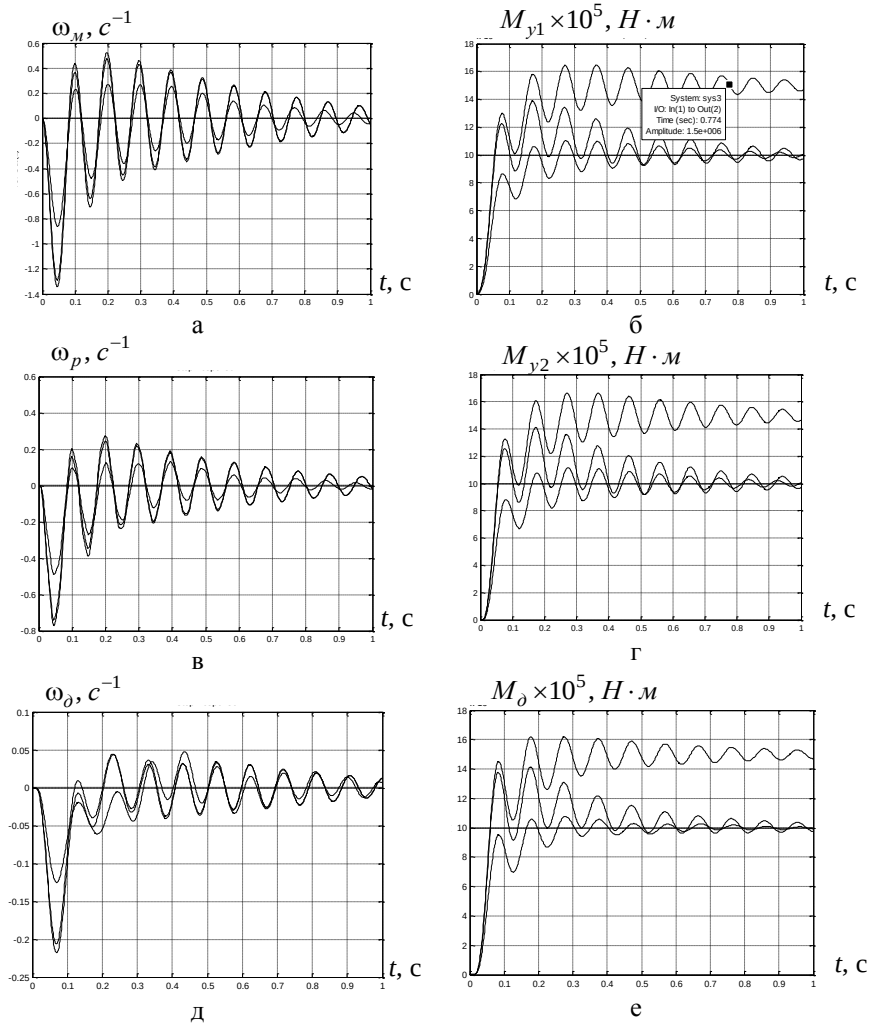


Рис. 2. Переходные процессы переменных состояния трехмассовой электромеханической системы

Как видно из рисунка, синтезированная система робастного управления достаточно хорошо паритрует изменение параметров объекта

управления в широких пределах и, следовательно, имеет низкую чувствительность к изменению параметров модели объекта управления.

Выводы из проведенного исследования. В статье разработана математическая модель трехмассовой электромеханической системы с учетом неопределенности объекта управления. Для синтеза робастного управления трехмассовой электромеханической системы обоснован выбор вектора цели робастного управления, включающий вектор неопределенностей параметров объекта управления, ошибку регулирования, переменные состояния объекта управления и само управление. Выполнено исследование динамических характеристик робастного управления трехмассовой электромеханической системы с учетом неопределенности объекта управления.

В результате проведенных исследований динамических характеристик синтезированных систем робастного управления показано, что эти системы имеют существенно меньшую чувствительность к изменению параметров моделей объектов управления и внешних воздействий по сравнению с аналогичными системами оптимального управления. В частности, применение оптимальных систем управления, синтезированных для одного – центрального объекта управления, приводило к потере устойчивости системы при изменении параметров объекта управления в заданных пределах. Применение робастных регуляторов позволило сохранить устойчивость системы с одним робастным центральным регулятором во всем диапазоне изменения параметров объекта управления и обеспечить выполнение требований, предъявляемых к системе.

Список литературы: 1. Никитина Т.Б. Многокритериальный синтез робастного управления многомассовыми системами. – Монография / Т.Б. Никитина. – Харьков: ХАДУ, 2013. – 432 с. 2. Кузнецов Б.И. Синтез электромеханических систем со сложными кинематическими цепями. – Монография / Б.И. Кузнецов, Т.Б. Никитина, В.В. Коломиец. – Харьков: УИПА, 2005. – 512 с. 3. Nikitina T.B. Digital robust control of multichannel systems / T.B. Nikitina // Modern problems of radio engineering telecommunications and computer science Proceedings of the International Conference TCSET'2008. – Lviv. – Slavske. – Ukraine. – P. 254 – 255. 4. Nikitina T.B. Multichannel systems robust synthesis / T.B. Nikitina. – The experience of Designing and Application of CAD systems in Microelectronics. – 2007. – P. 240 – 241. 5. Nikitina T.B. Stochastic digital robust control of multichannel systems / T.B. Nikitina. – The experience of Designing and Application of CAD systems in Microelectronics. – 2009. – P. 246 – 248. 6. Qu Z. Robust Control of Nonlinear Uncertain Systems without Generalized Matching Conditions / Z. Qu // IEEE Transactions on Automatic Control. – 1995. – Vol. 40. – P. 1453 – 1460. 7. Safonov M.G. H^∞ Control Synthesis for a Large Space Structure / M.G. Safonov, R.Y. Chiang, H. Flashner // AIAA. Guidance, Control and Dynamics. – 1991. – №3. – P. 513 – 520. 8. Sakamoto N. Simplistic/contact geometry and the Hamilton – Jacobi equation arising from nonlinear H^∞ control theory. Mathematical Theory of Networks and System / N. Sakamoto, K. Hamada // A. Beghi, L. Finesso, G. Picci editors. Proceedings of the MTNS – 98 Symposium

held in Padova. – 1998. – P. 389 – 392. **9.** Malinen J. Solutions of the Riccati equation for H^∞ discrete time systems. Mathematical Theory of Networks and System / J. Malinen // A. Beghi, L. Finesso, G. Picci editors. Proceedings of the MTNS – 98 Symposium held in Padova. – 1998. – P. 495 – 499. **10.** Maolin Jin. Robust Compliant Motion Control of Robot With Nonlinear Friction Using Time – delay Estimation / Jin Maolin, Sang Hoon Kang, Pyung Hun Chang // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2008. – Vol. 55. – № 1. – P. 258 – 269. **11.** Moller-Pedersen. Control of Nonlinear Plants / Moller-Pedersen, Martin Pagh Petersen. – Technical University of Denmark. – 1995. – 1192 p. **12.** Никитина Т.Б. Робастная стабилизация дискретно-континуального объекта / Т.Б. Никитина // Технічна електродинаміка. – 2007. – Ч. 1. – С. 56 – 61. **13.** Никитина Т.Б. Цифровая робастная стабилизация танкового вооружения / Т.Б. Никитина // Електромашинобудування та електрообладнання. – К.: Техніка, 2007. – № 68. – С. 16 – 21. **14.** Никитина Т.Б. Синтез робастных регуляторов многоканальных итерационных систем / Т.Б. Никитина // Радиоэлектроника и информатика. – Харків: ХНУРЕ. – 2007. – № 4 (35). – С. 24 – 30. **15.** Нікітіна Т.Б. Цифрове робастне керування двомасовою обмотувальною машиною / Т.Б. Никитина // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів: НУ «Львівська політехніка». – 2007. – № 587. – С. 70 – 75. **16.** Khargonekar P. H^∞ optimal control with state feedback / P. Khargonekar, I. Petersen, M. Rotea // IEEE Trans. Automat. Contr. – 1988. – AC – 33. – P. 783 – 786. **17.** Coollins E.G. A Delta Operator Approach to Discrete-Time H^∞ Control / E.G. Coollins, J. Song // International Journal of Control. – 1999. – Vol. 72. – № 4. – P. 315 – 320.

Поступила в редакцію 25.05.13.

УДК 62-83:621.77

Синтез робастного керування тримасовою електромеханічною системою з урахуванням невизначеностей об'єкту керування / Нікітіна Т.Б., Кобилянський Б.Б., Татарченко М.О. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 140 – 149.

Розроблена математична модель тримасової електромеханічної системи з урахуванням невизначеностей об'єкту керування і обґрунтовано вектор мети робастного керування. Виконано дослідження динамічних характеристик робастного керування тримасовою електромеханічною системою. Показано, що синтезована система робастного керування має низьку чутливість до зміни параметрів моделі об'єкта керування. Лл.: 2. Бібліогр.: 17 назв.

Ключові слова: тримасова електромеханічна система, математична модель, невизначеності об'єкту керування, робастне керування.

UDK 62-83:621.77

Robust control syntheses of thremass electromechanics system with plant uncertainty / Nikitina T.B., Kobilyanskij B.B., Tatarchenko M.O. // Herald of the National Technical University "KhPI" / Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 140 – 149.

The mathematical model of the thremass electromechanics system is worked out taking into account the model uncertainty plant and the vector of robust control purpose is reasonable. Research of dynamic descriptions of robust control the thremass electromechanics system is executed. It is shown that the system of robust control has a subzero sensitiveness to the change of parameters of plant model. Figs.: 2. Refs.: 17 titles.

Keywords: thremass electromechanics system, mathematical model, uncertainty plant, robust control.

УДК 681.5

А.І. ПОВОРОЗНЮК, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
К.В. СТЕБЛІНА, канд. техн. наук, асистент, ЧНУ
ім. Ю. Федьковича, Чернівці,
К.А. БІЛЕЦЬКИЙ, магістр, НТУ "ХПИ"

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ДІАГНОСТИЧНО- ЛІКУВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ

Формалізовані етапи діагностично-лікувального процесу при розробці комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень в медицині. Для комплексної оцінки етапів діагностично-лікувального процесу з метою мінімізації ризиків лікарських помилок розроблено метод кластеризації діагнозів в просторі фармакологічних дій та корекції порогів в діагностичному вирішальному правилі. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: комп'ютерна система, прийняття рішення, діагностично-лікувальний процес, фармакологічна дія, лікарська помилка.

Постановка проблеми й аналіз літератури. Процес реабілітації пацієнтів складається з двох взаємозалежних етапів [1, 2]: діагностики захворювань та лікування виявлених патологій, причому після діагностики і призначення лікувальних процедур необхідний моніторинг поточного стану пацієнта з метою оцінки ефективності процесу лікування і, при необхідності, його корекції. Для лікування того або іншого захворювання надаються необхідні дії на організм. Для більшості патологій у різних областях медицини дані дії виконуються медикаментозним шляхом. На кожному з відзначених етапів лікар, як особа що приймає рішення (ОПР), виробляє управлінське рішення в умовах дефіциту вихідних даних і істотної апіорної невизначеності, ґрунтуючись на своїй кваліфікації, досвіді й інтуїції. При цьому ухвалення неправильного рішення (лікарська помилка) як на етапі діагностики, так і на етапі лікування може мати катастрофічні наслідки для здоров'я пацієнта.

У формалізованому виді, при проектуванні комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень у медицині (КСППРМ), задача діагностики є задачею класифікації стану i -го пацієнта D_i при аналізі вектора діагностичних ознак X_i [1 – 3]. При медикаментозному лікуванні кожному діагнозові D_i ставиться у відповідність множина необхідних фармакологічних дій (ФД) f_{D_i} , на підставі якої формується комплекс

лікарських препаратів (КЛП) з врахуванням f_{D_i} , непереносимості i -го пацієнта до окремих препаратів, несумісності препаратів, багатокритеріального порівняння препаратів-аналогів [4]. ФД – це вплив активних компонентів лікарських препаратів на окремі органи людини й організм у цілому.

В даний час мається широкий спектр комп'ютерних діагностичних систем у різних предметних областях медицини [1, 3]. Інформатизація етапу формування КЛП обмежується медичними довідниками фармацевта, у тому числі у виді інформаційно-пошукових систем [5], що представляють лікареві структурований список (класи, підкласи і т.д.) лікарських препаратів і текстовий опис їхніх властивостей.

При цьому задачі діагностики і лікувальних заходів розглядаються незалежно друг від друга, при діагностиці мінімізується ризик неправильної постановки діагнозу без врахування етапу лікувальних заходів, тому актуальною є задача мінімізації ризику лікарської помилки при комплексній оцінці всіх етапів діагностично-лікувального процесу.

Метою роботи є розробка інформаційних технологій комплексної оцінки етапів діагностично-лікувальних заходів з метою підвищення їхньої ефективності і мінімізації ризику лікарських помилок.

Формалізація й інформаційні технології реалізації етапів лікувально-діагностичних заходів. У [3] формалізовані наступні етапи перетворення інформації в КСППМ: структурна ідентифікація біосигналів $F1: x(t) \rightarrow X$ і медичних зображень $F2: x(j,k) \rightarrow X$; формалізація опису різномірних діагностичних ознак і синтез ієрархічних структур діагностуємих станів $F3: D \rightarrow S_D$ і діагностичних ознак $F4: X \rightarrow S_z$; синтез діагностичних вирішальних правил (ВП) при взаємодії S_D і S_z $F5: X_i \rightarrow D_i$; формування КЛП Y_i $F6: D_i \rightarrow Y_i$, що складається з етапів $F6_1: D_i \rightarrow f_{D_i}$ і $F6_2: f_{D_i} \rightarrow Y_i$.

Для мінімізації ризиків лікарських помилок розглянемо більш докладно перетворення $F3$ і $F5$. Синтез S_D – бінарного дерева рішень виконується процедурою ієрархічної кластеризації множини діагностуємих станів D за критерієм мінімуму помилки кластеризації в просторі ознак X (перетворення $F3$). Як наслідок, у ході такого процесу утвориться бінарне дерево, коренем якого є повна множина діагнозів $\{D_i\}_n$ у заданій предметній області, у гілках розташовуються кластери діагнозів, а листами – окремі діагнози. Процес діагностики – рух по дереву рішень, у кожній k -й вершині якого виконується диференційна

діагностика станів D_q і D_l , шляхом застосування ВП і ухвалення рішення на користь D_q або D_l . Виникаючі при цьому ризики неправильного рішення на етапі діагностики: α – помилка першого роду і β – помилка другого роду, визначаються розташуванням еліпсоїдів розсіювання об'єктів навчальної вибірки в просторі ознак без врахування їхнього впливу на етап вибору необхідних ФД і призначення КЛП.

Для мінімізації ризику неправильних медичних заходів, що виникають при помилковій діагностиці, необхідно знайти залежність між помилкою діагностики (D_q замість D_l), і наслідків від цієї помилки при призначенні КЛП (Y_q замість Y_l). Так як КЛП повинен забезпечити множину необхідних ФД $Y_q \rightarrow f_{D_q}$, а $Y_l \rightarrow f_{D_l}$, то ризик в остаточному підсумку визначається розходженням компонентів множин f_{D_q} і f_{D_l} ,

тому для його мінімізації в роботі пропонується перехід від традиційного простору ознак X у простір ФД F . При цьому компоненти $f_m \in F$ представляються бінарними змінними (0 – відсутній, 1 – присутній), а кожен діагностуємиий стан D_i представляється точкою в i -й вершині гіперкуба (у просторі ознак X стани D_i представляються множиною точок, що утворюють еліпсоїди розсіювання).

Тому в даному випадку для виконання кластеризації D_i у просторі F зручно представити структуру D_i потоковою моделлю [3, 6], у якій кожен D_i представляється вершиною повнозв'язного графа, а кожний дузі графа приписуються деякі числові значення, що характеризують ступінь близькості між двома вершинами.

Так як ФД є дихотомічними величинами, то в якості міри близькості обрана зважена відстань Хеммінга:

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^g w_{ij} |f_{ki} - f_{kj}|, \quad (1)$$

де $f_{ki}, f_{kj} \in [0,1]$ – k -а ФД i -го і j -го діагнозів відповідно; g – розмірність простору F ; w_{ij} – коефіцієнт, що забезпечує збільшення відстані у випадку присутності конфліктуючих ФД.

Застосування ієрархічної кластеризації за критерієм мінімуму сумарного зв'язку (пошук мінімального розрізу) у просторі F для синтезу дерева рішень забезпечує мінімум ризику прийняття рішень при комплексній оцінці діагностично-лікувальних заходів.

Для реалізації комбінованого ВП (перетворення F5) у роботі реалізується метод синтезу уточнюючого діагнозу [7, 8], що є модифікацією методу послідовного аналізу (методу Вальда) і заснований на аналізі взаємодії ієрархічних структур діагностичних ознак S_z і

діагностуємих станів S_D . На кожному i -му етапі послідовного аналізу, при диференційній діагностиці між двома діагнозами D_q і D_l , обчислюється відношення правдоподібності:

$$\Theta = \prod_i \frac{P(x_{ik} / D_q)}{P(x_{ik} / D_l)}, \quad (2)$$

яке порівнюється з порогами $\Theta > A$, $\Theta < B$, де A і B – верхня і нижня границі невизначеності, необхідні для ухвалення рішення.

