

ОПЕРАЦІЙНО-ЕЛЕМЕНТНИЙ БАЗИС ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ

Розширення області прикладного застосування інтелектуальних систем потребує методів та засобів швидкісного високопаралельного оброблення значних масивів даних різної природи. Для цього необхідно визначити номенклатуру операційно-елементного базису для апаратної реалізації базових процедур в інтелектуальних системах. Широке застосування нейротехнологій потребує доповнити відомий список базових функціональних вузлів за рахунок введення лінійки екстрематорів, детектора максимуму і дискримінатора. Ці вузли, реалізовані на перспективній елементній базі, значно прискорять процес паралельного оброблення даних, підвищують надійність та компактність при апаратній реалізації блоків та підсистем інтелектуальних систем.

Ключові слова: інтелектуальна система, операційно-елементний базис, нейротехнології, класифікація, система керування.

T.B. MARTYNIUK, A.V. KOZHEMIAKO, L.M. KUPERSHTEIN, O.S. BEZKREVNYI

Vinnitsia National Technical University

OPERATING-ELEMENTAL BASIS FOR INTELLIGENT SYSTEMS

Expanding of the field of intelligent systems application requires the methods and means of high-speed processing of large data sets of different nature. For this purpose it is necessary to define the nomenclature of the operating-elemental basis for the hardware implementation of basic procedures in intelligent systems. The widespread use of neurotechnology requires supplementing the well-known list of basic functional units by introducing a line of extremators, a maximum detector and a discriminator. These units, implemented on a promising element base, will greatly accelerate the process of parallel data processing, increase reliability and compactness in hardware implementation of blocks and subsystems of intelligent systems.

Keywords: intelligent system, operating-elemental basis, neurotechnology, classification, control system.

Вступ

Аналіз операційних складових найбільш розповсюджених інформаційних технологій, а саме, оброблення та аналізу сигналів і зображень, а також розпізнавання образів [1–3] дозволяє визначити такі базові процедури, як фільтрація, згортка, кореляція, класифікація, паралельний пошук і нейрообчислення. Ці процедури потребують виконання таких базових операцій, як векторно-матричне перемноження, сортування, визначення екстремальних значень, ранжування, порівняння з еталоном, паралельне порівняння [2–4].

Актуальність

Наочним також є факт, що найбільшу складову серед нейрообчислень має формування добутку вектора біжучого стану мережі на матрицю міжнейронних зв'язків, для прискорення чого застосовують апаратні нейроакселератори [1, 2]. Все це дозволяє серед наведених вище базових операцій визначити особливе місце операції множення матриці на вектор, яка широко використовується не тільки при моделюванні нейромереж, але й при розв'язанні прикладних задач у системах оброблення й аналізу зображень, при розпізнаванні образів, у машинній графіці, для реалізації обчислень з плаваючою комою [3–5].

Отже, метою даної роботи є обґрунтування операційно-елементного базису для інтелектуальних систем, що призначені для реалізації базових процедур нейро- та інформаційних технологій.

Постановка задачі

Сучасні нейрокомп'ютери як складова інтелектуальних систем найчастіше реалізуються як програмний продукт, а тому залишається нереалізованою здатність штучних нейромереж до паралельного оброблення великих масивів даних. Таким чином, необхідним є проектування, виробництво і застосування спеціалізованих нейрочипів і плат розширення, що призначені для оброблення мовленнєвих сигналів, відео і статичних зображень та інших типів образної інформації, а отже, у повній мірі реалізують всі переваги штучних нейромереж [1, 6].

З іншого боку, зростання питомої ваги апаратних реалізацій нейронів та нейромережних апаратно-програмних компонентів, наприклад, у робототехніці і у зразках побутової техніки (фотоапарати, відеокамери, мікрохвильові печі тощо) обумовлено рядом об'єктивних чинників [7]. У першу чергу, це пов'язано з необхідністю забезпечити для достатньо складних задач високу швидкість їх розв'язання з використанням масового паралелізму, надійність експлуатації спеціального апаратного забезпечення у польових умовах при суттєвих обмеженнях на габарити та вагу, а також при жорстких вимогах до безпеки системи (захист від несанкціонованого доступу і захист авторських прав на схемотехнічні та архітектурні рішення) [7].

