УДК 681.325

Р. Ткаченко, І. Цмоць, О. Скорохода
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизованих систем управління

МЕТОД І НВІС-СТРУКТУРА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБЧИСЛЕННЯ СУМИ КВАДРАТІВ РІЗНИЦЬ ДЛЯ RBF-МЕРЕЖІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

© Ткаченко Р., Цмоць І., Скорохода О., 2011

Вибрано принципи побудови, розроблено метод паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць, НВІС-структуру пристрою та оцінено затрати обладнання на його реалізацію.

Ключові слова: RBF-мережі, НВІС-структура, паралельно-вертикальне обчислення, сума різниць квадратів, реальний час.

Principles of structure have been selected, method and structure of the VLSI-device of parallel-vertical calculation of the sum of squared differences were developed, and assessments of equipment costs for its implementation were conducted.

Keywords: RBF-networks, VLSI-structure, parallel-vertical calculation, sum of squared differences, real-time.

Вступ

Сучасний етап розвитку нейротехнологій характеризується розширенням галузей застосування, в значній частині з яких вимагається апроксимація та інтерполяція багатовимірних функцій у реальному часі для задач прогнозування на апаратних засобах, що задовольняють обмеження щодо габаритів, енергоспоживання, вартості та часу розробки. При розв'язанні таких задач застосовуються як багатошарові перцептрони, так і RBF-мережі, які використовують радіально-базисні функції [1–4]. Особливістю RBF-мереж є висока швидкодія навчання та здатність розв'язувати складні нелінійні завдання. Структуру типової RBF-мережі наведено на рис. 1.

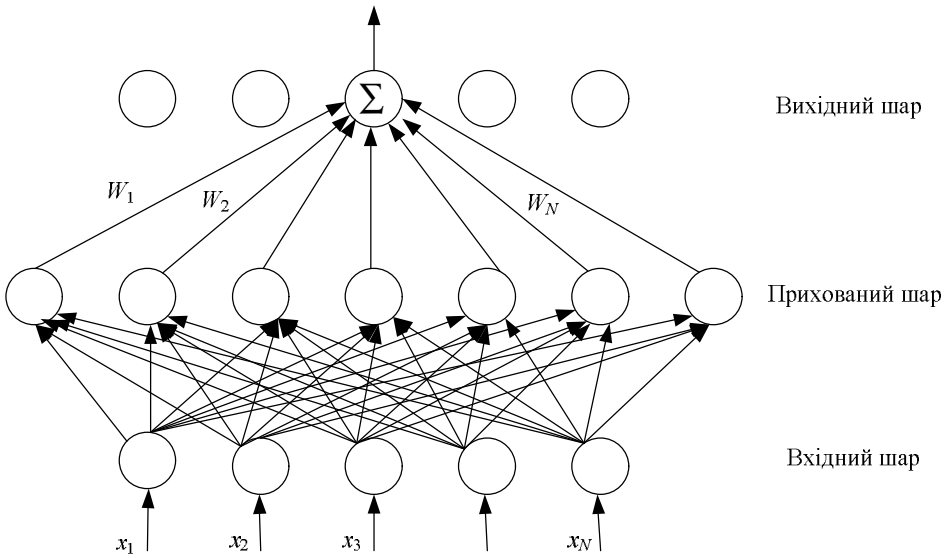

Рис. 1. Структура RBF-мережі

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Така мережа складається із трьох шарів: вхідного, прихованого та вихідного. Із вхідного шару вектор даних передається на нейрони прихованого шару, число яких відповідає числу встановлених центрів RBF. Кожний нейрон прихованого шару отримує таким чином інформацію про вхідний вектор. У кожному нейроні прихованого шару обчислюється радіально-базисна функція $h_i(x)$

$$h_i(x) = \exp[-\frac{(\| x^b - x_i^e \|)^2}{2d_i^2}],$$

де x_i^b – вхідний вектор, x_i^e – і-й еталонний центр, d – параметр розсіювання для одновимірної функції h_i. Ця функція виконує попереднє опрацювання вхідних векторів і визначає їх близькість до еталонних центрів x_i^e, а значення $h_i(x)$ задає ступінь подібності між вхідним вектором x^b і окремими еталонними центрами x_i^e.