При виконанні однієї з умов приймається рішення про діагноз D_q або D_l відповідно і виконується перехід на більш низький рівень ієрархії діагнозів з метою уточнення діагнозу. При невиконанні обох нерівностей додається наступна $i + 1$ ознака і процедура повторюється.

У послідовному аналізі границі прийняття рішень A і B пов'язані з помилками класифікації α і β наступними відносинами:

$$A = (1 - \beta) / \alpha, \quad B = \beta / (1 - \alpha), \quad (3)$$

де α – помилка першого роду, тобто ймовірність того, що пацієнтові з діагнозом D_q поставлено діагноз D_l ; β – помилка другого роду, тобто пацієнтові з діагнозом D_l поставлено діагноз D_q .

Слід зазначити, що в (2), умовні ймовірності і помилки α і β визначаються в просторі ознак.

Для комплексної оцінки ризиків лікарських помилок, що виникають на обох етапах діагностично-лікувального процесу, у роботі пропонується метод корекції границь інтервалу невизначеності $[A, B]$, з огляду на помилки, що виникають на етапі призначення КЛП.

Проаналізуємо зв'язок порогів з помилками: якщо прийняти $\alpha = 0$ і $\beta = 0$ – найбільш жорсткі умови – детермінований зв'язок, при якому еліпсоїди розсіювання не перетинаються, то одержуємо:

$$A = (1 - 0) / 0 = \infty, \quad B = 0 / (1 - 0) = 0.$$

У випадку збігу багатомірних функцій розподілу класів l і q , при яких класи не можна розрізнити $\alpha + \beta = 1$; і пороги вибираються рівними $\alpha = 0,5$ і $\beta = 0,5$, коли класи слабо розрізняються. У даному випадку найбільш "демократичні" пороги:

$$A = (1 - 0,5) / 0,5 = 1, \quad B = 0,5 / (1 - 0,5) = 1.$$

У такий спосіб діапазон зміни α і β визначаються в діапазоні $[0; 0,5]$ – від жорстких детермінованих вимог до умов байдужності.

Якщо позначити α_n і β_n – помилки в просторі діагностичних ознак, а α_f і β_f – помилки в просторі ФД, тоді для комплексної оцінки ризиків необхідно визначити залежність між ними: $\alpha_n = y(\alpha_f)$, $\beta_n = y(\beta_f)$.

При представленні задачі кластеризації потоковою моделлю помилки α_f і β_f однозначно визначаються мінімальним розрізом R_f .

У кожному вузлі дерева рішень бере участь різна кількість діагностуємих станів (на верхньому рівні – усі D_n , а на нижньому – у листі, як мінімум один кластер, а можливо і два, повинні містити один діагноз). Відповідно в кожному вузлі визначається свій розріз R_f .

Позначимо кількість діагностуємих станів в i -му вузлі дерева рішень, як n_i , тоді величину мінімального розрізу можна визначити як сумарну вагу дуг, що належать мінімальному розрізові підграфів D_q і D_l :

$$R_i = \sum_j \sum_k r_{jk}, \quad j \in D_q, \quad k \in D_l. \quad (4)$$

Слід зазначити, що r_{jk} враховують вагові коефіцієнти в (1), і є асиметричними, тобто $r_{jk} \neq r_{kj}$. Нормоване значення $\overline{R}_i$ виражається формулою

$$\overline{R}_i = R_i / \sum_j \sum_k r_{jk},$$

де R_i визначається формулою (4), а в знаменнику сумарна вага всіх дуг повнозв'язного графа з n_i вершин.

Отримане $\overline{R}_i$ змінюється в діапазоні $[0, 1]$; якщо $\overline{R}_i = 0$, то два стани D_q і D_l у просторі ФД не розрізняються (два діагнози не відрізняються методами лікування, тому навіть максимальна помилка діагностики не приводить до лікарської помилки, тобто $\alpha_f = \beta_f = 0,5$). Якщо $\overline{R}_i = 1$, то D_q і D_l максимально відрізняються один від іншого, і до помилок кластеризації необхідно застосовувати найбільш жорсткі вимоги, тобто $\alpha_f = \beta_f = 0$.

Виходячи з вище викладеного, знаходиться зв'язок між α_n , β_n і $\overline{R}_i$:

$$\alpha_n = 0,5(1 - \overline{R}_{ql}), \quad \beta_n = 0,5(1 - \overline{R}_{lq}).$$

Визначені за допомогою отриманих виразів помилки задають пороги A і B , що визначаються по (3) у вирішальному правилі (2).

Висновки. Розроблено методи побудови нового класу КСППРМ на основі формалізації етапів проведення діагностично-лікувальних заходів при їхній комплексній оцінці, синтезу моделей об'єктів дослідження відзначених етапів і вирішальних правил на цих моделях. Розроблені інформаційні технології дозволяють мінімізувати ризики лікарських

помилков, підвищити вірогідність і обґрунтованість рішень ОПР і можуть адаптуватися до різних предметних областей медицини.

Список літератури: 1. Об инфраструктуре информационной поддержки клинической медицины / В.А. Лицук, А.В. Гаврилов, Г.В. Шевченко и др. // Медицинская техника. – М.: 2003. – № 4. – С. 36-42. 2. Весненко А.И. Топо-типология структуры развернутого клинического диагноза в современных медицинских информационных системах и технологиях / А.И. Весненко, А.А. Попов, М.И. Проненко // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – № 6. – С. 143-154. 3. Поворознюк А.И. Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил / А.И. Поворознюк – Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 314 с. 4. Дмитриенко В.Д. Многокритериальная оценка лекарственных препаратов / В.Д. Дмитриенко, О.А. Поворознюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – Вінниця, ВНТУ. – 2009. – № 3 – С. 144-148. 5. Компендиум 2007 – лекарственные препараты / Под ред. В.Н. Коваленко, А.П. Викторова. [Электронный ресурс] <http://www.compendium.com.ua>. 6. Филлипс Д. Методы анализа сетей. Пер. с англ. / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. – М.: Мир, 1984. – 648 с. 7. Поворознюк А.И. Синтез комбінованого вирішального правила (ВП) у комп'ютерних системах медичної діагностики / А.И. Поворознюк // Системні дослідження та інформаційні технології – 2010. – № 3. – С. 72 - 83. 8. Бурцев М.В. Архитектура системы поддержки принятия решений в медицине, основанной на комбинированном решающем правиле / М.В. Бурцев, А.И. Поворознюк // Вісник Національного технічного університету "ХПИ". Серія: Інформатика і моделювання. – Харків: НТУ"ХПИ", 2012. – № 38. – С. 26 - 31.

Надійшла до редакції 25.03.2013

УДК 681.5

Информационные технологии поддержки принятия решений при проведении диагностико-лечебных мероприятий / Поворознюк А.И., Стеблина К.В., Белецкий К.А. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 150 – 155.

Формализованы этапы диагностико-лечебного процесса при разработке компьютерных систем поддержки принятия решений в медицине. Для комплексной оценки этапов диагностико-лечебного процесса с целью минимизации рисков врачебных ошибок разработан метод кластеризации диагнозов в пространстве фармакологических действий и коррекции порогов в диагностическом решающем правиле. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: компьютерная система, принятие решения, диагностико-лечебный процесс, фармакологическое действие, врачебная ошибка.

UDK 681.5

Information technologies of support decision making when undertaking diagnostic-medical action / Povoroznyuk A.I., Steblina K.V., Beleckiy K.A. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 150 – 155.

The formalized stages diagnostic-medical process at development computer decision support system in medicine. For complex estimation stage diagnostic-medical process for the reason minimization risk doctor-mistake is designed method to clusterizations diagnosis in space pharmacological action and correction threshold in diagnostic solving rule. Refs.: 8 titles.

Keywords: computer system, decision making, diagnostic-medical process, pharmacological action, doctor-mistake.

УДК 621.317

Н.І. ПОВОРОЗНЮК, канд. техн. наук, доц., НТУУ "КПІ", Київ,
К.В. ЧОРНИЙ, студент, НТУУ "КПІ", Київ

ЗВУКОВІ СИГНАЛИ ДІЯЛЬНОСТІ СЕРЦЯ І ЇХ АНАЛІЗ У ЧАСТОТНО-ЧАСОВІЙ ОБЛАСТІ

Дослідження звукових сигналів діяльності серця (аускультация) є одним з ефективних і недорогих методів ранньої діагностики захворювань серцево-судинної системи. Звуки серця (фонокардіограма) є низькочастотним, багатокомпонентним, нестационарним сигналом, тому аналіз таких сигналів доцільно виконувати у частотно-часовій області. Застосування вейвлет-перетворення для аналізу фонокардіограм дає змогу підвищити роздільну здатність і отримати важливі інформаційні характеристики. Бібліогр.: 15 назв.

Ключові слова: аускультация, фонокардіограма, вейвлет-перетворення.

Постановка проблеми і аналіз літератури. Захворювання серцево-судинної системи є однією з основних проблем охорони здоров'я. Такі захворювання, наприклад, спричиняють 42% смертних випадків у Євросоюзі, незважаючи на 192 млрд. витрати на рік на їх профілактику і лікування. Рання діагностика таких захворювань дасть змогу не тільки істотно поліпшити стан охорони здоров'я, а й значно скоротити витрати. У сучасній медицині для діагностики порушень у роботі серця використовуються такі ефективні технології як ультразвукова ехокардіографія, комп'ютерна рентгенівська томографія, магнітно-резонансна томографія, але вони дуже дорогі і проводяться у спеціалізованих медичних центрах.

Прослуховування звуків серця (аускультация) з метою діагностики захворювань за допомогою найпростіших пристроїв (стетоскопа, фонендоскопа) вже давно використовується у діагностичній і лікувальній практиці [1 – 4]. Проте можливості людського слуху обмежені, тому для отримання повної інформації у сучасній медицині застосовуються новітні досягнення в області цифрової та мікропроцесорної техніки, що дають змогу обробляти отримані звукові сигнали за складними алгоритмами.

Мета статті. Розробити процедуру аналізу звукових сигналів серцевої діяльності на основі вейвлет-перетворення з метою ранньої діагностики відхилень у роботі серця.

Характеристики і параметри звукових сигналів діяльності серця. Звукові сигнали діяльності серця (фонокардіограма) – це механічні коливання пружного середовища, що виникають у результаті руху крові по камерах серця та при роботі клапанів. Вони поділяються на

тони, – сигнали однієї або кількох частот, і шуми (англ. *murmurs*) – хаотичні коливання з широкою смугою частот [2, 3].

Фонокардіограма містить дві головні складові: тони $S1$ та $S2$. $S1$ – це перший тон серця (сistolічний), який утворюється в результаті закривання трикуспідального ($T1$), мітрального ($M1$) клапанів та скорочення шлуночків. Також в цей тон входить звук відкриття клапанів аорти та легеневої артерії. $S2$ – другий тон (діастолічний). Він утворюється в результаті закривання клапанів легеневої артерії та аорти і відкривання мітрального та трикуспідального клапанів. У $S2$ розрізняють три частини, а центральну поділяють на аортальний ($A2$) і на пульмональний ($P2$) компоненти, які виникають у результаті напруження стулок відповідних клапанів. Крім головних звуків (тонів) $S1$ і $S2$, у певних випадках спостерігають додаткові – $S3$ та $S4$. Головні $S1$ і $S2$ і додаткові $S3$ та $S4$ тони несуть цінну інформацію про стан серця пацієнта і використовуються для діагностики захворювань. Не менш цінну діагностичну інформацію несуть також шуми серця, які спричинені турбулентним рухом крові і свідчать про відхилення у роботі серця.

Аналіз фонокардіограм. Аналіз фонокардіограм з метою виявлення відхилень від норми і патологій у роботі серця здійснюється у кількох етапів. На першому етапі виконується зняття сигналів з датчиків (сенсорів), закріплених на тілі пацієнта. Далі виконується процедура сегментації сигналів, отриманих з датчиків. Сегментація сигналів полягає у синхронізації і виділенні періоду серцевого ритму, виділення основних тонів $S1$ і $S2$ та їх складових, а також шумів [4, 5]. Для сегментації сигналів застосовуються методи з різної ступені складності, але кожен з них розроблявся для конкретного випадку застосування. Одним з найпростіших методів є застосування середнього квадратичного значення сигналів. Ще одним методом є застосування QRS комплексу електрокардіограм, але його застосування супроводжується ускладненням обчислювальних потужностей та збільшенням ціни діагностичного комплексу.

Для підвищення швидкодії і зменшення затрат розроблено алгоритм, який ґрунтується на використанні абсолютного значення енергії Шенона сигналу

$$E = \left| x^2 \cdot \ln(x^2) \right|. \quad (1)$$

Особливість енергії Шенона полягає у тому, що підсилюються високоенергетичні ділянки сигналу, а шумові пригнічуються. Знаходяться високоенергетичні ділянки сигналу за допомогою визначення локальних максимумів абсолютних енергій околів праворуч і

ліворуч точки дослідження. Різниця між правим і лівим максимумом кожного дискретного значення сигналу запам'ятовується для подальшого аналізу. Чим більша зміна енергії, тим вищий показник. Встановлюється динамічний поріг розпізнавання для виділення інформативного сигналу з шумів. Щоб визначити початок та кінець інформативного сегменту аналізуються частоти показників зміни енергії сигналу, що перевищують встановлений динамічний поріг розпізнавання. Досліджується кожний показник і якщо зліва від нього не зустрічається показники вище порогу, а справа зустрічаються – це фіксується як початок сегменту. Якщо зліва такі показники зустрічаються, а справа ні – то це фіксується як кінець сегменту. Також отримані дані про локальні максимуми енергій містять інформацію про періоди між тонами і дають змогу проводити аналіз і діагностику показників ритму діяльності серця.

Динамічне коригування порогу розпізнавання сигналу досягається аналізом частотності амплітуд локальних максимумів коливань. Амплітуди локальних максимумів коливань шуму зустрічаються набагато частіше ніж розподілені максимуми нестационарного сигналу. На основі піку частот і робиться висновок про прийнятний поріг розпізнавання.

Після сегментації виконується наступний етап – вилучення інформативних параметрів (англ. feature extraction) [7 – 10]. Фонокардіограма містить крім інформативних багато неінформативних параметрів, які набагато збільшують обсяг оброблюваних даних, але не мають істотного значення для діагностики. Перспективним способом вилучення інформативних параметрів є частотно-часове представлення сигналу з наступною обробкою.

Частотно-часове представлення сигналів. Для аналізу періодичних сигналів, якими є сигнали серця S1 і S2, зазвичай застосовують перетворення Фур'є, яке доцільно здійснювати за швидкими алгоритмами. За допомогою перетворення Фур'є можна визначити частотний склад фонокардіограми, виділити тони і шуми. Проте перетворення Фур'є за своєю суттю призначене для аналізу лише стаціонарних сигналів, тобто сигналів з незмінними у часі характеристиками. Характеристики фонокардіограми змінюються у часі і залежать від багатьох чинників. Зміни параметрів фонокардіограми у часі є важливими діагностичними ознаками, наприклад інтервал часу між компонентами звуку S2 дає змогу діагностувати певні захворювання серця. Отже, для вилучення повної інформації з фонокардіограми її слід аналізувати як у частотній, так і у часовій області. Для аналізу сигналів у частотно-часовій області застосовується короткотермінове перетворення

Фур'є, здатне аналізувати виділену спеціальною ваговою функцією (вікном) частину сигналу на певному інтервалі часу. Зміщуючи вагову функцію вздовж аналізованого сигналу можна отримати частотно-часовий спектр сигналу. Завдяки переходу з частотної у частотно-часову область аналізу короткотермінове перетворення Фур'є дає змогу отримати значно більше діагностичних ознак і тим самим підвищити рівень діагностики. Недоліком короткотермінового перетворення Фур'є є однакова роздільна здатність по частоті на всіх частотах аналізу.

Аналіз фонокардіограм з керованою роздільною здатністю по частоті і за часом доцільно здійснювати за допомогою вейвлет-аналізу [5]. На відміну від Фур'є-аналізу, де у якості опорних функцій використовуються синусні і косинусні функції нескінченної тривалості, у вейвлет-аналізі у якості опорних використовуються коливальні функції скінченної тривалості і нульовим середнім значенням, які дістали назву вейвлетів (англ. wavelet – маленька хвиля). Вейвлет-перетворення сигналу $x(t)$ описується співвідношенням

$$W(s, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t - \tau}{s}\right) dt, \quad (2)$$

де $\psi_{s, \tau}(t) = (1/\sqrt{s}) \cdot \psi((t - \tau)/s)$ – опорна вейвлет-функція; $\psi(t)$ – материнська функція; s, τ – параметри масштабування і зсуву.

Опорні функції вейвлет-аналізу – вейвлети отримують розтягуванням (стискуванням) і зміщенням у часі основної опорної функції, так званої материнської функції (англ. mother function). Для проведення вейвлет-аналізу сигналів дослідниками було запропоновано кілька видів материнських функцій: Morlet, Meyer, Mexican hat тощо.