Обґрунтування номенклатури операційно-елементного базису для інтелектуальних систем

Нижче наведено найбільш наочні та ефективні приклади використання нейротехнологій в інтелектуальних системах. Так в інтелектуальних адаптивних системах керування, здатних підлаштовуватись до потрібного діапазону зовнішніх умов, не має альтернативи нейромережним методам, які представляють собою один з імітаційних підходів створення таких систем [1, 6, 8]. При цьому, серед процедур використовуваних при керуванні, наприклад, для роботів важливе місце займають класифікація поточного стану і прийняття рішення про подальший розвиток процесу.

У роботі [9] представлено систему керування мобільним роботом на базі технічної нервової системи із зором. На рис. 1 наведено таку базову навчену систему керування роботом, яку у роботі [10] названо "технічним мозком". У схемі використовуються такі позначення: ВД – виконавчий двигун; СЗ – система зчутливлення; ЗЗ – зворотний зв'язок; b – збудження рецептора; c – ваговий коефіцієнт рецептора; E – сигнал керування для ВД; N – кількість ВД.

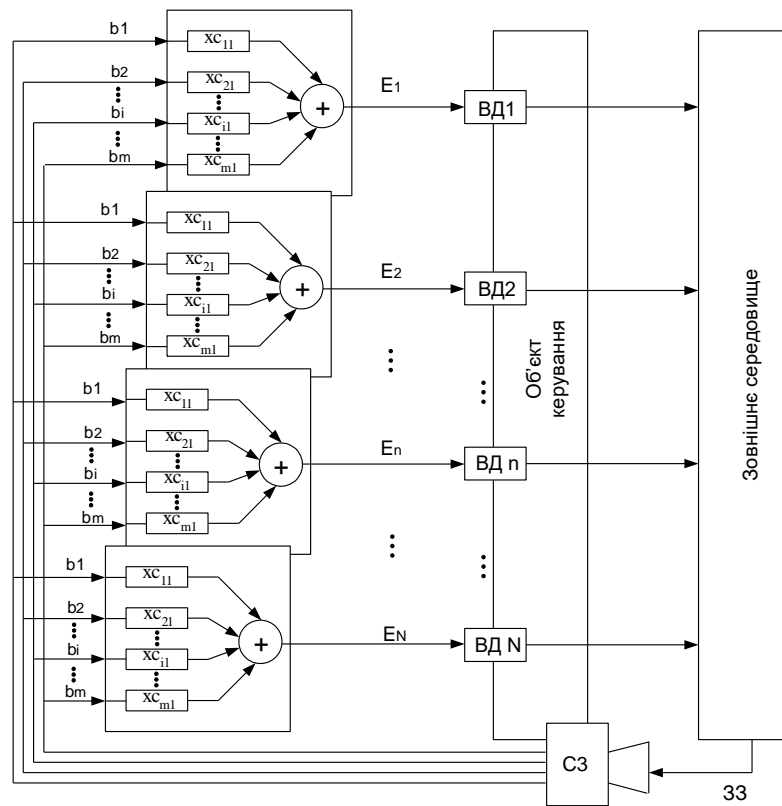


Рис. 1. Блок-схема навченої системи керування

Зі схеми на рис. 1 видно, що сигнал для відповідного ВД формується у вигляді зваженої суми сигналів збудження m рецепторів. Отже, одним із базових вузлів, виходячи з рис. 1, є вузол що містить m помножувачів, пам'ять ваг і багатовхідний суматор [4, 11, 12].

Про необхідність використання багатовхідних суматорів як базових вузлів нейроподібних складових інтелектуальних гібридних систем керування свідчить їх застосування, наприклад, у нечіткій нейромережі на базі алгоритму Сугено 0-го порядку [13]. Перший і другий шари такої нейромережі виконують оброблення даних за правилами нечіткої логіки, а третій шар, що складається з двох нейронів, виконує підсумовування і зважене підсумовування вихідних сигналів другого шару.

Ще одним привабливим та наочним є приклад застосування процедури розпізнавання сигналів та зображень на базі нейротехнологій у медичній сфері, а саме, метод класифікації біомедичних сигналів за дискримінантними функціями (ДФ) [14]. Процедуру класифікації за ДФ можна подати у такому вигляді, як на рис. 2, з якого наочно видно всі ознаки нейромережного підходу до такої класифікації [14, 15].