Реалізація високоефективних RBF-мереж вимагає широкого використання сучасної елементної бази (напівзамовних і замовних НВІС, мікропроцесорів, мікроконтролерів, трансп'ютерів, нейрочипів) та розробки нових методів, алгоритмів і НВІС-структур пристроїв, що реалізують базові операції RBF-мереж [5-8]. До таких базових операцій належить операція обчислення суми квадратів різниць:

$$y = \| x_i^e - x_i^b \|^2 = (x_1^e - x_1^b)^2 + (x_2^e - x_2^b)^2 + ... + (x_N^e - x_N^b)^2.$$

Режим реального часу накладає обмеження на час реалізації такої операції, який не повинен перевищувати часу надходження даних, тобто обчислення повинно здійснюватися без накопичення затримок. Задовольнити такі вимоги можна за допомогою конвеєризації та розпаралелення процесу обчислення, узгодження інтенсивності надходження потоків даних $P_d=kn_dF_d$ з обчислювальною інтенсивністю пристрою $D_к=F_кmh$, де k – кількість каналів надходження даних; n_d – розрядність каналів надходження даних; F_d – частота надходження даних; $F_к$ – тактова частота роботи конвеєра; m – кількість трактів обробки; h – розрядність трактів обробки.

Тому актуальною проблемою є розроблення орієнтованих на НІВС-реалізації методів, алгоритмів і структур пристроїв для обчислення суми квадратів різниць.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень [1–15] показує, що існують два підходи до апаратної реалізації алгоритмів обчислення суми квадратів різниць. Перший з них ґрунтується на операціях піднесення до квадрата і додавання, другий – на операціях додавання, інверсії та зсуву. Для НВІС-реалізації операції обчислення суми різниць квадратів в основному використовується другий підхід, який дає змогу оптимізувати пристрій за швидкодією, апаратними витратами та збільшити однорідність і регулярність структури.

Існуючі методи, алгоритми та структури пристроїв для обчислення базових операцій RBF-мереж мають такі недоліки:

- не враховують вимоги конкретних застосувань щодо габаритів і споживаної потужності;
- алгоритми та структури пристроїв обчислення базових операцій RBF-мереж не орієнтовані на НВІС-реалізацію;
- значна кількість виводів інтерфейсу, які залежать як від кількості операндів, так і від їх розрядності.

З аналізу видно, що для реалізації ефективних НВІС-пристроїв обчислення базових операцій RBF-мереж необхідно, щоб алгоритми були рекурсивними та локально залежними, а структури були однорідними з локальними зв'язками.

Завдання і мета дослідження

На сучасному етапі розвитку НВІС-технологій особливої актуальності набуває проблема розроблення нових ефективних методів, алгоритмів та НВІС-структур для обчислення суми

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

квадратів різниць на основі багатооперандного паралельно-вертикального (паралельно-порозрядного) підходу до обробки даних [5–7]. Особливістю методів і алгоритмів обчислення суми квадратів різниць, що ґрунтуються на такому підході, є формування і підсумовування макрочасткових результатів, кількість яких не залежить від кількості операндів, а залежить від їхньої розрядності. Методи та алгоритми паралельного обчислення суми квадратів різниць на основі багатооперандного паралельно-вертикального підходу повинні забезпечувати детерміноване переміщення даних, бути добре структурованими та орієнтованими на НВІС-реалізацію.

Мета дослідження *полягає в розробленні НВІС-орієнтованих методів, алгоритмів та структур пристроїв для паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць з організацією процесу обчислення як виконання єдиної операції.*

Виклад основного матеріалу

Метод паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць. Для обчислення суми різниць квадратів використаємо багатооперандний вертикальний підхід, який передбачає одночасне послідовно-порозрядне надходження операндів, формування та підсумовування в кожному такті макрочасткових результатів. Вертикальний метод обчислення суми квадратів різниць вимагає, щоб операнди були представлені в порозрядному вигляді згідно з формулою [7,9,10]:

$$X = \sum_{j=1}^{n} 2^{-j} x_j \ ,$$

де x_j – значення j-го розряду операнда; n – розрядність операндів.