Розтягування (стискування) материнської функції керується параметром s (англ. scale-масштаб) і еквівалентно переміщенню аналізу по частотній осі. При розтягуванні материнської функції збільшується її період коливання, тобто зменшується частота аналізу і виділяються низькочастотні компоненти сигналу, а при стискуванні – навпаки, зменшується період коливань, збільшується частота і виділяються високочастотні компоненти. Зміщення материнської функції вздовж осі часу забезпечує роздільну здатність аналізу за часом.

Для підтвердження теоретичних положень у MathLab/Simulink були проаналізовані фонокардіограми здорових пацієнтів і з різними відхиленнями за допомогою перетворення Фур'є, короткотермінового перетворення Фур'є і вейвлет-перетворення.

Висновки. Застосування неінвазивного і відносно недорогого методу діагностики діяльності серця на основі аналізу фонокардіограм за допомогою сучасних інформаційних технологій і реалізованих на базі цифрової і мікропроцесорної техніки має значні переваги порівняно з іншими методами. Порівняльний аналіз результатів показує, що вейвлет-аналіз дає змогу вилучати найбільш повну інформацію з фонокардіограм, що допомагає діагностувати відхилення від норми не тільки загального серцевого ритму (тахікардія, брадикардія), а й такі патології як стенози, недостатність аортального клапана тощо.

Список літератури: 1. Tavel M.E. Cardiac auscultation: a glorious past-and it does have a future? / M.E. Tavel // Circulation. – 2006. – Vol. 13 (9). – P. 1255-1259. 2. Rangayyan R.M. Phonocardiogram Signal Analysis: A review / R.M. Rangayyan, R.J. Lehner // CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering. – 1988. – Vol. 15 (3). – P. 211-236. 3. Obaidat M.S. Phonocardiogram signal analysis: techniques and performance comparison / M.S. Obaidat // J. Med. Eng. Technol. – 1993. – Vol. 17 (6). – P. 221-227. 4. Durand L.-G. Digital signal processing of the phonocardiogram: review of the most recent advancements / L.-G. Durand, P. Pibarot // Critical Review in Biomedical Eng. – 1995. – Vol. 23. – P. 163-219. 5. Dokur Z. Heart sound classification using wavelet transform and incremental self-organizing map / Z. Dokur, T. Ölmez // Digital Signal Processing: A Review Journal. – 2008. – Vol. 18. – P. 951-959. 6. Jeyarani A.D. Feature Extraction from Heart sound signal for Anomaly Detection / A.D. Jeyarani, J. Singh Thomas // IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security. – 2011. – Vol. 11 (9). – P. 132-140. 7. Debbal S.M. Computerized Heart Sounds Analysis / S.M. Debbal // Discrete Wavelet Transforms – Biomedical Applications. – 2011. – P. 63-90. 8. Wood J.C. Time-frequency transforms: a new approach to first heart sound frequency dynamics / J.C. Wood, A.J. Buda, D.T. Barry // IEEE Trans. Biomed. Eng. – 1992. – Vol. 39 (7). – P. 730-740. 9. Debbal S.M. Features for Heartbeat Sound Signal Normal and Pathological / S.M. Debbal, F. Bereksi-Reguig // Recent Patents on Computer Science. – 2008. – № 1. – P. 1-8. 10. Ari S. Detection of cardiac abnormality from PCG signal using LMS based least square SVM classifier / S. Ari, K. Hembram, G. Saha // Expert Systems with Applications. – 2010. – Vol. 37. – P. 8019-8026.

Надійшла до редакції 25.03.2013

Статтю представив д-р техн. наук, проф. НТУУ "КПІ" Сильвестров А.М.

УДК 621.317

Звуковые сигналы деятельности сердца и их анализ в частотно-временной области / Поворознюк Н.И., Черный К.В. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 156 – 161.

Исследование звуковых сигналов деятельности сердца (аускультация) является одним из эффективных и недорогих методов ранней диагностики заболеваний сердечнососудистой системы. Звуки сердца (фонокардиограмма) — это низкочастотный, многокомпонентный, нестационарный сигнал, поэтому анализ таких сигналов целесообразно проводить в частотно-временной области. Применение вейвлет-преобразования позволяет повысить разрешающую способность и получить важные информационные характеристики. Библиогр.: 15 назв.

Ключевые слова: аускультация, фонокардиограмма, вейвлет-преобразование.

UDC 621.317

Heart activity sound signals and their analysis in the frequency-time domain
/ **Povorozniuk N.I., Chornyi K.V.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject
issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). –
P. 156 – 161.

Research heart activity sound signals (auscultation) is one of the most effective and inexpensive methods for early diagnosis of diseases of the cardiovascular system. Heart Sounds (fonokardiohrama) is a low-frequency, multicomponent, non-stationary signals, so the analysis of such signals should be doing in the frequency and time domain. Application of wavelet transform to analyze the phonocardiogram allows to increase the resolution and to obtain important information characteristics. Refs.: 15 titles

Keywords: auscultation, phonocardiogram, wavelet transform.

УДК 004.89: 004.93

К.А. РУЧКИН, канд. физ.-мат. наук, доц., ГУВЗ "ДонНТУ", Донецк,
Е.А. ШЕВЧЕНКО, аспирант, ГУВЗ "ДонНТУ", Донецк

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ СФЕРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРОСТРАНСТВЕ

В данной работе продолжены исследования, посвященные решению задачи поиска нескольких сферических поверхностей по заданному трехмерному массиву точек в пространстве. Предложен подход, позволяющий локализовать в пространстве такие объекты и вычислить их параметры. Рассмотрены пути сокращения вычислительной сложности предложенного алгоритма. Ил.: 1. Библиогр.: 8 назв.

Ключевые слова: сферические объекты в пространстве, поиск нескольких сферических поверхностей, вычислительная сложность.

Постановка проблемы и анализ литературы.. В настоящее время, в связи с развитием трехмерных сканеров, сенсоров Kinect и других технических средств анализа трехмерного пространства, появляется все большее количество задач, связанных с обнаружением и локализацией в пространстве различных трехмерных объектов [1]. Эти задачи решаются с помощью обобщения классического преобразования Хафа на трехмерный случай [2]. Обобщенное преобразование Хафа для 3D данных (3D GHT – 3D Generalized Hough Transform) позволяет находить в трёхмерном массиве (облаке) точек единичные объекты произвольной формы (плоскость, сфера, цилиндр, конус). Основным недостатком обобщенного метода является высокая сложность алгоритма.

Обобщению преобразования Хафа на трехмерный случай посвящены работы [1 – 6]. Рассмотрим их подробнее.

В работе [2] описан новый подход к обнаружению 3D объектов произвольной формы в заданном облаке точек пространства. Представлено расширение обобщённого преобразования Хафа, позволяющее находить заданные объекты в облаке точек, которые получены из данных лазерного дальномера.

В работе [3] описывается метод восстановления 3D моделей зданий из снимков двухмерных изображений. Метод основан на определении уровней детализации. Рассматривается каждый из трёх уровней детализации. Также в работе рассматривается применение преобразования Хафа для обнаружения границ зданий.

В работе [4] описан быстрый, точный алгоритм с низкой вычислительной сложностью, позволяющий определить локализацию лица. Этот алгоритм надежно работает в жестких условиях сцены и при

различных позициях лица на ней. Он использует пространственное маскирование зон цвета лица в нормализованное воспринимаемое оттенок-насыщенность-яркость пространство, где применяется фильтр Canny. Далее области лица аппроксимируются эллипсами ограниченных пропорций с использованием нечеткого преобразования Хафа.

В работе [5] предлагается ориентационно-инвариантный метод, основанный на изучении локальных особенностей, которые помогают обнаруживать и определять положение моделей в пространстве, принадлежащих классам объекта. Это обобщение метода Неявной Формы Модели (ISM) для 3D случая с измененной схемой голосования.

В работе [6] описывается применение расширенного обобщенного преобразования Хафа в облаке 3D точек для биометрических приложений. В частности, описывается процесс обнаружения координат лица по обнаруженному кончику носа, который обнаруживается с помощью преобразования Хафа. Входящими данными выступает трехмерное облако точек, полученное сканированием лица.

В работах [7 – 8], хотя и рассматривается обобщенный алгоритм Хафа, однако не рассмотрена возможность поиска нескольких пространственных объектов.

Целью данной работы является разработка эффективного обобщенного преобразования Хафа для поиска нескольких пространственных сферических объектов (сфер).

Пространственное преобразование Хафа. Обобщенное преобразование Хафа для 3D данных (3D GHT) позволяет находить в трёхмерном облаке точек заданные объекты произвольной формы и вычислять их положение в пространстве. Метод построен на основании обобщенного преобразования Хафа для 2D данных. Главным отличием трёхмерного от двумерного преобразования является то, что вектора градиента, заменяются векторами нормалей, которыми задаётся трёхмерный объект. Вектора нормалей получаются путём вычисления расстояний от точек объекта до, так называемой, опорной точки. Опорная точка может находиться в любом месте пространства, но вполне ожидаемым вариантом в плане сокращения длин векторов является размещение этой точки в предполагаемом геометрическом центре объекта. Для получения точек границ объекта можно воспользоваться триангуляцией этого объекта или другими доступными методами.

Для каждой точки границы объекта вычисляем длину вектора нормали. Кроме длины, основными свойствами этих векторов являются ещё углы ориентации ψ и ϕ , где ϕ – задает угол проекции вектора на плоскость OXY к оси OX; ψ – задаёт угол вектора к оси OZ. Аналогично

двумерному случаю построим R-таблицу, задающую трехмерный объект. В трехмерном случае вместо одномерной таблицы будет двумерная, каждому вектору соответствуют два угла – ψ и φ . Закрепив за каждым номером ячейки строго определённые углы, восстановим точки в пространстве, которыми задан объект. Располагая опорную точку в определённом месте пространства, сможем найти вектор расстояния от каждой точки параметризируемого объекта до опорной точки. Таким образом, можно вычислить три параметра для каждого полученного вектора – два угла (α и β) и расстояние r :

$$r = [(x_p - x_c)^2 + (y_p - y_c)^2 + (z_p - z_c)^2]^{1/2},$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{z_p - z_c}{r}\right), \quad \beta = \arccos\left(\frac{x_p - x_c}{r \sin(\alpha)}\right),$$

где x_p, y_p, z_p – координаты точки, принадлежащей объекту; x_c, y_c, z_c – координаты опорной точки.

Теперь рассмотрим процесс поиска параметризованного ранее объекта в облаке точек данных. Преобразовав предыдущие формулы, сможем вычислить координаты этой искомой точки.

Создадим трёхмерный аккумуляторный массив, в котором будем хранить информацию об опорных точках. Зная позицию ячейки в массиве, сможем восстановить координаты опорной точки, закреплённой за этой ячейкой. Каждую точку облака точек данных, подставляя в вышеописанные уравнение, а так же последовательно подставляя все значения r, α, β из R-таблицы, получим координаты опорной точки. Ячейку аккумуляторного массива, закреплённую за этой точкой, на каждом шаге увеличиваем на единицу.

Выполним преобразование для всего облака точек и получим заполненный аккумуляторный массив. Найдя ячейку в этом массиве с максимальным значением, сможем восстановить значение опорной точки, а соответственно и положение самого искомого объекта. Значение этой ячейки будет описывать количество точек исходного облака точек, которые принадлежат объекту.

Поиск сферы в пространстве. Обобщённое преобразование Хафа для 3D данных может успешно применяться для распознавания сферы или сферической поверхности. Сферическая поверхность – это замкнутая поверхность, созданная из бесконечного множества точек, равноудалённых от некоторой точки. В случае сферы целесообразно

чтобы опорная точка совпадала с центром сферы. При этом длина вектора от опорной точки до любой точки сферы будет одинаковой и равной радиусу сферы. Это избавляет от необходимости построения R-таблицы распознаваемого объекта и ставит необходимым условием знать только радиус искомой сферы, и сокращает количество операций. Поиск сферы в пространстве с помощью данного метода описывается следующим алгоритмом:

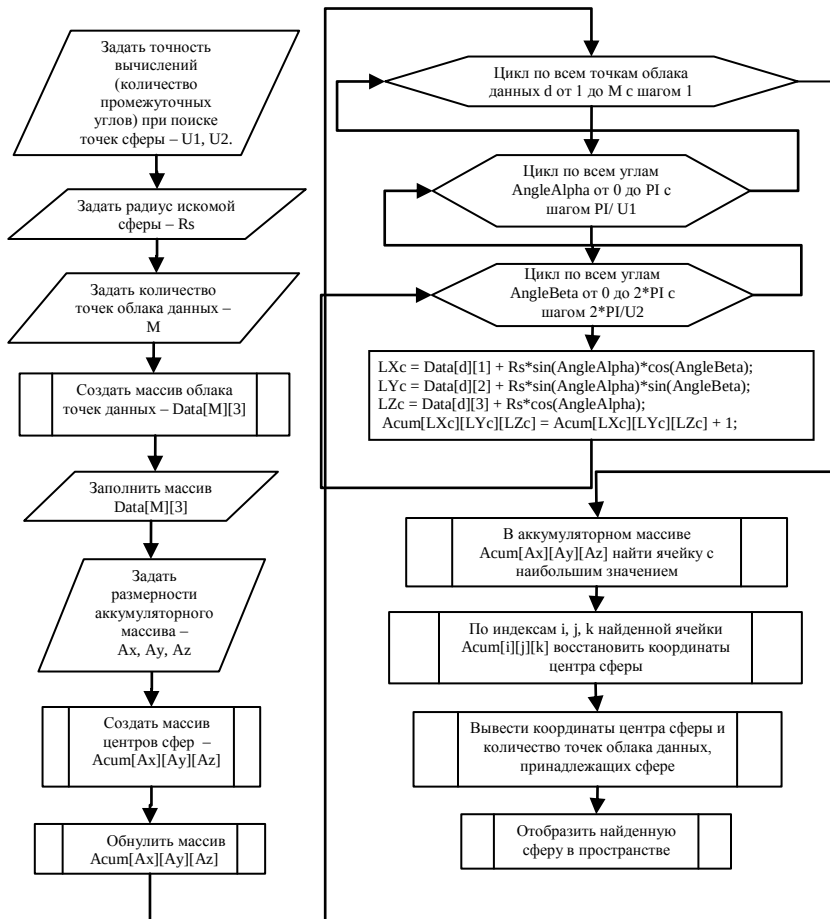


Рис. Блок-схема алгоритма преобразования Хафа для поиска сферы в трёхмерном пространстве

Поиск нескольких сфер в одном накопительном массиве. Рассмотрим задачу поиска нескольких сфер, заданного радиуса в облаке точек. Пусть при поиске каждого нового объекта аккумуляторный массив заполняется заново и выполняется следующий алгоритм.

1. Заполнение аккумуляторного массива.
2. Поиск глобального максимума в нем.
3. Восстановление исходного объекта по найденному максимуму и сохранение его параметров.
4. Поиск среди всех точек входящих данных тех, которые принадлежат найденному объекту и удаление этих точек из исходной выборки.
5. Если число оставшихся точек меньше порога (или другое условие остановки алгоритма), то выводим на экран результаты поиска или сохраняем их в файл, иначе переход к шагу 1.

Как видно из описанного алгоритма, он позволяет находить не только параметры найденных объектов, но и точки входящей выборки, которые ему принадлежат. Недостатком этого алгоритма является увеличение времени поиска в N раз по сравнению с поиском одного объекта, где N – количество найденных объектов. Также время выполнения увеличивается из-за того, что для каждого найденного объекта должны быть найдены точки исходной выборки, принадлежащие ему, и удалены. При этом время заполнения аккумуляторного массива на порядок больше времени, необходимого для поиска максимума в нем.

Способы повышения эффективности алгоритма. Рассмотрим возможность сокращения времени поиска нескольких объектов.

Первый подход основан на предположении, что локальные максимумы накопительного массива, соответствующие искомым объектам, расположены на достаточном расстоянии друг от друга. С помощью этого удастся исключить шаги повторного заполнения аккумуляторного массива, удаления точек из исходной выборки. Это, в свою очередь, почти в N раз сокращает время выполнения (где N – число искомых объектов).

Другой подход основан на анализе вида аккумуляторного пространства. Так, если в решаемой задаче заранее известен радиус сферы, то сферу в аккумуляторном пространстве можно задать с помощью координат её центра. Размерность аккумуляторного пространства можно задать произвольно, но чем она больше, тем меньше будут возможные отклонения от искомого центра сферы. Таким образом, при увеличении размерности аккумуляторного массива отклонение

положения найденного радиуса от его эталонного значения будет уменьшаться.

Уменьшить количество вычислений можно также, если известны границы поиска центра сферы. Для этого необходимо проанализировать входящую выборку точек (вероятностный подход). Пусть заранее неизвестны зоны, в которых точки могут располагаться более плотно и зоны их меньшей плотности. Тогда будем предполагать, что наши точки распределены в пространстве равномерно. Далее находим границы подпространства, в которое попадают все точки и координаты минимума и максимума среди входящих точек для каждой оси.

Выводы. В работе исследовано обобщённое пространственное преобразование Хафа. Получен алгоритм поиска одного или нескольких сферических объектов в пространстве, основанный на преобразовании Хафа. Предложены способы сокращения вычислений алгоритма за счет использования информации о количестве объектов, их размере и расположении в пространстве.

Список литературы: 1. Ручкин К.А. Метод обнаружения окружностей в пространстве по трехмерному массиву данных / К.А. Ручкин // Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта: Материалы международной научной конференции (Херсон, 2012) / Херсонский национальный технический университет. – Херсон: Херсонский национальный технический университет, 2012. – С. 405-406. 2. Khoshelham K. Extending Generalized Hough Transform to detect 3D objects in laser range data / K. Khoshelham // IAPRS Volume XXXVI, Part 3. – 2007. – P. 206-210. 3. Arefi H. Levels of detail in 3D building reconstruction from lidar data / H. Arefi, J. Engels, M. Hahn and others / Stuttgart: Stuttgart University of Applied Sciences; Munich: Bundeswehr University Munich, 2008. – 490 p. 4. Pietrowcew A. Face detection in color images using fuzzy Hough transform / A. Pietrowcew // Opto-Electronics Review. – 2003. – Vol. 11 (3). – P. 247-251. 5. Knopp J. Orientation Invariant 3D Object Classification using Hough Transform Based Methods / J. Knopp, M. Prasad, L. Van Gool // 3DOR'10. – ACM, New York, 2010. – P. 15-20. 6. Bevilacqua V. Extending Hough Transform to a Points' Cloud for 3D-Face Nose-Tip Detection / V. Bevilacqua, P. Casorio, G. Mastronardi // Advanced Intelligent Computing Theories and Applications. With Aspects of Artificial Intelligence. – Springer Berlin Heidelberg, 2008. – P. 1200-1209. 7. Ручкин К.А. Разработка компьютерной системы для построения и анализа сечений Пуанкаре / К.А. Ручкин // Искусственный интеллект. – 2009. – № 1. – С. 83-87. 8. Левчук Ю.А. Алгоритм нахождения линий дорожной разметки / Ю.А. Левчук, А.Г. Новиков, В.Г. Дзюба // Электроника и связь. – 2009. – № 4 – 5. – С. 277-279.

Надійшла до редакції 25.03.2013

Статью представил д-р. физ.-мат. наук, проф. ДонНТУ Шелепов В.Ю.

УДК 004.89, 004.93

Метод виявлення кількох сферичних об'єктів у просторі / Ручкін К.А., Шевченко Е.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 162 – 168.

У даній роботі продовжені дослідження, присвячені вирішенню завдання пошуку декількох сферичних поверхонь у просторі, заданих тривимірним масивом крапок. Запропоновано підхід, що дозволяє локалізувати в просторі такі об'єкти та обчислити їхні параметри. Докладно досліджена обчислювальна складність запропонованого алгоритму. Лл.: 1. Бібліогр.: 8 назв.

Ключові слова: сферичні об'єкти у просторі, пошук декількох сферичних поверхонь, обчислювальна складність.

UDC 004.89, 004.93

Methods for detection of several spherical objects in space / Ruchkin K.A., Shevchenko E.O. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 162 – 168.

In this work the researches devoted to the decision of the task of search of several spherical surfaces in space, the points set by a three-dimensional array are continued. The approach allowing to localize in space such objects and to calculate their parameters is offered. Explicitly computing complexity of the offered algorithm is researched. Figs.: 1. Refs.: 8 titles

Keywords: spherical objects in space, search of several spherical surfaces, computing complexity.

УДК 004.451.53

А.Л. СТОЛЯРЕВСКАЯ, канд. пед. наук, доц., Восточно-украинский филиал Международного Соломонова университета, Харьков,
Ю.А. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, доц., НПП "Хартрон-Аркос", Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ ПАКЕТА R ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ С ИНЕРЦИАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА

Рассмотрен пример статистической обработки базы данных, составленной для 30 субъектов, деятельность которых контролировалась с помощью инерциальных датчиков: акселерометров и гироскопов. При помощи пакета R построено правило классификации, позволяющее однозначно идентифицировать вид деятельности человека по сигналам инерциальных датчиков без привлечения видеоинформации. Ил.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: статистическая обработка, база данных, акселерометры, гироскопы, классификация, вид деятельности человека.

Постановка проблемы. Распознавание деятельности человека является важной областью систем искусственного интеллекта. Принято считать, что цель распознавания деятельности человека – это автоматизированный анализ (или интерпретация) событий из видеоданных [1 – 4]. Приложения автоматизированного анализа включают системы мониторинга, системы наблюдения за пациентами, а также ряд систем, которые включают взаимодействие между людьми и электронными устройствами, такими как интерфейс "человек-компьютер". Большинство из этих приложений требует распознавания высокоуровневой деятельности, которая часто состоит из нескольких простых (или атомных) действий человека. Мы будем рассматривать способ распознавания индивидуальной деятельности человека простого уровня.

Современные смартфоны обычно включают в себя трехкомпонентные акселерометр и гироскоп. Данные, записанные с этих датчиков, могут быть использованы для анализа движения телефона (и, что то же самое, для анализа движения человека, который его носит). Авторы работы [5] выполнили тысячи измерений на субъектах, имеющих подобный смартфон и выполняющих различные виды деятельности. Полученные данные стали доступными для широкого использования в

машинном обучении.

База данных активности человека [6] была составлена для 30 субъектов, осуществляющих деятельность с закрепленным на талии смартфоном Samsung Galaxy S II, который был снабжен встроенными инерциальными датчиками. Записывались три проекции линейных ускорений и три проекции угловых скоростей человека на оси связанного с ним правого ортогонального базиса OXYZ при постоянной частоте записи 50 Гц. Оси базиса OXYZ связаны с субъектом деятельности следующим образом: ось OX направлена по вертикали вверх, ось OY – по направлению движения вперед и ось OZ дополняет базис до правого. Эксперименты были записаны на видео для маркировки данных о деятельности субъекта. Сигналы датчиков обрабатывались с применением фильтров, а сигналы акселерометров разделялись на ускорение тела и гравитационную составляющую с использованием фильтра низких частот. Кроме того, вектор состояния субъекта дополнялся такими вычисляемыми параметрами, как максимальные, минимальные и средние значения ускорения и угловой скорости, значения углов между векторами главного ускорения и гравитационной составляющей, коэффициента корреляции между параметрами. Все измерения были нормализованы.

Вектор состояния, характеризующий деятельность субъекта, содержит 563 компоненты, включая признак, идентифицирующий деятельность, полученный по информации видеосъемки, и номер субъекта. Всего было записано 7352 состояния для 30 наблюдаемых субъектов. База данных содержит 7352 записи с 563 атрибутами в каждой записи.

В работе будем различать шесть видов (классов) деятельности человека: ходьба, ходьба вверх, ходьба вниз, сидение, стояние, лежание.

Постановка задачи состоит в следующем: выполнить анализ данных, полученных в результате эксперимента, и построить правило классификации, позволяющее только по сигналам инерциальных датчиков без привлечения видеoinформации однозначно идентифицировать виды деятельности субъекта.

Анализ литературы. Обработка результатов моделирования, натуральных экспериментов обычно связана с необходимостью проведения статистического анализа массивов данных большого объема. Для этого разработано достаточно много различных компьютерных пакетов, облегчающих процесс обработки данных и анализ полученных результатов. В работе был использован пакет R [7], ориентированный на статистическую обработку данных и работу с графикой. Пакет R является

свободной программной средой с открытым исходным кодом и развивается в рамках проекта GNU. Пакет *R* в настоящее время применяется в тех областях, где принято использовать коммерческие программы анализа данных Matlab и Octave. Он возник как свободный аналог среды S-PLUS, которая, в свою очередь, являлась коммерческой реализацией языка расчётов S. Язык S распространялся, в основном, в научной среде. В 1993 году пакет был полностью переписан и назван *R*. В пакете *R* реализована система написания дополнений (библиотек). Пакет *R* и его библиотеки хранятся в архиве CRAN [8]. Пакет *R* обеспечивает как первичный анализ данных, так и продвинутое математическое моделирование. Анализ данных заключается в выделении тех факторов из 563 атрибутов базы данных, которые наилучшим образом обеспечивают распознавание деятельности человека. Для этой цели используются иерархическая кластеризация [9], прогнозирование по построенному классификационному дереву [10] и метод опорных векторов [11].

Цель статьи – построить правило классификации данных, позволяющее однозначно идентифицировать вид деятельности человека, с использованием процедур библиотек пакета *R*.

Статистическое моделирование. В ходе моделирования реализована попытка предсказать деятельность человека по измерениям акселерометра и гироскопа с использованием различных видов деревьев классификации.

Сначала из множества данных были выделены два подмножества: обучающее и тестовое. Обучающее подмножество содержит данные наблюдений за субъектами 1, 3, 5, 6 и 7, а тестовое подмножество содержит данные наблюдений за субъектами 26 – 30.

Уровень ошибки в работе определяется как уровень ошибочной классификации, который равен отношению числа неверно классифицированных наблюдений к общему числу наблюдений, используемых в прогнозе.

В результате определения максимально влияющего фактора для каждого вида деятельности были выявлены следующие наиболее информативные факторы: минимальное значение проекции ускорения на ось OZ "tBodyAcc-min()-Z" для класса "ходьба"; авторегрессионный коэффициент евклидовой нормы угловой скорости субъекта "tBodyGyroMag-arCoeff()1" для класса "стояние"; среднеквадратическое отклонение проекции ускорения на ось OZ "tBodyAcc-std()-Z" для классов "ходьба вниз", "ходьба вверх"; авторегрессионный коэффициент

проекции гравитационного ускорения на ось ОХ "tGravityAcc-arCoeff()-X1" для классов "лежание", "сидение".

Эти факторы были использованы для построения классификационного дерева. Ошибка, соответствующая классификации по этому дереву, оказалась достаточно высокой (0,3697).

После дополнительного анализа атрибутов базы данных был получен другой вид классификационной модели. Дерево классификации приведено на рис. 1.

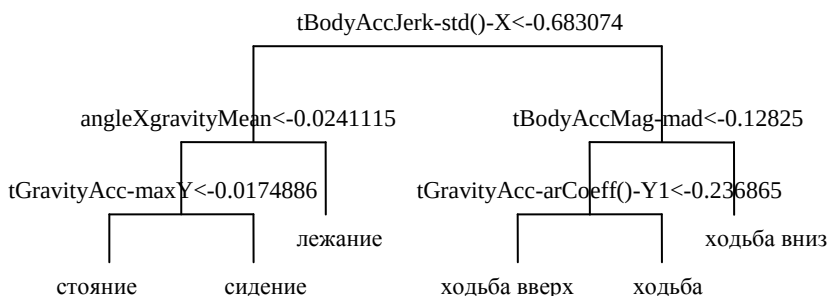


Рис. 1. Дерево классификации

Анализ рис. 1 показывает, что высокая частота всплесков ускорений по оси ОХ (fBodyAccJerk-std()-X) соответствует ходьбе субъекта, низкая частота – состоянию покоя (стояние, сидение, лежание). Угол между осью ОХ и гравитационной составляющей (angleXgravityMean) позволяет разделить лежание и вертикальное положение, а максимальное значение проекции гравитационного ускорения на ось ОУ позволяет идентифицировать стояние и сидение (tGravityAcc-maxY). Ходьба хорошо классифицируется величиной евклидовой нормы ускорения субъекта (fBodyAccMag-mad): при движении вниз эта величина больше, чем при движении в горизонтальной плоскости и, тем более, при движении вверх. Данные движения разделяются путем анализа авторегрессионного коэффициента проекции гравитационного ускорения на ось ОУ (tGravityAcc-arCoeff()-Y1).

На рис. 2 показано разделение данных на классы по тестовому подмножеству.

Анализ результатов. По обучающим и тестовым данным были получены результаты разделения на классы с использованием

классификационных деревьев. Ошибки классификации в обоих случаях в среднем составили 0,12.

С целью улучшения точности классификации использовался метод опорных векторов.

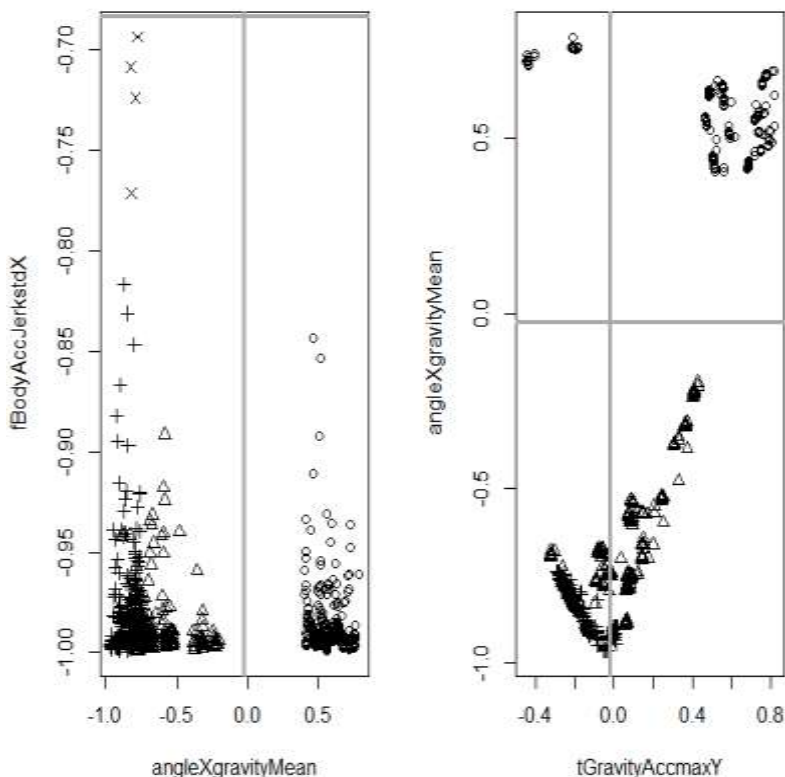


Рис. 2. Результаты классификации данных по тестовому подмножеству:
Δ – сидение; o – лежание; + – стояние; × – ходьба

В табл. 1 и 2 приведены результаты классификации с использованием метода опорных векторов по обучающему и тестовому множествам.

Применение метода опорных векторов позволило существенно повысить точность классификации: до 99,1% и 99,8% для обучающего и тестового подмножеств, соответственно.

Таблица 1

Результаты по обучающему множеству

Деятельн.	Лежание	Сидение	Стояние	Ходьба	Ходьба вниз	Ходьба вверх	Ошибка
Лежание	273	0	0	0	0	0	0,0000
Сидение	0	233	2	0	0	0	0,0085
Стояние	0	13	278	0	0	0	0,0447
Ходьба	0	0	0	323	0	0	0,0000
Ходьба вниз	0	0	0	0	240	0	0,0000
Ходьба вверх	0	0	0	0	0	261	0,0000

Таблица 2

Результаты по тестовому множеству

Деятельн.	Лежание	Сидение	Стояние	Ходьба	Ходьба вниз	Ходьба вверх	Ошибка
Лежание	335	0	0	0	0	0	0,0000
Сидение	0	274	1	0	0	0	0,0036
Стояние	0	3	282	0	0	0	0,0105
Ходьба	0	0	0	260	0	0	0,0000
Ходьба вниз	0	0	0	0	225	0	0,0000
Ходьба вверх	0	0	0	0	0	243	0,0000

Выводы. Результаты моделирования, проведенного при помощи процедур библиотек пакета *R*, показывают, что, применяя такие инструменты статистического анализа данных, как иерархическая кластеризация, классификационные деревья и метод опорных векторов, можно построить формальное правило классификации, позволяющее по информации с инерциальных датчиков (без использования видеоинформации) достаточно строго идентифицировать вид деятельности человека. Правило основано на выявленной связи между видом деятельности человека и отдельными атрибутами данных. Точность классификации при использовании классификационных деревьев составляет 90%. Применение метода опорных векторов позволило приблизиться к 100% точности.

Результаты работы могут быть использованы для идентификации видов деятельности человека, когда дистанционный мониторинг с традиционным использованием различных оптических устройств наблюдения затруннен.

Список литературы: 1. Aggarwal J.K. Tutorial on Human Activity Recognition – Frontiers of Human Activity Analysis. – 2011 [Электронный ресурс] / J.K. Aggarwal, S. Michael, R. Kitani, K. Kitani // Режим доступа: <http://cvrc.ece.utexas.edu/mryoo/cvpr2011tutorial>. 2. ICPR – HARL 2012 Human activities recognition and localization competition [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://liris.cnrs.fr/harl2012>. 3. Laptev I. Human Action Recognition INRIA. Ecole Normale Supérieure, Paris, France INRIA Computer Vision and Machine Learning Summer School Grenoble, July 26-30, 2010 [Электронный ресурс] / I. Laptev // Режим доступа: http://www.di.ens.fr/willow/events/cvml2010/materials/INRIA_summer_school_2010_Ivan.pdf. 4. Liu H. Perceptual Computing, Intel Rogerio Feris, IBM T.J. Watson Research Center Ming-Ting Sun, University of Washington 6/21/2012 Benchmarking Human Activity Recognition CVPR2012 2011 [Электронный ресурс] / H. Liu // Режим доступа: <http://www.vap.aau.dk/cvpr2012/pdf/Liu.pdf>. 5. Anguita D. Human Activity Recognition on Smartphones using a Multiclass Hardware-Friendly Support Vector Machine. (IWAAL 2012). Pages 216-223, Springer-Verlag Berlin, 2012 [Электронный ресурс] / D. Anguita, A. Ghio, L. Oneto, X. Parra, J. Reyes-Ortiz // Режим доступа: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2437888>. 6. UCI Machine Learning Repository. Center for Machine Learning and Intelligent Systems, 2012 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Human+Activity+Recognition+Using+Smartphones>. 7. The R Project for Statistical Computing, 1993 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.r-project.org>. 8. CRAN Comprehensive R Archive Network, 2013 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://cran.r-project.org>. 9. R documentation. Hierarchical Clustering, 2013 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://stat.ethz.ch/R-manual/R-patched/library/stats/html/hclust.html>. 10. R documentation. Predictions from a Fitted Tree Object, 2013 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://rss.acs.unt.edu/Rdoc/library/tree/html/predict.tree.html>. 11. SVM-Tutorial using R (e1071-package), 2012 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://planatscher.net/svmtut/svmtut.html>.

Поступила в редакцию 20.03.2013

После доработки 29.04.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Бреславский Д.В.

УДК 004.451.53

Застосування пакету R при аналізі даних з інерціальних датчиків для моніторингу діяльності людини / Столяревська А.Л., Кузнецов Ю.О. // Вісник НТУ "ХПИ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 169 – 176.

Розглянуто приклад статистичної обробки бази даних, складеної для 30 суб'єктів, діяльність яких контролювалася за допомогою інерціальних датчиків: акселерометрів і гіроскопів. За допомогою пакета R побудовано правило класифікації, що дозволяє однозначно ідентифікувати вид діяльності людини за сигналами інерціальних датчиків без залучення відеоінформації. Іл.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: статистична обробка, база даних, акселерометри, гіроскопи, класифікація, вид діяльності людини.

UDC 004.451.53

Using the R package in the analysis of data from the inertial sensors for the monitoring of human activity / Stolyarevska A., Kuznyetsov Y. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 169 – 176.

An example of the statistical analysis of the database, made up from 30 subjects, whose activities had being monitored by the inertial sensors: accelerometers and gyroscopes, is considered. The classification rule that allows unique identification of human activities on the signals of inertial sensors without using video was constructed by using R-package. Figs.: 2. Tabl.: 2. Refs.: 11 titles.

Keywords: statistical analysis, database, accelerometers, gyroscopes, classification, human activity.

УДК 681.513:620.1

А.В. ТЕЛІШЕВСЬКА, аспірантка, НТУ "ХПИ",
А.І. ПОВОРОЗНЮК, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ"

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МОДЕЛІ МЕДИЧНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

В роботі розглядається формалізація вхідної інформації при діагностиці неврологічних захворювань. Проаналізовано можливість застосування методів нечіткої логіки і штучних нейронних мереж. Виконана структурна та параметрична ідентифікація моделі медичної системи на базі нечіткої логіки для побудови комп'ютерної системи підтримки прийняття рішення при діагностиці неврологічних захворювань. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: діагностика, неврологічне захворювання, ідентифікація, модель, нечітка логіка.

Постановка проблеми й аналіз літератури. Для діагностики неврологічних захворювань (НЗ) проводиться комплекс досліджень, які дозволяють оцінити збереженість чи порушення кровоплину головного мозку та визначити місця крововиливів (ультразвукове дослідження сонних артерій, ангіографія – рентгенологічне обстеження судин). Крім того, проводиться клінічний аналіз крові для визначення порушень здатності крові до згортання, що сприяють утворенню тромбів, або, навпаки, кровоточивості. Проводиться електрокардіографія (ЕКГ) або ультразвукове дослідження серця (ехокардіографія) для виявлення серцевих джерел тромбів, які можуть, відірвавшись, пересуватися в судини головного мозку [1]. Необхідним етапом побудови комп'ютерної системи підтримки прийняття рішення при діагностиці неврологічних захворювань є етап синтезу математичної моделі об'єкта діагностики та ідентифікація моделі медичної системи.

Найбільш вражаючою властивістю людського інтелекту є здатність приймати правильні рішення при неповній і нечіткій інформації [2]. Побудова моделей, наближених до роздумів людини, і використання їх у комп'ютерній системі (КС) представляє сьогодні одну з найважливіших проблем науки. Провідними компонентами концептуального підходу до прогнозування процесів, що відбуваються, під час застосування більшості методів стохастичного факторного аналізу є: об'єктивне визначення мети, головних завдань та об'єкта (об'єктів) моделювання, які враховують особливості функціонального стану організму і особливості умов перебування, передусім особливості впливу численних зовнішніх чинників; аналіз вихідних даних; вибір найбільш доцільних методів

© А.В. Телішевська, А.І. Поворознюк, 2013

прогнозування та, на цій підставі, математична формалізація моделі; ґрунтовна перевірка та верифікація адекватності побудованої моделі; аналіз та практична, передусім індивідуалізована, прогностично-змістова інтерпретація одержаних результатів [3 – 5].

Однак такий підхід, незважаючи на його достатньо високу ефективність та адекватність поставленим задачам, на жаль, має і цілу низку недоліків, головними з яких слід вважати певну схематичність та однобічність, необхідність нагромадження великих масивів іноді зовсім непотрібної статистичної інформації, та складність змістовної інтерпретації кінцевих результатів, що отримані. Тому надзвичайно важливим завданням сучасної медичної інформатики є пошук адекватних, простих, зручних для широкого практичного використання і, разом з тим, інформативних методів [6, 7]. Саме такими слід визнати методи прогнозування на підставі створення експертних систем, в основі яких знаходяться фундаментальні положення нечіткої логіки (НЛ) і штучних нейронних мереж (ШНМ) [8, 9].

Метою роботи є структурна та параметрична ідентифікація моделі медичної системи на базі нечіткої логіки.

Порівняльний аналіз методів прогнозування на базі ШНМ та НЛ. В формалізованому виді структура причинно-наслідкових зв'язків, що мають місце при діагностиці неврологічних захворювань, може бути описана як наступна система співвідношень (1) – (4):

$$d_i = f_d(X_1, X_2, X_3), \quad i = \overline{1, 6}, \quad (1)$$

$$X_1 = f_{X_1}(X_1^1, X_1^2, \dots, X_1^8), \quad (2)$$

$$X_2 = f_{X_2}(X_2^1, X_2^2, \dots, X_2^8), \quad (3)$$

$$X_3 = f_{X_3}(X_3^1, X_3^2, \dots, X_3^5), \quad (4)$$

де d_i – певний діагноз (d_1 – геморагічний інсульт, d_2 – ішемічний інсульт, d_3 – епілепсія, d_4 – радикуліт, d_5 – енцефаліт, d_6 – мігрень); X_1 – множина діагностичних показників, які характеризують неврологічний стан пацієнта (X_1^1 – показники черепномозкових нервів, X_1^2 – показники рухової сфери, X_1^3 – показники менінгальної контрактури, і т.д.), X_2 – множина показників, одержаних при лабораторних дослідженнях (X_2^1 – рівень глюкози в крові, X_2^2 – показники загального аналізу сечі, X_2^3 – показники загального аналізу

крові і т.д.), а X_3 – множина показників нейровізуальних досліджень (X_3^1 – показники ЕКГ, X_3^2 – показники УЗД, X_3^3 – показники ЕХО-ЕЕС, X_3^4 – показники МРТ головного мозку, X_3^5 – показники КТ) [10].

Прогнозування на базі ШНМ. Використання ШНМ надає можливість моделювати стан об'єкта, на який впливає велика кількість чинників, які визначають прогноз (діагноз) для певного об'єкта. Виходом нейрону в ШНМ є стан його активності, рівень якого визначається за формулою (5):

$$Y_i(t+1) = f_i\left(\sum_{j=1}^m w_{ji}[x_j(t) + \varepsilon_j(t)]\right), \quad (5)$$

де $Y_i(t+1)$ – стан активності вихідного нейрона; $i = \overline{1, n}$; n – число нейронів вихідного шару; f_i – функція активації нейрона; w_{ji} – вага зв'язку j -го нейрона вхідного шару з i -м нейроном вихідного шару; $x_j(t)$ – стан активності j -го вхідного нейрона, $j = \overline{1, m}$; $\varepsilon_j(t)$ – довільний зовнішній чинник.

Вхідні сигнали надходять до нейронів першого шару, які після обробки даних передають інформацію на наступний шар. Нейрони останнього шару спрямовують інформацію на виходи мережі. В результаті роботи ШНМ створюється певна математична модель досліджуваного об'єкта, яку достатньо важко чітко описати, завдяки тому, що вона "закодована" у зв'язках між нейронами мережі. Разом з тим розроблена модель надзвичайно ефективно функціонує і реально моделює результати дуже близькі до тих, які отримано експериментально. Для задачі, що розглядається, застосування ШНМ пов'язане з труднощами формування вектору вхідних сигналів при різнотипних множинах вхідних показників згідно (2) – (4).

Прогнозування на базі НЛ дозволяє здійснити опис причинно-наслідкових зв'язків між вхідними показниками та конкретним прогнозом або діагнозом у вигляді висловлювань природною мовою, і отже, надає можливість провести логічну формалізацію експертного висновку. Прогностична оцінка стану здоров'я на основі НЛ включає наступні етапи: здійснення експертної оцінки ступеня взаємозалежності результуючих ознак, і вхідних діагностичних показників (1 етап); визначення меж мінливості кожної з ознак, (2 етап); створення спеціальної бази знань (БЗ), головними компонентами якої є нечіткі множини параметрів стану конкретного індивідууму та нечіткі ієрархічно побудовані логічні висловлення типу "якщо – то" (3 етап); здійснення

прогнозування стану здоров'я з використанням універсальної оболонки нечіткої експертної системи (4 етап); перевірка ступеня адекватності отриманого прогнозу шляхом його порівняння з верифікованими варіантами практичних спостережень або супутнім прогнозом кваліфікованих фахівців–експертів (5 етап).

Структурна і параметрична ідентифікація моделі системи.

Задача побудови математичної моделі медичної системи за результатами спостережень (задача ідентифікації) вирішується в два етапи. Перший етап – структурна ідентифікація – являє собою формування нечіткої БЗ, що відображає зв'язок між входами і виходом моделі за допомогою k лінгвістичних правил (ЛП) типу "ЯКЩО-ТО". Також визначаються типи функцій належності (ФН) $\mu^{jp}(X_i)$ ($j=\overline{1,k}, p=\overline{1,r_j}, i=\overline{1,n}$, де r_j – кількість термів вхідних змінних в j -му ЛП, n – розмірність вхідного вектора X) та задаються початкові значення їх параметрів.

На другому етапі проводиться параметрична ідентифікація досліджуваної залежності шляхом знаходження таких параметрів нечіткої БЗ, які мінімізують відхилення модельних та експериментальних даних (навчання з учителем). Налаштованими параметрами є ФН $\mu^{jp}(X_i)$ нечітких термів і ваги правил ω_j . Налаштування нечіткої БЗ здійснюється наступним чином. Нехай модель залежності $Y = f(X)$ задана нечіткою БЗ. Також нехай існує навчальна вибірка з M пар навчальних даних, що зв'язують входи з виходом досліджуваної залежності $Y_k = f(X_k)$, $k=\overline{1,M}$, де $X_k = (x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})$ – вхідний вектор в k -й парі навчальної вибірки, Y_k – відповідний вихід.

Позначимо: P – вектор параметрів функцій належності термів вхідних і вихідних змінних; W – вектор вагових коефіцієнтів правил БЗ; $F(P, W, X_k)$ – результат виведення з нечіткою БЗ з параметрами P і W при значенні входів X_k . Згідно методу найменших квадратів, настройка нечіткої БЗ зводиться до задачі математичного програмування: знайти такий вектор (P, W) , щоб нев'язка

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{k=1}^M (Y_k - F(P, W, X_k))^2} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Дана задача відноситься до класу знаходження мінімуму функції декількох змінних з обмеженнями і може бути вирішена різними технологіями оптимізації, серед яких часто застосовується метод найшвидшого спуску, квазіньютонівські методи або генетичні алгоритми.

Висновки. В даній роботі проведена структурна та параметрична ідентифікація моделі медичної системи. Для інтерпретації результату необхідно отриману сукупність оцінок розбити на групи, відповідні деяким множинам вхідних ознак неврологічного захворювання.

Список літератури: 1. Нервові хвороби / С.М. Віничук, Є.Г. Дубенко, Є.Л. Мачерет та ін. / За ред. С.М. Віничука, Є.Г. Дубенка. – К.: Здоров'я, 2001. – 696 с. 2. Ластед Л. Введение в проблему принятия решений в медицине / Л. Ластед. – М.: Мир, 1971. – 284 с. 3. Круглов В.В. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голуны. – М.: Физматлит, 2001. – 221 с. 4. Блюмин С.Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С.Л. Блюмин, И.А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с. 5. Герасимов Б.М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности / Б.М. Герасимов, М.М. Дивизнюк, И.Ю. Субач. – Севастополь: Научно-исследовательский центр вооруженных сил Украины "Государственный океанариум", 2004. – 320 с. 6. Штовба С.Д. Идентификация нелинейных зависимостей с помощью нечеткого логического вывода в системе MATLAB / С.Д. Штовба // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – М.: Softline, 2003. – № 2. – С. 9–15. 7. Алтуни А.Е. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях / А.Е. Алтуни, М.В. Семухин. – Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с. 8. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с. 9. Асаи К. Прикладные нечеткие системы / К. Асаи, Д. Ватада, С. Иваи и др. / Под ред. Тэрано Т. – М.: Мир, 1993. – 368 с. 10. Телишевська А.В. Формалізація вхідної інформації для діагностики неврологічних захворювань / А.В. Телишевська, А.І. Поворознюк // Матеріали науково-практичної конференції "MicroCad 2011". – Харків. – 2011. – С. 162 – 167.

Надійшла до редакції 25.03.2013

УДК 681.513:620.1

Идентификация модели медицинской системы на базе нечеткой логики / Телишевская А.В., Поворознюк А.И. // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 177 – 181.

В работе рассматривается формализация исходной информации при диагностике неврологических заболеваний. Проанализирована возможность применения методов нечеткой логики и искусственных нейронных сетей. Выполнена структурная и параметрическая идентификация модели медицинской системы на базе нечеткой логики для построения компьютерной системы поддержки принятия решения при диагностике неврологических заболеваний. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: диагностика, неврологическое заболевание, идентификация, модель, нечеткая логика.

UDC 681.513:620.1

Model identification system based on fuzzy data / Telishevskaya A.V., Povoroznyuk A.I. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – №. 39 (1012). – P. 177 – 181.

In this paper we consider the formalization of the initial information for the diagnosis of neurological diseases. The possibility of application of fuzzy logic and artificial neural networks. Performed structural and parametric identification of a model of health systems based on fuzzy logic to build a computer decision support system for the diagnosis of neurological diseases. Refs.: 10 titles.

Keywords: diagnosis, neurological disease, identification, model, fuzzy logic.

УДК 621.98:512.55 (076)

О.А. ТУЗЕНКО, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ "Приазовский государственный технический университет", Мариуполь,
В.В. КУХАРЬ, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ " Приазовский государственный технический университет", Мариуполь,
Е.Ю. БАЛАЛАЕВА, канд. техн. наук, ст. преп., ГВУЗ " Приазовский государственный технический университет", Мариуполь,
А.В. ДУБИНИНА, старший инженер-программист, ОАО "Азовсталь", Мариуполь

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В ПЛАНИРОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТА МЕТОДОМ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА

Разработана методика и программное обеспечение для проведения сравнительного анализа математических моделей процессов или явлений, полученных методами полного и факторного экспериментов. В результате получено, что оптимальными критериями адекватности математических моделей являются критерии Фишера и Манна-Уитни. Ил.: 1. Библиогр.: 11 назв.

Ключевые слова: планирование эксперимента, сравнительный анализ, полный и факторный эксперимент, программное обеспечение.

Постановка проблемы. В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем при проведении экспериментальных исследований является проблема извлечения максимального количества полезной информации об исследуемом явлении или процессе при минимальных затратах. При недостаточном знании механизмов протекания процессов целесообразно построение математических моделей с использованием метода планирования эксперимента. В связи с тем, что при решении различных производственных задач не всегда существует возможность выполнять достаточное количество требуемых экспериментов, возникает необходимость проведения сравнительного анализа с целью выявления наиболее рационального метода для построения математических моделей, адекватно описывающих соответствующие процессы или явления.