Так, для формування m ДФ $g_1(Z), \dots, g_m(Z)$ використовується одношаровий перцептрон, який містить m формальних нейронів (так звані лінійні нейрони) [1, 6, 7]. А для формування вихідного сигналу належності вхідного вектора Z до певного класу S_{i0} необхідним є детектор максимуму, функцію якого виконує конкурентний шар нейронів з латеральними зв'язками як у класичних мережі Хопфілда і мережі Хеммінга [1]. Апаратна реалізація такого нейромережного класифікатора обумовлена необхідністю його компактного оформлення, а головне – забезпечення його функціонування в реальному часі [12, 17].

Наведені приклади базових обчислювальних операцій для інтелектуальних систем дозволяють визначити набір функціональних вузлів, за допомогою яких можна реалізувати не тільки операції матричної алгебри, але й асоціативно-логічні операції, а саме, порівняння, сортування, виділення екстремальних елементів у масиві даних, їх ранжування тощо [4]. Такий набір базових операцій збігається з визначеним набором для цифрової обробки сигналів (ЦОС), наведеним у роботі [5]. Відповідно номенклатура набору функціональних вузлів для ЦОС містить (табл. 1) [5]: лінійку суматорів-віднімачів, лінійку суматорів накопичувального типу, багатовхідний суматор, лінійку помножувачів, лінійку поділювачів, лінійку сортувальних комірок. Такий набір відповідає двом важливим умовам: а) номенклатура його вузлів порівняно невелика; б) на базі цього набору можна реалізувати максимально широкий клас перетворень та алгоритмів [5].