Паралельно-вертикальне обчислення суми квадратів різниць ґрунтується на алгоритмі вертикального піднесення до квадрата:

$$X^2 = (0.01) \wedge x_1 + 2^{-1}(0.x_1 01) \wedge x_2 + 2^{-2}(0.x_1 x_2 01) \wedge x_3 + \ldots + 2^{-(n-1)}(0.x_1 x_2 \ldots x_{n-1} 01) \wedge x_n = \sum_{j=1}^{n} 2^{-(j-1)} R_j \quad (1)$$

де R_j – частковий результат піднесення до квадрата, який визначається так:

$$R_j = (0.x_1 x_2 \ldots x_{j-1} 01) \wedge x_j \ . \quad (2)$$

Використовуючи багатооперандний підхід і алгоритм вертикального піднесення до квадрата операцію обчислення суми квадратів різниць можна звести до формування і підсумовування макрочасткових результатів відповідно до формули:

$$y = (X_1^e - X_1^b)^2 + (X_2^e - X_2^b)^2 + \ldots + (X_N^e - X_N^b)^2 = \Delta X_1^2 + \Delta X_2^2 + \ldots + \Delta X_N^2 = \sum_{k=1}^{m} 2^{-(k-1)} P_k \ , \quad (3)$$

$$P_k = \sum_{i=1}^{N} R_{ki} \ , \quad (4)$$

де m – розрядність різниць ΔX_i; R_{ki} – k-й частковий результат піднесення до квадрата i-ї різниці ΔX_i.

Підставляючи значення (4) у формулу (3) зведемо обчислення суми квадратів різниць до операції багатооперандного підсумовування:

$$y = \sum_{i=1}^{N} \Delta X_i^2 = \sum_{k=1}^{m} \sum_{i}^{N} 2^{-(k-1)} R_{ki} \ . \quad (5)$$

Основними етапами паралельно-вертикального методу обчислення суми квадратів різниць є:

- одночасне послідовно-порозрядне надходження операндів X_i^e, X_i^b і обчислення модуля ΔX_i;

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

- формування часткових результатів піднесення до квадрата R_{ki};
- формування макрочасткового результату обчислення P_k шляхом підсумовування часткових результатів піднесення до квадрата R_{ki};
- отримання результату суми квадратів різниць шляхом підсумовування із зсувом вправо на один розряд макрочасткових результатів обчислення P_k.

Структура пристрою для паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць. Структура пристрою паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць повинна бути орієнтована на НВІС-реалізацію, враховувати вартість площі кристала, а також кількість вхідних і вихідних виводів [11, 14]. Число зовнішніх виводів НВІС-пристроїв обмежене рівнем технології та розміром кристала. В основу побудови НВІС-пристроїв реального часу для паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць пропонується покласти такі принципи [14,15]:

- узгодженості інтенсивності надходження даних з обчислювальною інтенсивністю пристрою;
- конвеєризації та просторового паралелізму;
- регулярності, модульності та широкого використання стандартних елементів;
- локалізації та зменшення кількості зв'язків між елементами пристрою.

Залежно від способу формування та підсумовування макрочасткових результатів P_k можливі такі варіанти реалізації пристрою обчислення суми квадратів різниць:

- з послідовним формуванням і підсумовуванням макрочасткових результатів P_k;
- з паралельним формуванням і послідовним підсумовуванням макрочасткових результатів P_k;
- з паралельним формуванням і підсумовуванням макрочасткових результатів P_k.

При паралельно-вертикальному обчисленні суми квадратів різниць використовується паралельне формування макрочасткового результату P_k з послідовним його підсумовуванням. Структура пристрою з паралельно-вертикальним обчисленням суми квадратів різниць наведена на рис. 2, де Від – віднімач, Тг – тригер, Рг – регістр, ПК – перетворювач кодів, БСм – багатовходовий суматор, См – суматор, Бл – блок формування часткових результатів піднесення до квадрата.