Анализ литературы. Перед исследователем, выбравшим для построения математической модели метод планирования эксперимента, часто возникает необходимость выбора между получением отдельных и независимых оценок коэффициентов математической модели, которые обеспечивает полный факторный эксперимент (ПФЭ), и снижением

затрат с помощью сокращения количества опытов, которое позволяет дробный факторный эксперимент (ДФЭ). Однако необходимо учитывать, что сокращение числа опытов не позволяет оценить раздельно эффекты факторов и эффекты взаимодействия, что приводит к смешанным оценкам [1], для их выявления необходимо использовать генерирующие соотношения и определяющие контрасты [1, 2]. Анализ литературных источников показал, что выбор метода планирования эксперимента для построения математической модели исследуемого процесса в основном осуществляется интуитивно и основан только на личном опыте исследователей [3]. Например, авторы [4], основываясь на схеме планирования ДФЭ для 4 уровней по методу Д. Финни [5], предлагают осуществлять построение ортогональной матрицы планирования на 3 – 5 уровнях. Построение плана эксперимента основывают также на латинском квадрате [6], однако такой подход не дает возможности оценить взаимодействие между факторами. В химической промышленности часто используют насыщенные симплекс-решетчатые планы [7, 8], однако они содержат минимально возможное число экспериментальных точек, поэтому требуют дополнительных точек для оценки адекватности. Поскольку затруднительно выявить, с помощью какого метода лучше проводить построение математических моделей того или иного процесса или явления, в данной работе проводится сравнительный анализ математических моделей, полученных методами полного и дробного факторного эксперимента, основанных на планах первого порядка. С помощью данных методов возможно построение простой линейной модели или полиномиальной модели (модели с учетом взаимодействия факторов) [9 – 11].

Цель статьи – построение математических моделей с помощью методов полного факторного эксперимента и дробного факторного эксперимента, проведение сравнительного анализа полученных моделей для выявления наиболее целесообразного метода математического моделирования с помощью механизмов планирования эксперимента для конкретного процесса, а также создание программного обеспечения, позволяющего производить математическое моделирование методами полного и дробного факторного эксперимента и осуществлять сравнительный анализ математических моделей, полученных различными методами планирования эксперимента.

Построение математических моделей. В общем виде линейная модель может быть представлена следующим образом:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i, \quad (1)$$

где Y – функция отклика или исследуемый параметр; b_j , $j = \overline{0, n}$ – коэффициенты уравнения регрессии; x_i – значение i -го фактора в безразмерной системе координат; n – количество факторов, влияющих на исследуемый параметр.

Полиномиальная модель может быть представлена следующим образом:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i < j < \dots < n} b_{ij\dots n} x_i \cdot x_j \cdot \dots \cdot x_n, \quad (2)$$

где $b_0, b_i, b_{i,j,\dots,n}$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Проведение сравнительного анализа. Сравнительный анализ состоит в применении того или иного статистического критерия – Q-критерия Розенбаума, W-критерия Вилкоксона, Фишера или Манна-Уитни [10, 11]. Наиболее мощными критериями, которые позволяют точно определить различия даже между выборками малого объема, являются критерии Фишера и Манна-Уитни [10, 11]. F-критерий Фишера – статистический параметрический критерий, который используется для сравнения параметров двух выборок. Поскольку основными параметрами модели являются дисперсия коэффициентов, дисперсия адекватности математической модели, а также дисперсия воспроизводимости исследуемого процесса именно эти параметры и были выбраны для проведения сравнительного анализа моделей по критерию Фишера. Для применения критерия Фишера необходимо вычислить дисперсии коэффициентов, адекватности и воспроизводимости для математических моделей, полученных методами ПФЭ и ДФЭ, а затем для каждого вида дисперсий произвести вычисление расчетного значения критерия по формуле:

$$F_{ras} = \frac{\sigma_{min}^2}{\sigma_{max}^2}, \quad (3)$$

где F_{ras} – расчетное значение критерия Фишера; σ_{min}^2 – минимальная дисперсия; σ_{max}^2 – максимальная дисперсия.

Для того чтобы определить, существует ли различие между рассматриваемыми дисперсиями, необходимо сравнить расчетное значение с табличным. Если расчетное значение превышает табличное или равно ему, то можно сделать вывод, что различия между дисперсиями, а, следовательно, и между выборками, существенны. Это означает, что можно сделать вывод о преимуществах какого-либо из методов планирования эксперимента над другим. Табличное значение критерия Фишера вычисляется по формуле:

$$F_{tabl} = F_{tabl}(n_1', n_2'), \quad (4)$$

где F_{tabl} – табличное значение критерия Фишера; n_1', n_2' – степени свободы для дисперсий.

U-критерий Манна-Уитни – непараметрический статистический критерий, используемый для оценки различий между двумя выборками по уровню какого-либо признака, измеренного количественно. Этот метод определяет, достаточно ли мала зона перекрещивающихся значений между ранжированным рядом значений параметра в первой выборке и таким же рядом во второй выборке. При этом, чем меньше будет получено значение критерия, тем вероятнее, что различия между значениями параметра в выборках достоверны.

Для применения U-критерия Манна-Уитни нужно определить значение U-критерия Манна-Уитни по формуле:

$$U = n_1 \cdot n_2 + 0,5 \cdot n_x \cdot (n_x + 1) - T_x, \quad (5)$$

где U – расчетное значение критерия Манна-Уитни; n_1 – число элементов в первой выборке; n_2 – число элементов во второй выборке; n_x – число элементов в выборке с большей суммой рангов; T_x – большая сумма рангов, и по таблице для избранного уровня статистической значимости определить критическое значение критерия для данных по числу элементов в каждой из выборок.

Если расчетное значение критерия меньше табличного или равно ему, то признается наличие существенного различия между уровнем признака в рассматриваемых выборках, иначе принимается гипотеза об отсутствии существенных различий между данными выборками. Достоверность тем выше, чем меньше расчетное значение критерия.

Разработка программного обеспечения. Поскольку разработка программного обеспечения для построения математических моделей исследуемых процессов значительно сокращает время на проведение экспериментальных исследований, а также, исходя из всего, указанного

выше, необходимость создания программного продукта, способного строить математические модели планирования эксперимента и проводить их сравнительный анализ, очевидна. В связи с этим было разработано программное обеспечение.

Программа позволяет осуществлять ввод и редактирование начальных условий и результатов эксперимента, производить вычисление всех этапов планирования эксперимента, проверку процесса на воспроизводимость, вычисление и определение значимости коэффициентов регрессии, построение и оценку адекватности математической модели.

После построения математических моделей по одинаковым исходным данным с помощью ПФЭ и ДФЭ в разработанном программном обеспечении предусмотрена возможность проведения сравнительного анализа по критериям Манна-Уитни и Фишера. Таким образом, результатами работы программы являются математические модели процессов или явлений, содержащие данные о факторах в кодированном виде и в натуральном масштабе, выводы об адекватности полученных моделей, а результатами проведения сравнительного анализа являются выводы о превосходстве метода ПФЭ или ДФЭ для конкретного процесса. Также предусмотрена возможность вывода на печать результатов моделирования и сравнительного анализа, а также графическая интерпретация полученных результатов.

В качестве экспериментальных данных для математического моделирования были выбраны данные по процессу кузнечной осадки выпуклыми продолговатыми плитами. На основании результатов проведения предварительных экспериментов производилось построение математических моделей методами ПФЭ 2^5 , ДФЭ 2^{5-1} и ДФЭ 2^{5-2} . С целью выявления наиболее рационального метода планирования реального эксперимента для математических моделей, полученных различными методами на основании одинаковых исходных данных, был проведен сравнительный анализ по критериям Манна-Уитни и Фишера, а также были построены сводные графики для ПФЭ и ДФЭ, которые демонстрировали отличия математических моделей ПФЭ и ДФЭ. На основании результатов сравнительного анализа, было сделано заключение, что наиболее оптимальным методом для построения математических моделей процесса формоизменения заготовок при кузнечной осадке выпуклыми плитами является дробный факторный эксперимент 2^{5-1} . Это заключение основано на том, что коэффициенты моделей, полученных данным методом, отличаются от моделей, полученных методом ПФЭ, только в сотых долях. Помимо этого,

сравнительный анализ по критерию Фишера и Манна-Уитни не показал существенных различий между методами ПФЭ и ДФЭ. К тому же, дробный факторный эксперимент 2^{5-1} позволяет сократить количество опытов в два раза по сравнению с ПФЭ и, в отличие от ДФЭ 2^{5-2} , не приводит к потере значимых факторов и их взаимодействий.

Выводы. Таким образом, разработана методика сравнительного анализа математических моделей и универсальное программное обеспечение, позволяющее проводить построение и оценку адекватности математических моделей с помощью полного и дробного факторных экспериментов, а также осуществлять их сравнительный анализ по критериям Фишера и Манна-Уитни. Разработанная методика позволяет определить оптимальный метод математического моделирования конкретного процесса или явления, произвести минимизацию количества опытов, необходимых для построения математической модели, не приводящую к потерям значимых факторов и их взаимодействий.

Список литературы: 1. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха, И.А. Потяженко. – К.: Вища школа, 1980. – 264 с. 2. Боровиков С.М. Математические методы в конструировании и технологии радиоэлектронных средств / С.М. Боровиков. – Минск: БГУИР, 2009. – 101 с. 3. Жирабок А.Н. Планирование эксперимента для построения математических моделей / А.Н. Жирабок // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Том 7. – № 9. – С. 121–127. 4. Неизвестная С.В. Планирование эксперимента для исследования процесса синтеза блочных изделий на основе нанопериодических силикатных и алюмосиликатных материалов / С.В. Неизвестная, А.А. Ермаков // Вопросы современной науки и практики. – Севастополь: ТНУ им. В.И. Вернадского. – 2011. – № 2 (33). – С. 401 – 406. 5. Яворский В.А. Планирование научного эксперимента и обработка экспериментальных данных / В.А. Яворский. – Долгопрудный: Изд-во Моск. физ.-техн. ин-та (гос. ун-т), 2006. – 24 с. 6. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. / Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания / Под ред. Р.С. Судакова, О.И. Тескина. – 1989. – 375 с. 7. Казова Р.А. Исследование взаимодействия в системе $\text{Ca}_{10}[\text{PO}_4]_6\text{F}_2 - \text{SiO}_2 - \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 - \text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$ методом симплекс-решетчатого планирования / Р.А. Казова // Изв. АН КазССР. – 1990. – № 1. – С. 3–7. 8. Трепов И.В. Селективное применение аспарагиновой кислоты и глутамин в экстрактах на основе гидрофильных растворителей / И.В. Трепов, О.А. Пахомова, С.И. Нифталиев, Я.И. Коренман // Проблемы теоретической и экспериментальной химии. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2006. – С. 49 – 50. 9. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Перевод с англ. под ред. Э.К. Лейко. – М.: Мир, 1981. – 520 с. 10. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии / Е.В. Сидоренко. – СПб.: Речь, 2004. – 350 с. 11. Холлендер М. Непараметрические методы статистики / М. Холлендер, Д.А. Вулф. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 518 с.

Поступила в редакцию 30.06.2012

После доработки 27.06.2013

Статью представил д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. информатики ГВУЗ "Приазовский государственный технический университет" Гранкин В.П.

УДК 621.98:512.55 (076)

Дослідження математичних моделей у плануванні експерименту методом порівняльного аналізу / Тузенко О.О., Кухар В.В., Балаласва О.Ю., Дубиніна А.В.
// Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 182 – 188.

Розроблена методика і програмне забезпечення для проведення порівняльного аналізу математичних моделей процесів або явищ, отриманих методами повного або дрібного факторних експериментів. У результаті найбільш оптимальними критеріями адекватності математичних моделей є критерії Фішера і Манна-Уїтні. Бібліогр.: 11 назв.

Ключові слова: планування експерименту, порівняльний аналіз, повний і дрібний факторний експеримент, програмне забезпечення.

UDC 621.98:512.55 (076)

Research of mathematical models in design of experiments by the method of comparative analysis / Tuzenko O.A., Kukhar V.V., Balalayeva E.Yu., Dubinina A.V.
// Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 182 – 188.

The method and soft for realization of comparative analysis of mathematical models of processes and effects, which were received by methods of complete factorial and fractional factorial experiments, are developed. In result the most optimal goodness of fit of mathematical models are Fisher's and Munn-Whitney criterion. Refs.: 11 titles.

Keywords: design of experiments, comparative analysis, complete and fractional factorial experiment, soft.

УДК: 669.1.046.554:669.15-198:519.87

В.Д. ТУТАРОВА, канд. техн. наук, доц. ФГБОУ ВПО

Магнитогорский государственный технический университет,
Магнитогорск, Россия

Ю.В. СНЕГИРЕВ, аспирант, ФГБОУ ВПО Магнитогорский
государственный технический университет, Магнитогорск, Россия

СРАВНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ РАСТВОРЕНИЯ РЕАГЕНТОВ В ЖИДКОЙ СТАЛИ

В статье анализируются математические модели растворения реагентов в жидкой стали при внепечной обработке. Сравнение моделей производится по следующим критериям: исходным данным, по температуре плавления реагентов, условиям окончания процесса расплавления, геометрическим параметрам вводимых реагентов. Для систематизации сведения о моделях представлены в виде ментальных карт. Ил.: 3. Библиогр.: 14 назв.

Ключевые слова: математическая модель, расплавление, реагент, внепечная обработка стали, критерии, ментальная карта.

Постановка проблемы и анализ литературы. На данном этапе развития науки и техники математическое моделирование находит всё более широкое применение во всех отраслях науки и техники. Исключением не стала и металлургия. В этой области активно эксплуатируются математические модели, охватывающие не только стратегии управления производством и целыми предприятиями, но и отдельные технологические процессы и даже конкретные их аспекты.

Металлургическое производство состоит из множества переделов. В работе рассматривается один из сталеплавильных переделов, а именно – внепечная обработка.

Ввод твердых реагентов в жидкий расплав – один из видов внепечной обработки. Реагенты могут поставляться в виде проволоки, порошковой проволоки и кусков различной фракции. В зависимости от температуры плавления различаются также механизмы их расплавления. При получении высококачественной стали этими факторами нельзя пренебрегать.

Однако экспериментальные исследования механизмов расплавления реагентов в условиях действующего производства весьма затруднены в связи с высокой стоимостью и большими затратами человеческих ресурсов. "Холодные" модели могут быть недостаточно приближены к действительности, поэтому одним из возможных достоверных средств

исследования данных процессов остаётся математическое моделирование.

В отличие от этапов выплавки и непрерывной разливки стали [1 – 8] вопросам и проблемам внепечной обработки уделено незначительное количество работ. В частности, математическое моделирование процесса расплавления реагентов в жидком металле рассмотрено в работах А.Ю. Никулина [9], коллектива авторов в составе В.И. Жучкова, А.С. Носкова и А.Л. Завьялова [10], Д.Х. Девятова [11], коллектива авторов в составе М. Radune, A. Radune, F. Assous*, M. Zinigrad [12], а также Y.C. Rodriguez, G.G. Muzquiz, J.R.P. Torres, L.E.R. Vidaurre [13].

Цель статьи – анализ математических моделей расплавления реагентов в жидком металле при внепечной обработке для выявления их достоинств и недостатков.

Для достижения поставленной цели необходимо решение ряда задач:

- группировка моделей согласно решаемой задаче;
- выделение критериев сравнения математических моделей растворения реагентов в жидком металле при внепечной обработке;
- сравнение существующих моделей согласно выделенным критериям;
- выявление достоинств и недостатков существующих моделей.

Критерии сравнения математических моделей. При анализе математических моделей, изложенных в работах [9 – 13], было выявлено, что описанные модели обладают различной степенью детализации, однако в них прослеживаются как общие черты, так и существенные различия. Рассматриваемые модели можно классифицировать в зависимости от решаемой задачи на две группы. В основе моделей, описанных в [9 – 11], лежит решение уравнения теплопроводности, тогда как в моделях [12, 13] – расчет концентрации химического элемента. Предварительный анализ описаний математических моделей показал, что выделение четких критериев необходимо не только для их сравнения, но и для реализации программных продуктов на их основе.

Были выделены следующие критерии сравнения моделей [9 – 11]:

- исходные данные: начальные, граничные условия и т.д.
- классификация реагентов по температуре плавления;
- условия окончания расплавления реагента;
- предлагаемая схема решения дифференциальных уравнений теплопроводности;

- учёт дополнительных факторов, например, конвективного теплообмена, потерь тепла через футеровку ковша и за счёт излучения с поверхности;

- применимость: геометрическая форма реагента (проволока, шар, цилиндр), момент присадки и др.

Ввиду обширности критериев сравнения для описания моделей было принято решение о применении ментальных карт одинаковой структуры. Данное представление обладает повышенной наглядностью и удобством чтения и должной полнотой описания [14].

Модель А.Ю. Никулина. Ментальная карта модели представлена на рис. 1. Поясним некоторые компоненты ментальных карт. Началом каждой из карт является название модели с указанием её автора. Ветвь "Учет факторов" показывает, какие факторы, не касающиеся расплавления реагентов непосредственно, учитываются в модели (например, влияние скорости погружения на тепловой поток через границу реагент-расплав, потери тепла расплава через футеровку и т.д.).

Ветвь "Охват" обозначает, насколько полно в модели рассмотрены потомки этой ветви. К примеру, принимается ли во внимание тепловое состояние ковша в целом, или присутствует ли в модели классификация реагентов по температуре плавления.

Ветвь "Виды реагентов" показывает, для какой геометрической формы реагентов применима модель. Например, для круглой формы реагента, или для реагентов в форме бесконечного цилиндра (проволоки).

Рассматриваемая модель обладает крайне широким охватом. В ней присутствует более подробная классификация реагентов по температуре плавления, чем в других рассматриваемых моделях. Также нельзя не отметить подробную проработку схем растворения всех видов рассматриваемых реагентов. Описаны все шаги алгоритма по расчету согласно предлагаемой схемы решения дифференциальных уравнений теплопроводности – явной, с методом растягивающихся сеток. Однако, выбор явной схемы не совсем удачен, т.к. при программной реализации данной модели с расчетами по предлагаемой схеме может проявиться её неустойчивость. Наконец, в данной модели учитывается зависимость коэффициента теплоотдачи от характера погружения реагента в жидкую сталь, влияние на теплофизические параметры вынужденной и естественной конвекции.

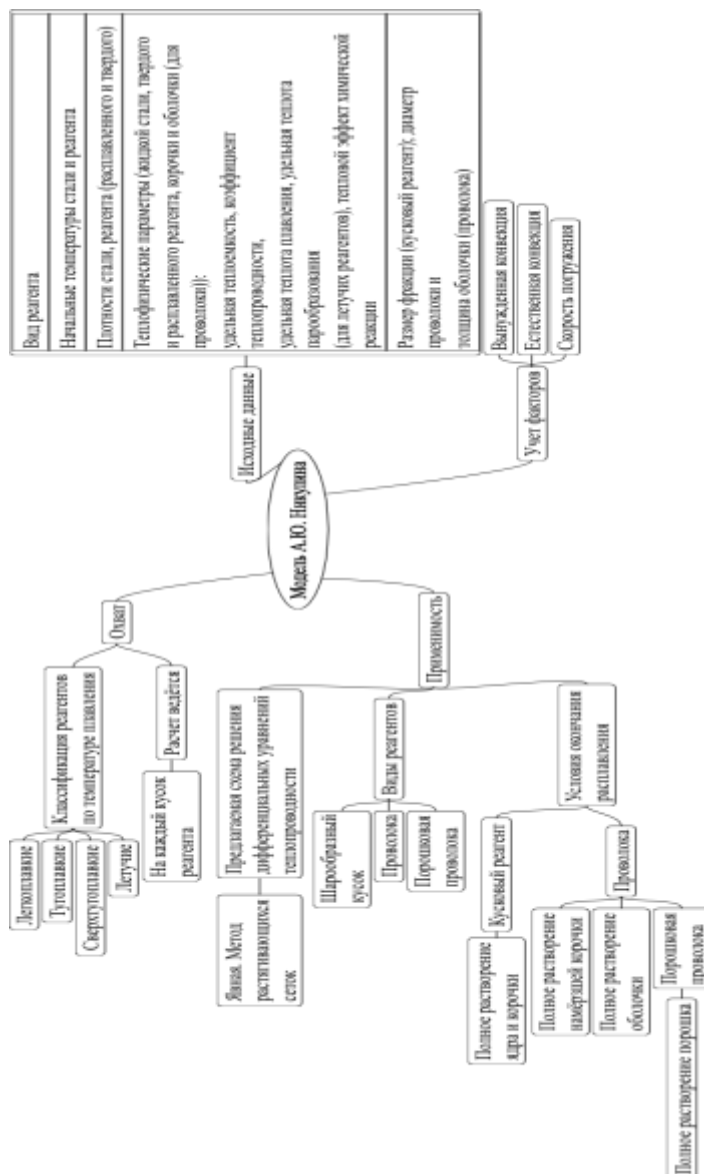


Рис. 1. Ментальная карта математической модели А.Ю. Никулина

В целом, следует заметить, что данная модель отличается большой тщательностью проработки и претендует на всеохватывающую полную описания растворения реагентов в жидкой стали. Её применение возможно как для описания характера расплавления реагентов при выпуске стали из плавильного агрегата (реагенты помещаются в сталеразливочный ковш перед и во время выпуска), так и при присадке во время внепечной обработки на других агрегатах.

Модель В.И. Жучкова, А.С. Носкова и А.Л. Завьялова.
Ментальная карта данной модели представлена на рис. 2.

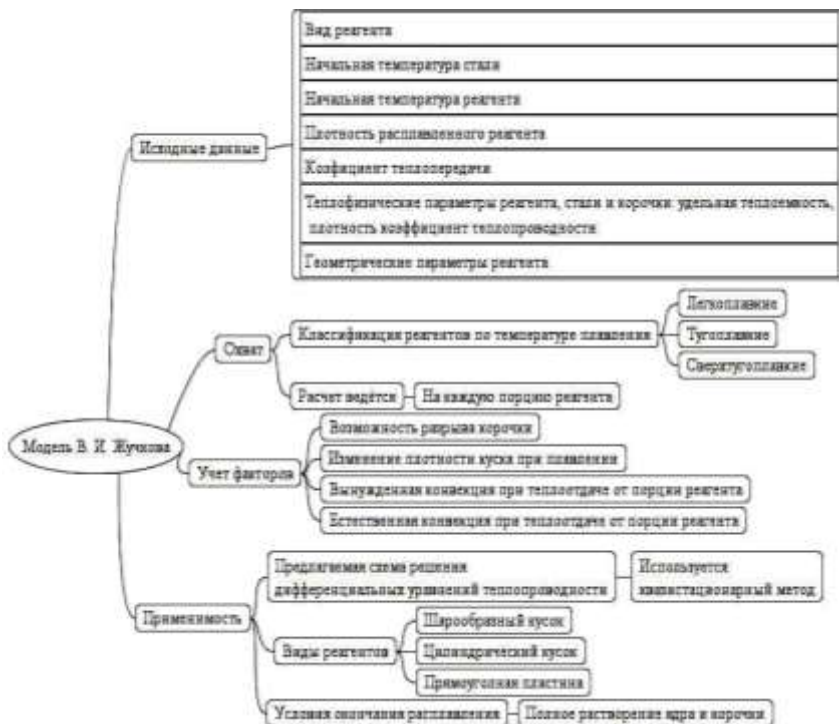


Рис. 2. Ментальная карта математической модели В.И. Жучкова

Согласно представленной ментальной карте следует, что данная модель во многом сходна с предыдущей. Такие параметры, как исходные данные, классификация реагентов по температуре плавления, учет влияния вынужденной и естественной конвекции на теплофизические

параметры вводимого реагента, а также то, как ведётся расчёт – на каждый кусок введенного реагента – в данной модели являются подмножествами предыдущей.

Однако присутствуют и явные различия:

1) формы вводимого реагента (шар, бесконечный цилиндр (проволока) и плоская пластина);

2) в данную модель заложен учёт изменения плотности реагента по мере изменения температуры;

3) для некоторых легкоплавких реагентов авторы предполагают возможность разрушения корочки намерзшего расплава на первоначальном этапе растворения. Однако величина разрушения корочки не учитывается.

Следует заметить, что при описании методики расчета авторы утверждают, что как изменением плотности реагента, так и разрушением корочки можно пренебречь. Это подтверждается экспериментальными данными.

В данной модели описание методики расчета не столь подробно, как в предыдущей. Также отличается и предлагаемый авторами способ решения дифференциальных уравнений теплопроводности: т.к. для инженерных задач наиболее важной характеристикой является время расплавления добавки, то для решения дифференциальных уравнений теплопроводности предлагается использовать квазистационарный метод.

Модель Д.Х. Девятова. Ментальная карта данной модели представлена на рис. 3.

Данная модель в корне отличается от предыдущих, так как при расчете расплавления реагентов учитываются макропараметры всей ванны, а не только некоторой окрестности расплава. Несмотря на то, что в данной модели реагент и его окружение рассматривается как система шаров, концентрически вложенных друг в друга, компоненты этой системы несколько отличаются от предлагаемых в рассматриваемых ранее работах. Внешний шар представляет собой футеровку сталеразливочного ковша, внутренний – реагент. Между ними расположен шар, представляющий расплав. Одним из допущений модели является то, что перенос тепла здесь учитываются только за счет теплопроводности. Однако, здесь также учтены потери тепла расплавом через футеровку за счет теплоотдачи и излучением с поверхности расплава (при отсутствии теплоизолирующей крышки сталеразливочного ковша).



Рис. 3. Ментальная карта математической модели Д.Х. Девятова

К сожалению, в модели недостаточно подробно описан механизм плавления самого куска ферросплава. Можно заключить, что он схож с механизмом, предлагаемым авторами в [10]. Также, в данной модели отсутствует подробное, в отличие от модели [9], описание схемы решения дифференциальных уравнений теплопроводности.

В целом, следует отметить, что эту модель можно было бы усилить, дополнив ее более подробным описанием механизма расплавления реагентов, предложенного в моделях [9] и [10].

Модель [12] рассматривает диффузию компонентов в диффузионно-контролируемых реакциях при высокой температуре, протекающих на границе металл-шлак. В основе данной модели лежит система дифференциальных уравнений массопереноса с учётом конвекции и диффузии. Также, здесь учитывается переход элементов через границу

металл-шлак. Уравнения данной системы являются одномерными по пространственной координате. Для решения полученной системы уравнений авторы предлагают использовать метод конечных разностей с явной схемой. Коэффициенты диффузии, являющиеся компонентами уравнений массопереноса, задаются фиксированными значениями. В рамках предложенной модели концентрации химических элементов рассчитываются не только для металлической, но и для шлаковой фазы, что является неоспоримым достоинством, позволяющим более достоверно отображать суть происходящих явлений. Уравнения решаются в декартовых координатах.

В модели [13] рассматривается технологическая операция – десульфурация чугуна – с применением газопорошковой продувки. Уравнение диффузии, учитывающее кинетический коэффициент, приведено в сферических и цилиндрических координатах, где коэффициент диффузии зависит от температуры металла (в отличие от модели [12], где он зафиксирован). В модели делается допущение о том, что продувочное сопло располагается в центре ковша, скорость вводимого в металл газа постоянна, а поток является осесимметричным.

Данная модель является универсальной, что позволяет применять её не только к десульфурации чугуна, но и к внепечной обработке стали.

В качестве недостатков данной модели можно отметить следующие моменты. Во-первых, в модели не учитываются гидродинамические процессы, что может существенно повлиять на результаты. Во-вторых, продувочное сопло только одно, что не всегда адекватно отражает конструкционные особенности существующих агрегатов.

Выводы. Растворение реагентов можно рассматривать с различных позиций: как растворение каждого отдельного куска, так и с учётом макропараметров сталеразливочного ковша в целом.

Анализируемые модели обладают разной степенью детализации, но все адекватны описываемым процессам и результаты их применения подтверждены экспериментально.

На основе сравнения существующих моделей согласно выделенным критериям были выявлены их достоинства и недостатки, позволившие внести уточнение в ранее разработанную математическую модель расплавления реагентов в жидкой стали при внепечной обработке. Однако следует отметить, что, ни в одной из рассматриваемых моделей не учитывается диффузия расплава внутрь реагента на первоначальном этапе расплавления. Введение в модели учёта данного эффекта позволит получить более полную картину исследуемых процессов.

Модели [12] и [13] позволяют получить распределение концентрации определённого химического элемента по высоте ковша, причём, в случае модели [12] – как в металлической, так и в шлаковой фазе. Однако для ковшей большой ёмкости распределение элемента может существенно варьироваться не только по высоте, но и по сечению ковша на различных уровнях.

Для практического применения наиболее достоверные результаты можно достичь, при одновременном использовании подходов, изложенных в работах [9 – 11] и в работах [12, 13].

Список литературы: 1. Сворцов А.А. Теплопередача и затвердевание стали в установках непрерывной разливки / А.А. Сворцов, А.Д. Акименко. – М.: Металлургия, 1966. – 190 с. 2. Тепловые процессы при непрерывном литье стали: Под редакцией Ю.А.Самойловича. – М.: Металлургия, 1982. – 152 с. 3. Соболев В.В. Теплофизика затвердевания металла при непрерывном литье / В.В. Соболев. – М.: Металлургия, 1988. – 160 с. 4. Ефимов В.А. Разливка и кристаллизация стали / В.А. Ефимов. – М.: Металлургия, 1976. – 552 с. 5. Журавлев В.А. Теплофизика формирования непрерывного слитка / В.А. Журавлев, Е.М. Китаев. – М.: Металлургия, 1974. – 216 с. 6. Емельянов В.А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок / В.А. Емельянов. – М.: Металлургия, 1988. – 143 с. 7. Шмрга Л. Затвердевание и кристаллизация стальных слитков / Л. Шмрга / Пер. с чешск. Под ред. Кашина В.И. – М.: Металлургия, 1985. – 248 с. 8. Бигеев А.М. Металлургия стали / А.М. Бигеев. – Челябинск: Металлургия, 1988. – 479 с. 9. Никулин А.Ю. Математическое моделирование кинетики растворения реагентов при внепечной обработке черных металлов: Дис. ... д-ра техн. наук. – Магнитогорск, 1997. – 340 с. 10. Жучков В.И. Растворение ферросплавов в жидком металле / В.И. Жучков, А.С. Носков, А.Л. Завьялов. – Свердловск, УрО АН СССР, 1990. – 134 с. 11. Девятков Д.Х. Математическое моделирование и оптимальное управление в металлургии: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО "МГТУ", 2007. – 350 с. 12. Radune M. Modelling and computer simulation of reagents diffusion in high temperature diffusion controlled heterogeneous reactions / M. Radune, A. Radune, F. Assous, M. Zinigrad. – Archives of Computational Materials Science and Surface Engineering. – 2009. – Vol. 1. – Iss. 4. – P. 225-231. 13. Rodriguez Y.C. Mathematical Model of Hot Metal Desulfurization by Powder Injection / Y.C. Rodriguez, G.G. Muzquiz, J.R.P. Torres, L.E.R. Vidaurre – Advances in Materials Science and Engineering. – 2012. – 51 p. 14. Бабич А.В. Эффективная обработка информации (Mind mapping) [Электронный ресурс] – URL: <http://www.intuit.ru/goto/course/mindmap> (дата обращения: 15.07.2012).

Поступила в редакцию 05.04.2013

После доработки 01.07.13

Статью представил д-р техн. наук, проф., ГОУ ФБГОУ "МГТУ им. Носова" Девятков Д.Х.

УДК: 669.1.046.554:669.15-198:519.87

Порівняння математичних моделей розчинення реагентів у рідкій сталі / Снегирев Ю.В., Тугарова В.Д. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2013. – № 39 (1012). – С. 189 – 198.

У статті аналізуються математичні моделі розчинення реагентів у рідкому металі при позапічній обробці. Порівняння моделей проводиться за наступними критеріями: вихідним даним, по температурі плавлення реагентів, умовам закінчення процесу розплавлення,

геометричним параметрам реагентів що вводяться. Для систематизації відомості про моделі представлені у вигляді ментальних карт. Іл.: 3. Бібліогр.: 14 назв.

Ключові слова: математична модель, розплавлення, реагент, позапічна обробка, критерії, ментальна карта.

UDC: 669.1.046.554:669.15-198:519.87

Comparison of mathematical models of melting of reagents in liquid steel
/ **Snegirev Yu.V., Tutatrova V.D.** // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2013. – № 39 (1012). – P. 189 – 198.

Mathematical models of melting of reagents in liquid metall during secondary treatment are analyzed in the article. Model comparison is accomplished according to the following criteria: source data, reagents melting temperature, conditions to finish modeling process, geometrical parameters of added reagents. Mind-maps are employed in order to classify data about models. Figs.: 3. Refs.: 14 titles.

Keywords: mathematical model, melting, reagents, secondary metal treatment, criterion, mind-map.

УДК 681.518

Н.А. ЧИКИНА, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ",
И.В. АНТОНОВА, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ",

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РИСКА В СИСТЕМЕ МЕДИЦИНСКОГО СТРАХОВАНИЯ ПРОФПАТОЛОГИЙ

В работе описан метод прогноза риска развития профзаболеваний, основанный на применении конечных неоднородных цепей Маркова. Прогнозируемые значения риска в зависимости от стажа и места работы на предприятии определяются стохастическими матрицами. Полученные оценки риска являются опорными элементами в прогнозировании наступления страхового случая – развития профзаболеваний у рабочих предприятий химико-фармацевтической отрасли. Ил.: 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: профзаболевания, цепи Маркова, стохастические матрицы, оценки риска.

Постановка проблемы и анализ литературы. Одной из форм гарантий получения качественной медицинской помощи при заболевании является наличие медицинской страховки. В мировой практике существует страхование на случай возникновения одного какого-либо заболевания. Такой вид страхования обеспечивает весь спектр медицинских услуг при возникновении заболевания, указанного в страховом полисе [1].

Природа общего индивидуального риска в медицинском страховании и проблемы его применения рассмотрены в [2]. Оценка рисков стала основой здоровья и профилактики профессиональных заболеваний в странах Европы, в частности, в Великобритании. Работодатели несут юридическую ответственность за проведение доказательств оценки риска и обеспечения условий его минимизации [3].

Профессиональные или профессионально обусловленные заболевания способствовали развитию идеи организации системы корпоративного медицинского страхования [4], гарантирующего своевременную их профилактику и лечение. Термин "корпоративное" означает, что данная модель страхования разрабатывается для рабочих предприятий одной отрасли. Решающим в объединении предприятий является общность внешних факторов риска, а также достаточно четко очерченный круг характерных профзаболеваний.

Введение корпоративной системы медицинского страхования на базе внедрения на предприятиях экспертных систем по оценке риска их

развития даст возможность осуществлять персонифицированный контроль за динамикой состояния здоровья рабочих и служащих, предупредить возникновение профессионального заболевания. Такая система медицинского страхования является новым шагом в борьбе с профессиональными заболеваниями. Цели и задачи, четко определенные экономические, юридические, медицинские и некоторые другие социальные аспекты этого вида страхования гарантируют заинтересованность в его введении как профессиональных коллективов рабочих и служащих, так и администрации производства.

Целью настоящей работы является разработка системы поддержки принятия решений в медицинском страховании профпатологий с использованием цепей Маркова на базе математического моделирования состояния здоровья работающих в условиях вредного производства.

Основная часть. При воздействиях химических веществ на уровнях малых интенсивностей, как это имеет место на предприятиях химико-фармацевтической отрасли, наиболее значимыми представляются вопросы, связанные с диагностикой профессионально обусловленных заболеваний на ранней стадии развития, и проблемы адаптации организма к вредным условиям труда [5, 6].

Вследствие токсического воздействия состояние здоровья может характеризоваться либо как патология, либо как состояние относительной нормы. Решающим критерием, отличающим эту относительную норму от патологии, являются достоверные изменения, выходящие за пределы абсолютной нормы и "параллельного контроля" не только частных показателей, а также отдельных функциональных показателей.

Для изучения динамики состояния здоровья и решения задачи выбора соответствующих мер профилактики необходимо структурировать это понятие, представив его в виде ориентированного граф-дерева, вершины которого – состояния $S_i(t_k)$ ($i = \overline{1, n}$) здоровья в дискретные моменты времени t_k ($k = \overline{0, N}$), а ветви – возможные переходы между состояниями S_i . Тогда задача прогнозирования риска развития профессионально обусловленного заболевания в момент времени t_{k+1} при фиксированных внешних условиях сводится к отысканию вероятности p_{ij} перехода системы из состояния $S_i(t_k)$ в состояние $S_j(t_{k+1})$ страхового случая.

Представление процесса эволюции системы под действием внешних и внутренних факторов в виде последовательности переходов между состояниями $S_i(t_k)$ и $S_j(t_{k+1})$, относящимися к смежным моментам времени t_k и t_{k+1} , является эффективным способом исследования динамических систем с дискретным временем.

Сведения о характере выявленных закономерностей динамики состояний здоровья сосредоточены в базе статистических данных, созданной в ходе научно-исследовательских работ сотрудниками НТУ "ХПИ" совместно с ГП НИИВиД АМН Украины [7].

Обоснованием для предоставления той или иной индивидуальной формы рассматриваемого корпоративного страхового полиса станут матрицы условных вероятностей p_{ij} , учитывающие влияние внутренних факторов риска развития профессиональных заболеваний у рабочих предприятий данной промышленной отрасли.

Пусть A медико-биологическая система, в которой протекает дискретный марковский случайный процесс $S(t_k)$ с дискретными "качественными" состояниями $S_1, S_2, \dots, S_n$ и дискретным временем $t_0, t_1, t_2, \dots, t_N$. Это означает, что вероятность перехода системы A в состояние S_j на $(k+1)$ -ом шаге зависит только от того, в каком состоянии S_i находилась система на предыдущем k -ом шаге и не зависит от того, как она вела себя до k -го шага.

Пусть $p_i(t_k)$ ($i = \overline{1, n}$, $k = \overline{0, N}$) – вероятность того, что система A в момент времени t_k будет находиться в состоянии S_i . Для нахождения вероятностей $p_i(t_k)$ необходимо знать условные вероятности $p_{ij}(t_k)$ перехода системы A на $(k+1)$ -ом шаге в состояние S_j , если известно, что на k -ом шаге система была в состоянии S_i . Распределение вероятностей системы A на каждом шаге t_k

определяется по рекуррентной формуле:
$$p_j(t_k) = \sum_{i=1}^n p_i(t_{k-1}) \cdot p_{ij}(t_k).$$

Возможность перехода из состояния S_i в состояние S_j описывается ориентированным графом (рис. 1).

Исследования, проведенные в [8, 9], позволили выделить у рабочих предприятия химико-фармацевтической отрасли следующие четыре состояния: S_1 "Практически здоровый" (ПЗ), S_2 "Группа риска 2" (ГР2),

S_3 "Группа риска 3" (ГР3), S_4 "Группа риска 1, Больные" (ГР1, Б), отражающие наличие у обследованных определенных внутренних факторов риска. При этом S_4 является поглощающим состоянием.

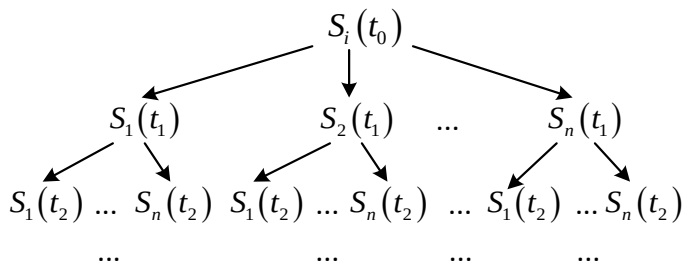


Рис. 1. Граф перехода между состояниями S_i и S_j

Построение стохастических матриц $\|p_{ij}(t_k)\|$ осуществлялось по результатам обработки базы данных обследования рабочих фармацевтической фирмы "Здоровье", г. Харьков [7].

Наступлению страхового случая соответствует переход из состояний S_1 , S_2 или S_3 в состояние S_4 . Введем новые обозначения. Обозначим состояние биологического объекта A через S_1^* , если он находится в состоянии S_1 , S_2 или S_3 , и через S_2^* , если он находится в состоянии S_4 . Соответствующий ориентированный граф изображен на рис. 2.

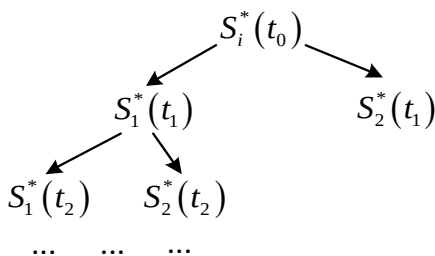


Рис. 2. Граф перехода между состояниями S_i^* и S_j^*

В этом случае матрица переходных вероятностей будет иметь вид:

$$P(t_k) = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{pmatrix}, (k = \overline{0, N}).$$

Так как состояние S_4 является поглощающим, то $p_{21} = 0, p_{22} = 1$ в любой момент времени t_k ($k = \overline{0, N}$). Расчеты по имеющейся базе данных показали, что, например, $p_{12}(t_2) = 0,25$, тогда $p_{11}(t_2) = 0,75$. А матрица переходных вероятностей примет вид: $P(t_2) = \begin{pmatrix} 0,25 & 0,75 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$, а при $t = t_3$: $p_{12}(t_3) = 0,375$, $p_{11}(t_3) = 0,625$ и $P(t_3) = \begin{pmatrix} 0,625 & 0,375 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$.

Сравнение матриц $P(t_2)$ и $P(t_3)$ показывает, что вероятность развития профессионально обусловленных заболеваний возрастает по мере увеличения стажа работы на предприятии с вредными условиями труда. Принятие решений по условиям медицинского страхования профпатологий при оформлении страхового полиса должно производиться на основании комплексной оценки состояния здоровья рабочего с учетом имеющихся факторов риска и оценки риска страхового случая.

Разработанная авторами нечеткая экспертная система (НЭС) оценки риска развития профессионально обусловленных заболеваний [10] учитывает воздействия как внутренних, так и внешних факторов на основе их количественной оценки с последующей дифференциацией уровней риска для каждого работника предприятия. Добавление к НЭС в виде дополнительного модуля результатов настоящих исследований по оценке риска развития профессионально обусловленных заболеваний позволит расширить возможности ее применения при формировании индивидуальных страховых полисов корпоративной системы медицинского страхования профпатологий.

Выводы. Полученные в ходе настоящих исследований результаты совместно с разработанной НЭС составляют систему поддержки принятия решений в разрабатываемом авторами корпоративном медицинском страховании рабочих и служащих предприятий химико-фармацевтической отрасли.

Список литературы: 1. Emmett J.V. Fundamentals of Risk and Insurance, 10th Edition / Emmett J. Vaughan, Therese M. Vaughan. - John Wiley & Sons, Inc., 2008. - 720 p. 2. Melnikov A. Risk analysis in finance and insurance / Alexander Melnikov. - Chapman & Hall/CRC monographs and surveys in pure and applied mathematics, 2004. - 252 p.

3. Walters D. Beyond Limits: Dealing with Chemical Risks at Work in Europe / David Walters, Karola Grodzki. - Emerald Group Publishing Limited, 2006. - 432 p. 4. Чикина Н.А. Математические основы медицинского страхования рабочих и служащих предприятий химической и фармацевтической промышленности / Н.А. Чикина // Дерматология и венерология. - 2004. - № 3 (25). - С. 69-74. 5. Чикина Н.А. Математические модели адаптационных процессов у рабочих предприятий химико-фармацевтической промышленности / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Информационные технологии и компьютерная инженерия. - Винница: ВНТУ - 2009. - № 2 (15). - С. 45-50. 6. Солошенко Э.Н. Автоматизированные информационные системы для диагностики профессионально обусловленных аллергодерматозов на стадии предболезни / Э.Н. Солошенко, Н.А. Чикина, А.В. Спивак / Тезисы научн.-практ. конф. "MicroCAD system", Харьков, 1993. - С. 243-245. 7. Отчет о научно-исследовательской работе "Разработка комплекса мероприятий с автоматизированной системой управления по ранней диагностике, лечению и профилактике больных аллергодерматозами среди рабочих с вредными условиями труда". - № 01.9.10 050715, 1993 г. 8. Чикина Н.А. Изучение влияния внутренних факторов риска на развитие аллергодерматозов у рабочих химико-фармацевтических предприятий / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2007. - № 19. - С. 195-200. 9. Чикина Н.А. Прогноз развития профессионально обусловленных заболеваний с помощью дискриминантного анализа / Н.А. Чикина, Ю.Л. Геворкян, А.И. Поворознюк, И.В. Антонова // Системы обработки информации. - Харьков: ХУВС. - 2010. - Вып. 1 (82). - С. 200-203. 10. Чикина Н.А. Метод количественной оценки профессиональных рисков на предприятиях химико-фармацевтической отрасли / Н.А. Чикина, И.В. Антонова // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Информатика и моделирование. - Харьков: НТУ "ХПИ". - 2012. - № 38. - С. 196-201.

Поступила в редакцию 25.03.2013

Статью представил д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ" Поворознюк А.И.

УДК 681.518

Прогнозування ризику в системі медичного страхування профпатологій / Чікіна Н.О., Антонова І.В. // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Інформатика та моделювання. - Харків: НТУ "ХПІ". - 2013. - № 39 (1012). - С. 199 - 205.

В роботі описано метод прогнозу ризику розвитку профзахворювань, що базується на застосуванні скінчених ланцюгів Маркова. Значення ризику, що прогнозуються, в залежності від стажу і місця роботи на підприємстві у просторі станів здоров'я визначаються стохастичними матрицями. Отримані оцінки ризику є опорними елементами у прогнозуванні розвитку профзахворювань у робітників підприємств хіміко-фармацевтичної галузі. Лл.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

Ключові слова: профзахворювання, ланцюги Маркова, стохастичні матриці, оцінки ризику.

UDC 681.518

Risk prognosis in medical insurance system of professional pathology / Chikina N.A. , Antonova I.V. // Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. - Kharkov: NTU "KhPI". - 2013. - №. 39 (1012). - P. 199 - 205.

The method of prognosis of risk dynamics of professional pathology, based on application of eventual heterogeneous Markov's chains is described. The estimation of risk depending on experience and work places on an enterprise in problem of health states space are determined by

stochastic matrices. The got estimations of risk are supporting elements in prognostication of offensive of accident insured - dynamics of professional pathology at the working enterprises of chemical and pharmaceutical industry. Figs.: 2. Refs.: 10 titles.

Keywords: professional diseases, Markov's chains, stochastic matrices, risk estimations.

Зміст

Бірюков Д.С., Заславська О.В. Оптимальне розміщення та комплектування аварійно-рятувальних служб для реагування на надзвичайні ситуації	3
Бойко Д.А., Филатова А.Е. Метод визуализации патологических структур на маммограммах	9
Бондина Н.Н., Калмычков А.С., Козина О.А. Сравнение алгоритмов фильтрации медицинских изображений по оценкам их качества	15
Бондина Н.Н., Кривенцов В.Э. Использование статистических характеристик для выделения границ в медицинских изображениях	22
Букатова И.Л. Эвоинформатика и глобализация: анализ средств фрагментарного моделирования	28
Вавіленкова А.І. Аналіз методів обробки текстової інформації	35
Гвай А.С., Аверьянова Л.А. Анализ методик определения дозы облучения в рентгеновской компьютерной томографии	41
Грішин І.Ю. Прикладні аспекти методів оптимізації управління й обробки інформації у статистичних вимірювальних інформаційних системах автоматизованих систем керування повітряним рухом	48
Дмитриенко В.Д., Заковоротный А.Ю. Нейронная сеть, использующая расстояние Хемминга, для распознавания изображений на границах нескольких классов	57
Дмитриенко В.Д., Хавина И.П. Гибридная иерархическая нейронная сеть для хранения знаний технологического процесса механообработки	68
Жиляков Е.Г., Фирсова А.А. Сегментация речевых сигналов на основе субполосного анализа	73
Зайко Т.А., Олейник А.А., Субботин С.А. Ассоциативные правила в интеллектуальном анализе данных	82
Карасюк В.В., Иванов С.Н. Совершенствование системы дистанционного обучения гуманитарным дисциплинам	97

Коваленко Н.А., Сахацкий В.Д. Математическая модель искажения зондирующих сигналов в системах контроля местоположения людей за непрозрачной преградой	104
Леонов С.Ю. К-значная нейронная сеть АРТ для анализа работоспособности вычислительных устройств	115
Лимаренко В.В., Хавина И.П. Определение входных параметров для СППР процессов механообработки	129
Мороз Б.І., Коноваленко С.М. Оптимізіція параметрів навчання нейромережевої системи обробки інформації митного контролю	134
Никитина Т.Б., Кобылянский Б.Б., Татарченко М.О. Синтез робастного управления трехмассовой электромеханической системой с учетом неопределенностей объекта управления	140
Поворознюк А.І., Стебліна К.В., Білецький К.А. Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при проведенні діагностично-лікувальних заходів	150
Поворознюк Н.І., Чорний К.В. Звукові сигнали діяльності серця і їх аналіз у частотно-часовій області	156
Ручкин К.А., Шевченко Е.А. Метод обнаружения нескольких сферических объектов в пространстве	162
Столяревская А.Л., Кузнецов Ю.А. Применение пакета R при анализе данных с инерциальных датчиков для мониторинга деятельности человека	169
Телішевська А.В., Поворознюк А.І. Ідентифікація моделі медичної системи на базі нечіткої логіки	177
Тузенко О.А., Кухарь В.В., Балалаева Е.Ю., Дубинина А.В. Исследование математических моделей в планировании эксперимента методом сравнительного анализа	182
Тутарова В.Д., Снегирев Ю.В. Сравнение математических моделей растворения реагентов в жидкой стали	189
Чикина Н.А., Антонова И.В. Прогнозирование риска в системе медицинского страхования профпатологий	199

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"Харківський політехнічний інститут"

Збірник наукових праць
Серія
Інформатика та моделювання
№ 39 (1012)

Науковий редактор д.т.н. Дмитрієнко В.Д.
Технічний редактор к.т.н. Леонов С.Ю.
Відповідальний за випуск к.т.н. Обухова І.Б.

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул Фрунзе, 21, НТУ "ХПІ".
Кафедра обчислювальної техніки та програмування,
тел. (057) 7076198, E-mail: serleomail@gmail.com

Обл. вид. № 204 – 13

Підп. до друку 05.07.2013 р. Формат 60х84 1/16. Папір Сору Папер.
Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 9,8. Облік. вид. арк. 10,0.
Наклад 300 прим.
Ціна договірна

НТУ "ХПІ", 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавничий центр НТУ "ХПІ"
Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.

Отпечатано в типографии ООО "Цифра Принт"
на цифровом комплексе Xerox DocuTech 6135
Свидетельство о Государственной регистрации
А01 № 432705 от 03.08.2009 г.
Адрес: г. Харьков, ул. Культуры, 22-Б