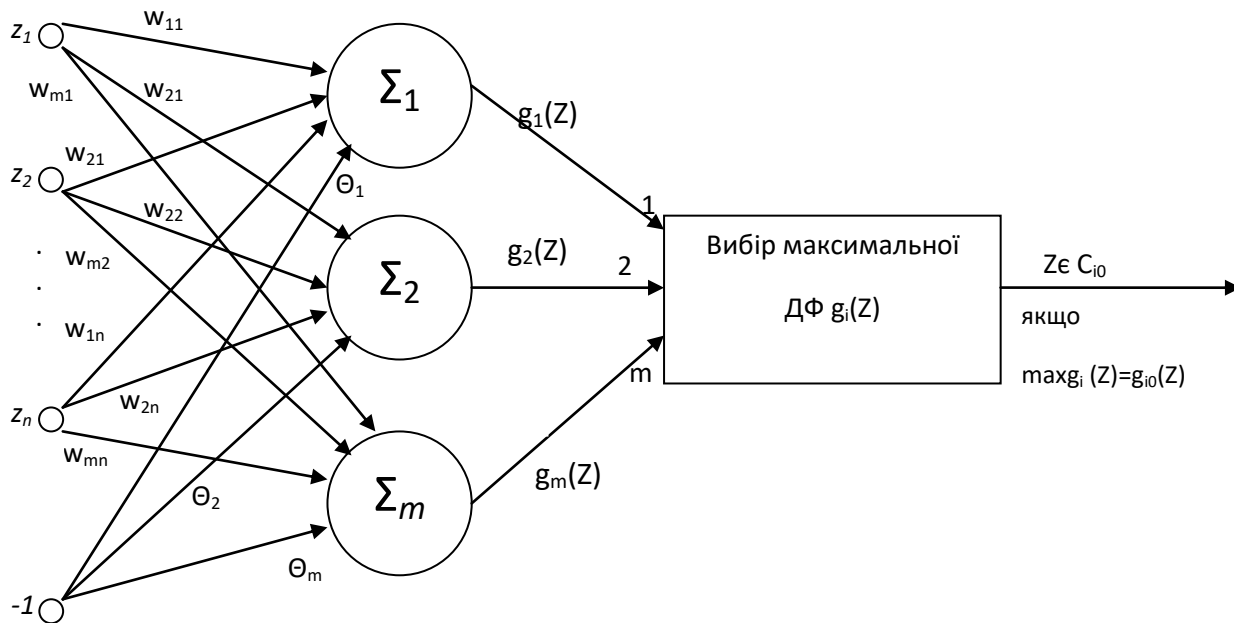


Рис. 2. Схема класифікації за дискримінантними функціями

Таблиця 1

Номенклатура базових функціональних вузлів

Найменування вузла	Функція	Область застосування
Лінійка суматорів-віднімачів	$y_k = x_{2k-1} \pm x_{2k}$ $k = \overline{1, n}$	Оброблення та аналіз сигналів і зображень
Лінійка суматорів накопичувального типу	$y_i = \sum_{j=1}^{N-1} (x_j + x_{j+1})$ $i = \overline{1, n}$	Оброблення та аналіз сигналів і зображень
Багатовхідний суматор	$y = \sum_{j=1}^N x_j$	Оброблення та аналіз сигналів і зображень, розпізнавання образів
Лінійка помножувачів	$y_k = x_{2k-1} \cdot x_{2k}$ $k = \overline{1, n}$	Оброблення та аналіз сигналів і зображень, розпізнавання образів
Лінійка поділювачів	$y_k = \frac{x_{2k-1}}{x_{2k}}$ $k = \overline{1, n}$	Оброблення сигналів і зображень
Лінійка сортувальних комірок	$y_k^1 = \max(x_{2k-1}, x_{2k})$ $y_k^2 = \min(x_{2k-1}, x_{2k})$ $k = \overline{1, n}$	Оброблення сигналів і зображень (фільтрація)
Лінійка екстрематорів	$y_i = \text{extr} \{x_j\}$ $i = \overline{1, n}, j = \overline{1, N}$	Аналіз сигналів і зображень, розпізнавання образів
Детектор максимуму	$y = \max \{g_i\}$ $i = \overline{1, n}$	Розпізнавання образів, класифікація сигналів
Дискримінатор	$g_i = \sum_{j=1}^N w_j \cdot x_j$ $i = \overline{1, n}$	Розпізнавання образів, класифікація сигналів

Разом з тим, враховуючи важливу роль, що відіграє у багатьох інтелектуальних системах класифікація вхідних сигналів, доцільним є введення у наведений набір таких функціональних вузлів, як

лінійка екстрематорів, детектор максимуму та дискримінатор (табл. 1) [18, 19]. Так, детектор максимуму є необхідним вузлом при виборі максимального сигналу від лінійки суматорів (рис. 2), що, в свою чергу, дозволяє визначити клас, до якого належить вхідний образ [14, 15, 18]. З іншого боку, враховуючи скалярність виходу лінійного нейрона, останній можна розглядати як лінійний дискримінатор (рис. 1, 2) [1, 12, 16, 17].

Висновки

Швидкісна обробка значних масивів інформації різної природи в таких областях, як оброблення, аналіз сигналів та зображень і розпізнавання образів, потребує високопаралельних апаратних засобів у складі інтелектуальних систем. А це, у свою чергу, потребує визначення номенклатури операційно-елементного базису для реалізації базових процедур в інтелектуальних системах для вирішення широкого спектра прикладних задач.

Аналіз наочних прикладів використання нейротехнологій в інтелектуальних системах, зокрема в навчених системах керування роботами та класифікаторах біомедичних сигналів, дозволяє розширити відомий список базових функціональних вузлів. Так у цей список введено лінійку екстрематорів, детектор максимуму і дискримінатор.

Апаратна реалізація визначених базових вузлів на перспективній елементній базі, наприклад, на ПЛІС або з використанням сучасних оптоелектронних технологій, дозволить значно прискорити процес паралельного оброблення інформації в інтелектуальних системах, підвищити їх надійність та компактність при апаратній реалізації.

Література

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский ; пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М. : Финансы и статистика, 2004. – 344 с. – ISBN 5-279-02567-4.
2. Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі / І.Г. Цмоць. – Львів, 2005. – 228 с. – ISBN 966-322-024-4.
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений / У. Прэтт ; пер. с англ. – В 2-х кн. – М. : Мир, 1982. – 792 с.
4. Мартинюк Т.Б. Аналіз операційного базису для нейромережових інтелектуальних систем / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко, Н.О. Денисюк, Т.Ю. Позднякова // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2015. – № 2 (33). – С. 83–87. – ISSN 1999-9994.
5. Царев А.П. Алгоритмические модели и структуры высокопроизводительных процессоров цифровой обработки сигналов / А.П. Царев. – Szczecin, Informa, 2000. – 237 с. – ISBN 83-87362-34-4.
6. Использование нейронных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.neuroproject.ru/articles_dak_nn.php.
7. Обзор элементной базы аппаратных реализаций нейронных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.reshebnik.net.ru>.
8. Васюра А.С. Методи та засоби нейроподібної обробки даних для систем керування / А.С. Васюра, Т.Б. Мартинюк, Л.М. Куперштейн. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. – 175 с. – ISBN 978-966-641-279-2
9. Прукс В.Э. Система управления мобильного робота на основе технической нервной системы со зрением / В.Э. Прукс, А.Э. Прукс // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : І Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. – Черкаси: Маклаут, 2011. – С. 229. – ISBN 978-966-2200-11-9.
10. Буков А.А. Технические нервные системы. Обучаемые системы управления со зрением для промышленных роботов / А.А. Буков. – Липецк : Изд-во Липецк. гос. техн. ун-та, 2001. – 223 с.
11. Мартинюк Т.Б. Адаптивний суматор для систем керування роботом / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко, Н.В. Фофанова, О.М. Наконечний // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2005. – № 2(10). – С. 96–101. – ISSN 1681-7893.
12. Мартынюк Т.Б. Аппаратная реализация модели формального нейрона / Т.Б. Мартынюк, Л.И. Тимченко, Л.М. Куперштейн // Электронное моделирование. – 2010. – Т. 32, № 4. – С. 35–47. – ISSN 0204-3572.
13. Усков А.А. Интеллектуальные технологии управления. Искусственные нейронные сети и нечёткая логика / А.А. Усков, А.В. Кузьмин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2001. – 143 с. – ISBN 5-93517-181-3.
14. Бернюков А.К. Распознавание биоэлектрических сигналов / А.К. Бернюков, Л.Т. Сушкова // Зарубежная радиоэлектроника. – 1996. – № 12. – С. 47–51. – ISSN 0373-2428.
15. Мартынюк Т.Б. Классификатор биомедицинских сигналов / Т.Б. Мартынюк, А.Г. Буда, В.В. Хомюк, А.В. Кожем'яко, Л.М. Куперштейн // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 88–95. – ISSN 1561-5359.
16. Мартынюк Т.Б. Модель порогового нейрона на основе параллельной обработки по разностным срезам / Т.Б. Мартынюк // Кибернетика и системный анализ. – 2005. – № 4. – С. 78–89. – ISSN 0023-1274.
17. Кожем'яко В.П. Модель "быстрого нейрона" с обработкой данных по принципу разностных срезов / В.П. Кожем'яко, Т.Б. Мартынюк, Л.М. Куперштейн // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2009. – № 2(18). – С. 87–98. – ISSN 1681-7893.

18. Куссуль Э.М. Нейросетевые классификаторы для распознавания рукописных символов / Э.М. Куссуль, Л.М. Касаткина, В.В. Лукович // Управляющие системы и машины. – 1999. – № 4. – С. 77–86. – ISSN 0130-5395.

19. Мартинюк Т.Б. Реалізація концепції різницевих зрізів при обробленні зображень та розпізнаванні образів / Т.Б. Мартинюк, А.В. Кожем'яко // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2001. – № 1. – С. 79–85. – ISSN 1681-7893.

References

1. Osovskij S. Neironnye seti dlya obrabotki informacii / S. Osovskij ; per. s polsk. I.D. Rudinskogo. – M. : Finansy i statistika, 2004. – 344 s. – ISBN 5-279-02567-4.
2. Tsmots I.H. Informatsiini tehnologii ta spetsializovani zasoby obrobky syhnaliv i zobrazhen u realnomu chasi / I.H. Tsmots. – Lviv, 2005. – 228 s. – ISBN 966-322-024-4.
3. Prett U. Cifrovaya obrabotka izobrazhenij / U. Prett ; per. s angl. – V 2-h kn. – M. : Mir, 1982. – 792 s.
4. Martyniuk T.B. Analiz operatsiinoho bazysu dlia neiromerezhevykh intelektualnykh system / T.B. Martyniuk, A.V. Kozhem'iaiko, N.O. Denysiuk, T.Iu. Pozdniakova // Informatsiini tehnologii ta komp'uterna inzheneriia. – 2015. – № 2 (33). – S. 83–87. – ISSN 1999-9994.
5. Carev A.P. Algoritmicheskie modeli i struktury vysokoproizvoditelnykh processorov cifrovoj obrabotki signalov / A.P. Carev. – Szczecin, Informa, 2000. – 237 s. – ISBN 83-87362-34-4.
6. Ispolzovanie neironnykh setej [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.neuroproject.ru/articles-dak-nn.php>.
7. Obzor elementnoj bazy apparatnykh realizacij neironnykh setej [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.reshebnik.net.ru>.
8. Vasiura A.S. Metody ta zasoby neiropodobnoi obrobky danykh dlia system keruvannia / A.S. Vasiura, T.B. Martyniuk, L.M. Kupershtein. – Vinnytsia : UNIVERSUM-Vinnytsia, 2008. – 175 s. – ISBN 978-966-641-279-2
9. Pruks V.E. Sistema upravleniia mobilnogo robota na osnove tehnichejskoj nervnoj sistemy so zreniem / V.E. Pruks, A.E. Pruks // Obchisljuvalnij intelekt (rezultati, problemi, perspektivi) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnya 2011 r. : materiali. – Cherkasi: Maklout, 2011. – S. 229. – ISBN 978-966-2200-11-9.
10. Bukov A.A. Tehniceskie nervnye sistemy. Obuchaemye sistemy upravleniia so zreniem dlia promyshlennykh robotov / A.A. Bukov. – Lipeck : Izd-vo Lipeck. gos. tehn. un-ta, 2001. – 223 s.
11. Martyniuk T.B. Adaptivnij sumator dlia sistem keruvannia robotom / T.B. Martyniuk, A.V. Kozhem'iaiko, N.V. Fofanova, O.M. Nakonechnij // Optiko-elektronni informacijno-energetichni tehnologiiyi. – 2005. – № 2(10). – S. 96–101. – ISSN 1681-7893.
12. Martyniuk T.B. Apparattaya realizaciya modeli formalnogo nejrona / T.B. Martyniuk, L.I. Timchenko, L.M. Kupershtejn // Elektronnoe modelirovanie. – 2010. – T. 32, № 4. – S. 35–47. – ISSN 0204-3572.
13. Uskov A.A. Intellektualnye tehnologii upravleniia. Iskusstvennye neironnye seti i nechyotkaya logika / A.A. Uskov, A.V. Kuzmin. – M. : Goryachaya liniya-Telekom, 2001. – 143 s. – ISBN 5-93517-181-3.
14. Bernyukov A.K. Raspoznavanie bioelektricheskikh signalov / A.K. Bernyukov, L.T. Sushkova // Zarubezhnaya radioelektronika. – 1996. – № 12. – S. 47–51. – ISSN 0373-2428.
15. Martyniuk T.B. Klassifikator biomedicinskih signalov / T.B. Martyniuk, A.G. Buda, V.V. Homyuk, A.V. Kozhemyako, L.M. Kupershtejn // Iskusstvennyj intelekt. – 2010. – № 3. – S. 88–95. – ISSN 1561-5359.
16. Martyniuk T.B. Model porogovogo nejrona na osnove parallelnoj obrabotki po raznostnym srezam / T.B. Martyniuk // Kibernetika i sistemnyj analiz. – 2005. – № 4. – S. 78–89. – ISSN 0023-1274.
17. Kozhemyako V.P. Model "bystrogo nejrona" s obrabotkoj dannyh po principu raznostnykh srezov / V.P. Kozhemyako, T.B. Martyniuk, L.M. Kupershtejn // Optiko-elektronni informacijno-energetichni tehnologiiyi. – 2009. – № 2(18). – S. 87–98. – ISSN 1681-7893.
18. Kussul E.M. Nejrosetevye klassifikatory dlia raspoznavaniia rukopisnykh simvolov / E.M. Kussul, L.M. Kasatkina, V.V. Lukovich // Upravlyayushie sistemy i mashiny. – 1999. – № 4. – S. 77–86. – ISSN 0130-5395.
19. Martyniuk T.B. Realizatsiia kontseptsii riznytevykh zriziv pry obroblenii zobrazhen ta rozpiznavanni obraziv / T.B. Martyniuk, A.V. Kozhemiako // Optiko-elektronni informatsiino-energetichni tehnologii. – 2001. – № 1. – S. 79–85. – ISSN 1681-7893.

Рецензія/Peer review : 12.12.2019 р.

Надрукована/Printed : 16.01.2020
Рецензент: д.т.н., проф. Яровий А.А.