У даному пристрої надходження чисел X_i^e і X_i^b здійснюється одночасно послідовним кодом молодшими розрядами вперед. У кожному блоці Бл і за допомогою віднімача Від обчислюється різниця ΔX_i, яка записується в регістр Рг ΔX_i. Обчислена різниця ΔX_i надходить на входи перетворювача кодів ПК, на виході якого отримуємо її модуль $|\Delta X_i|$. У наступних тактах роботи в кожному блоці Бл і формувачем R_k формується частковий результат піднесення до квадрата R_k. Формування часткових результатів піднесення до квадрата R_k здійснюється порозрядно, починаючи з молодших розрядів модуля $|\Delta X_i|$ відповідно до формули (2). Сформовані в блоках Бл і часткові результати піднесення до квадрата R_{ki} надходять на входи багатовходового суматора БСм, де їх підсумовують. Отримана сума, яка є макрочастковим результатом обчислення суми квадратів різниць, записується в регістр Рг P_k. На суматорі См відповідно до формули (3) виконується додавання отриманого макрочасткового результату P_k до зсунутої вправо на один розряд накопиченої суми макрочасткових результатів.

Обчислення модуля $|\Delta X_i|$, формування і підсумовування макрочасткових результатів P_k елементів вибірок суміщається в часі з обчисленням ΔX_i наступних елементів вибірок. При такому суміщенні для забезпечення режиму реального часу ці операції повинні виконуватися за час:

$$t_{Об} = \mathrm{n}\mathrm{T}_{\mathrm{д}},$$

де n – розрядність операндів; $\mathrm{T}_{\mathrm{д}}$ – період надходження даних.

Для обчислення суми квадратів різниць в реальному часі у цьому пристрої використовується конвеєр, який повинен працювати з тактом:

$$T_к \le \frac{\mathrm{t}_{\mathrm{Об}}}{\mathrm{m}+1}.$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

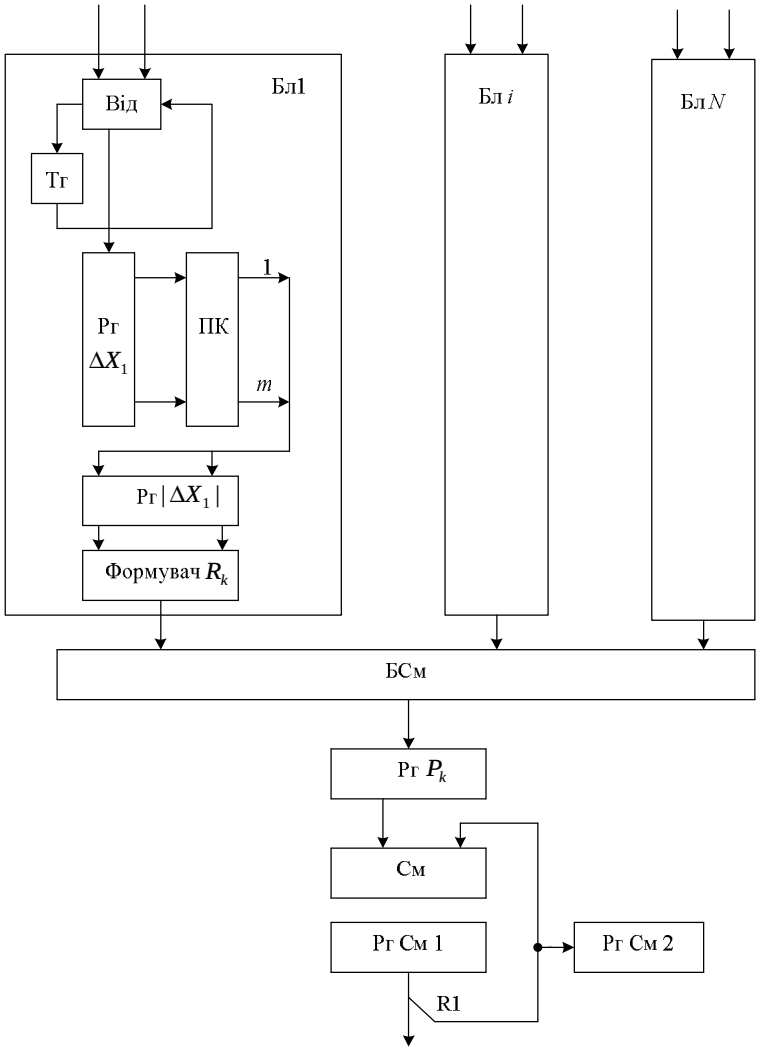

Рис. 2. Структура пристрою паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць

Необхідні апаратні затрати на реалізацію пристрою паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць визначаються так:

$$W_П = \mathrm{N}(W_{Від} + W_{Тг} + 2W_{Рг-т} + W_{ПК-т} + \mathrm{W_{Ф\text{-}т}}) + \mathrm{W_{БСм\text{-}(N\times m)}} + 2\mathrm{W_{Рг\text{-}(m+logN)}} + \mathrm{W_{См\text{-}(m+logN)}},$$

де $\mathrm{W_{Від}}$, $\mathrm{W_{Тг}}$, $\mathrm{W_{Рг\text{-}m}}$, $\mathrm{W_{ПК\text{-}m}}$, $\mathrm{W_{Ф\text{-}m}}$, $\mathrm{W_{БСм\text{-}(N\times m)}}$, $\mathrm{W_{Рг(m+logN)}}$, $\mathrm{W_{См\text{-}(m+logN)}}$ – апаратні затрати на реалізацію відповідно однорозрядного віднімача, тригера, m-розрядного регістра, m-розрядного перетворювача кодів, m-розрядного формувача часткових результатів піднесення до квадрата, N-входового m-розрядного суматора, (m+logN)-розрядного регістра і (m+logN)-розрядного суматора.

Основними компонентами розробленого пристрою є тригери, регістри, суматори, віднімачі, багатовходові суматори, перетворювачі кодів і формувачі часткових результатів піднесення до квадрата. Оскільки розроблений пристрій паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць орієнтований на НВІС-реалізацію, то за одиницю вимірювання витрат обладнання візьмемо логічний вентиль, який є елементом типу інвертор, І, АБО. Для оцінювання характеристик розробленого пристрою використаємо дані про витрати обладнання основних компонентів, які наведені в [7].

Аналітичний вираз розрахунку витрат обладнання залежно від кількості входів N і розрядності m різниць ΔX_i для реалізації розробленого пристрою має такий вигляд:

$$W_П = \mathrm{N}(24 + 55\mathrm{m}) + 32(\mathrm{m} + \log_2 \mathrm{N}).$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

На основі цього аналітичного виразу будуємо графік витрат обладнання (рис. 3) залежно від кількості входів N і розрядності m різниць ΔX_i.

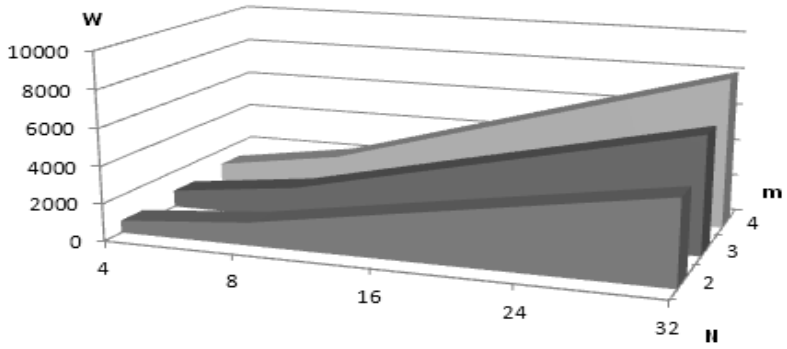

Рис. 3. Графік витрат обладнання на реалізацію пристрою паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць

Як видно з графіка, витрати обладнання більшою мірою залежать від кількості входів N і меншою – від розрядності m різниць ΔX_i, яка для RBF-мережі є невеликою (не перевищує 4 розряди).

Висновки

1. Розробляти пристрої обчислення суми квадратів різниць у реальному часі доцільно на основі інтегрованого підходу, який охоплює сучасну елементну базу, методи та алгоритми обчислень, враховує вимоги конкретних застосувань, інтенсивності надходження даних і ґрунтується на таких принципах побудови: конвеєризації та просторового паралелізму, модульності, однорідності та регулярності архітектури, узгодженості інтенсивності надходження даних з обчислювальною інтенсивністю пристрою.

2. Представлення алгоритмів обчислення суми квадратів різниць у базисі елементарних операцій забезпечує: оптимізацію пристрою за швидкодією та апаратними витратами; збільшення однорідності та регулярності структури; використання повною мірою можливостей НВІС-технології.

3. Метод паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць ґрунтується на основі багатоопераційного підходу до обчислення та формуванні і підсумовуванні макрочасткових результатів, кількість яких залежить від розрядності різниць.

4. Підвищення ефективності НВІС-структур паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць можна досягти роздільним або комплексним використанням методів, які забезпечують зменшення часу формування та підсумовування макрочасткових результатів.

5. Розроблений метод і алгоритми паралельно-вертикального обчислення суми квадратів різниць придатні для реалізації компонентів високопродуктивних нейроподібних структур ймовірнісного типу (PNN) та узагальненої регресії (GRNN).

1. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети: Теория и практика. – 2-е изд., стереотип. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с. 2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд.: Пер. с англ.. – М.: Вильямс, 2006. 3. Галушкин А.И. Нейрокомпьютеры. Кн.3. – М.: ИПРЖР, 2000. – 528 с. 4. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / Пер. с польск. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с. 5. Палагин А.В., Опанасенко В.Н. Реконфигуриремые вычислительные системы. – К.: Просвіта, 2006. – 280с. 6. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. – М.: Мир. – 1991. – 672 с. 7. Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі. – Львів: УАД. – 2005. – 227 с. 8. Солонина А.И., Улахович Д.А., Яковлев А.А. Алгоритмы и процессоры цифровой обработки сигналов. – СПб: БХВ-

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

СПб. – 2001. – 464 с. 9. Параллельная обработка информации: Т.4. Высокопроизводительные системы параллельной обработки информации / Под ред. В.В. Грицыка. – К.: Наук. думка, 1988. – 272 с. 10. Самофалов К.Г. и др. Прикладная теория цифровых автоматов. – К.: Вища школа, 1987. – 375 с. 11. Грушицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с. 12. Каневский Ю.С. Систолические процессоры. – К: Техніка. – 1991. – 173 с. 13. Шалыто А.А. Методы аппаратной и программной реализации алгоритмов. – СПб.: Наука, 2005. – 780 с. 14. Ткаченко Р.О., Цмоць І.Г., Скорохода О.В. Вертикально-паралельні методи та структури для реалізації базових компонентів нейромережевих технологій реального часу // Технічні вісті. – 2010/1(31), 2(32). – С.166–169. 15. Грицик В.В., Ткаченко Р.О., Цмоць І.Г. Технологія нейрокомп'ютингу реального часу // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка" "Комп'ютерні науки та інформаційні технології". – 2010. – № 672. – С.359–371.

УДК 004.89

В. Литвин
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційних систем та мереж

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДІАГНОСТУВАННЯ РЕВМАТОЛОГІЧНИХ ЗАХВОРЮВАНЬ НА ОСНОВІ АДАПТИВНИХ ОНТОЛОГІЙ

© Литвин В., 2011

Розглянуто побудову інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень діагностування ревматологічних захворювань. Для функціонування такої системи розроблено математичний апарат на основі адаптивних онтологій.
Ключові слова: онтологія, концепт, відношення, інтерпретація.

In the paper the design of the decision support diagnosing rheumatic diseases. For the operation of the system developed mathematical tools based on adaptive ontologies.
Keywords: ontology, concept, relation, interpretation.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Технологія інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР) є одним із найрозвинутіших напрямків штучного інтелекту. Дослідження у цій області полягають у розробленні автоматизованих інформаційних систем, які застосовуються у тих областях діяльності людини, які вимагають логічного міркування, певної майстерності та досвіду.

Сучасний рівень розвитку ІСППР відбувається у двох напрямках розроблення інтелектуальних агентів (ІА) [1]:

- ІА, засновані на прецедентах (англійською – Case-Based Reasoning, або CBR);
- ІА планування діяльності (пошук у просторі станів).

Вибір ІА залежить від задачі. Метод виведення за прецедентами ефективний, коли основним джерелом знань про задачу є досвід, а не теорія; рішення не є унікальними для конкретної ситуації, а можуть бути використані в інших випадках; метою розв'язування задачі є отримати не гарантований правильний розв'язок, а кращий з можливих. Виведення, засноване на прецедентах, є

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua