

Т.Б. МАРТИНЮК, А.Г. БУДА, А.В. КОЖЕМ'ЯКО, Л.М. КУПЕРШТЕЙН
Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ В РОБОТОТЕХНІЦІ ТА СИСТЕМАХ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Область застосування методів та засобів штучного інтелекту у наш час є надзвичайно широкою. Це зумовлює потребу у модернізації програмно-апаратного комплексу для практичного застосування у багатьох прикладних задачах нейротехнологій як базової складової штучного інтелекту. Так, використання нейротехнологій дозволить значно підвищити рівень інтелектуалізації у багатьох сферах людської життєдіяльності, особливо при об'єднанні можливостей штучного інтелекту з експертними системами. У даній роботі розглядаються аспекти інтелектуалізації в таких галузях, як робототехніка та системи захисту інформації. Увага приділена застосуванню в цих галузях нейротехнологій, а саме нейромережному підходу до розв'язання конкретних прикладних задач. Наведені приклади застосування нейротехнологій в робототехніці та інтелектуальних системах захисту та розподілення даних і класифікації користувачів у комп'ютерних системах і мережах підтверджують поширене використання нейротехнологій і перспективу апаратної реалізації нейроструктур на новітній елементній базі, зокрема на ПЛІС. При цьому особливу увагу при огляді ефективного застосування нейротехнологій в означених науково-технічних галузях приділено цим напрямкам саме у публікаціях українських науковців. Все це свідчить про високий рівень досліджень та отримані значні результати на теренах України.

Ключові слова: штучний інтелект, робототехніка, захист інформації, ПЛІС.

T.B. MARTYNIUK, A.G. BUDA, A.V. KOZHEMIAKO, L.M. KUPERSHTEIN
Vinnytsia National Technical University

INTELLECTUALIZATION FEATURES IN ROBOTICS AND INFORMATION SECURITY SYSTEMS

Today the application field of artificial intelligence methods is very wide. Therefore it is necessary to upgrade hardware and software for practical neural technology applications for many tasks as the basic element of artificial intelligence. The neural technology using can access to increase intellectualization range in many sphere of human life. Especially it is achieved in artificial intelligence capabilities union with expert systems. In this article the intellectualization aspects of robotics and information security are considered. Attention is paid to the neural technologies application in these areas that is neural network approach to applied tasks solving. The examples of neural technology applying in robotics and intelligence information security systems are presented. The main directions of neural network applying in robotics are the control systems and computer vision systems. In terms of information security systems, the main ones are the network attack detection, social network users (fake accounts) classification, authentication, neural cryptography. It is noted that the best hardware neural structure realizations are the programmable logic integrated circuits. The promising directions of neural networks using in robotics are solving dynamic tasks, namely motion control, and static tasks, namely data processing from sensors. Promising areas of neural networks using in information security are encryption and cryptanalysis, steganography and steganoanalysis, authentication, factorization. Particular attention in reviewing the effective use of neurotechnology in these scientific and technical fields is given to these areas in the publications of Ukrainian scientists. All this testifies to the high level of research and significant results obtained in Ukraine.

Keywords: artificial intelligence, robotics, information security, FPGA.

Вступ

Використання методів та засобів штучного інтелекту в останні роки не тільки зростає, але й охоплює різні сфери діяльності людей [1]. Не в останню чергу це пов'язано з широким застосування нейротехнологій [2]. Так, в області роботизації та захисту інформації програмні та апаратні засоби нейро- та фаззі-технологій інтенсивно впроваджуються значними темпами вже не перше десятиріччя [3–5].

Метою даної роботи є аналіз особливостей використання нейротехнологій в робототехніці та системах захисту інформації.

Інтелектуальні системи керування в робототехніці

Серед переваг інтелектуальних систем різного призначення у порівнянні з автоматизованими системами в першу чергу варто відзначити гнучкість, самоорганізацію та чутливість до змін навколишнього середовища [6]. Але серед їх недоліків присутній ризик прийняття помилкових рішень. Разом з тим, можливість розподілення інтелектуальної складової та використання знань і досвіду дозволить зменшити цей недолік [6].

В інтелектуальних адаптивних системах керування, здатних підлаштовуватись до певного діапазону зовнішніх умов, не має альтернативи нейромережним методам, які представляють собою один з імітаційних підходів створення таких систем [2–5]. Разом з тим для мобільних роботів бажано, щоб нейромережні методи підтримувались також апаратно [3–5]. При цьому, серед процедур використовуваних при керуванні роботами важливе місце займають класифікація поточного стану і прийняття рішення про подальший розвиток процесу [5, 6].

В роботі [5] наведено архітектуру інтелектуальної системи керування мобільним роботом, яка представляє собою два рівні оброблення і збереження даних: логічний та асоціативний. На логічному рівні оперують з поняттями (концепціями), які можуть бути подані природною мовою і використовують логічне виведення, різні види пошуку тощо. На асоціативному рівні обробляють зображення (образи) і

використовують асоціативні процедури – збереження і виклик асоціацій, класифікацію, кластеризацію та узагальнення [5].

Асоціативний рівень, в свою чергу, містить дві підсистеми: для вирішення статичних задач (оброблення даних з датчиків) і для вирішення динамічних задач (керування рухом). Причому, підсистема для розв'язання статичних задач виконує функції нейромережі та асоціативної пам'яті. Таке архітектурне рішення гібридної інтелектуальної системи пропонується для керування, наприклад, роботизованими інвалідними візками [5].

Про активність в області розробок інтелектуальних систем керування роботами з використанням нейротехнологій свідчить ряд публікацій. Наприклад, в роботі [7] наводяться дані про концептуальну модель системи керування мобільним роботом із застосуванням теорії когнітивних агентів, теорії адаптивного резонансу (ART) і нейроподібних зростаючих мереж (H-PC). В роботі [8] розглядається методика синтезу інтелектуального (адаптивного) керування рухом мультиагентних систем у нейромережному базисі. У роботі [9] представлено систему керування мобільним роботом на базі технічної нервової системи із зором. Таку базову навчену систему керування роботом у роботі [3] названо "технічним мозком".

З іншого боку, відомо асоціативну нейромережу СМАС, яка призначена для керування роботом-маніпулятором, а також може виконувати ідентифікацію та керування нелінійними динамічними об'єктами [10, 11]. При цьому, СМАС виконує такі функції, як запам'ятовування, відновлення та інтерполяцію багатьох змінних. Причому, нелінійне перетворення аргументів функції виконується в непрямому вигляді за алгоритмом обчислення адреси комірок асоціативної пам'яті, де зберігаються значення функції [10].

Разом з тим, в останні роки знаходять застосування розробки нейроструктур, що зорієнтовані на реалізацію на перспективній елементній базі – ПЛІС. Так, у роботах [4, 12, 13] наведено приклади багатофункціональних елементів нейроструктур на базі нового методу оброблення векторних масивів даних, що забезпечує використання одновимірних систолічних структур, які конструктивно реалізуються на ПЛІС.

Інтелектуальні системи захисту інформації

Для інтелектуальних систем цього напрямку показовою є робота [14], в якій запропоновано використання групи нейромережних детекторів (класифікаторів) для виявлення комп'ютерних атак. Більш докладно в роботах [15, 16] розглянуто програмно-апаратні аспекти інтелектуальних систем захисту інформації. В роботі [16] показано місце задачі розпізнавання заданого набору рядків-сигнатур в інформаційному потоці стосовно захисту інформації, що реалізуються у системах виявлення вторгнень. А також обґрунтовано перспективи апаратної реалізації на ПЛІС компонентів засобів розпізнавання сигнатур у потоці даних з точки зору задач інформаційної безпеки, а саме, виявлення вторгнень, антивірусного захисту, боротьби зі спамом.

До задач інформаційного захисту в розподілених комп'ютерних системах і мережах дуже близькі задачі термінального розподілення ресурсів та багатозначної класифікації користувачів Соціального Web за інтересами. Так, в роботі [17] наведено нейромережну технологію диспетчеризації з використанням нейромережного класифікатора, здатної підвищити ефективність розподіленого оброблення даних при різних інформаційних ситуаціях в інформаційно-керуючих системах. В результаті досягається підвищення оперативності диспетчерських рішень, а отже, високої термінальної готовності системи.

Для автоматичної багатозначної класифікації користувачів Соціального Web [18] можуть бути використані два підходи: наївна байєсовська класифікація у разі подання моделі користувача послідовністю значень характеристик або машина опорних векторів (нейромережний підхід), якщо розглядати модель користувача як вектор ваг окремих характеристик.

Перспективним напрямком використання штучних нейронних мереж в кібербезпеці є системи виявлення та попередження кібератак, які з високою точністю дозволяють здійснювати як тестування на проникнення програмного додатку, так і попереджувати про можливі атаки [19].

Одним із основних інструментів забезпечення надійного стану інформаційної безпеки є криптографія, яка забезпечується рядом класичних методів та алгоритмів шифрування [20]. Проте останнім часом проводиться все більше криптографічних досліджень у нейромережевому логічному базисі [21]. Перспективними напрямками використання нейронних мереж є шифрування, стеганографія, автентифікація, факторизація [22]. Завдяки своїй апроксимативній здатності нейронній мережі також успішно себе зарекомендували в крипто- та стеганоаналізі [23].

Висновок

Наведені приклади застосування нейротехнологій в робототехніці та інтелектуальних системах захисту та розподілення даних і класифікації користувачів у комп'ютерних системах і мережах підтверджують поширене використання нейротехнологій і перспективу апаратної реалізації нейроструктур на новітній елементній базі, зокрема на ПЛІС.

Література

1. Джонс М.Т. Программирование искусственного интеллекта в приложениях / М.Т. Джонс ; пер. с англ. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 312 с. – ISBN 5-94074-275-0.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. Гаврилов А.В. Архитектура гибридной интеллектуальной системы управления мобильного робота / А.В. Гаврилов, В.В. Губарев, К.Х. Джо, Х.Х. Ли // Вестник Новосибирского ГТУ. – 2004. – № 2. – С. 3–13.
6. Федчук Д.О. Аналіз властивостей інтелектуальних компонентів та перспектив їх використання в системах керування мобільними роботами / Д.О. Федчук, С.О. Андреев, Є.А. Казначеев // Інтелектуальні технології в системному програмуванні : II Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених та студентів, 18-19 квітня 2013 р. : зб. наук. праць. – Хмельницький : Тріада-М, 2013. – С. 76-77. – ISBN 978-966-59805-9-7
7. Кадомский К.К. Концептуальная модель системы управления мобильным роботом / К.К. Кадомский, А.А. Каргин // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія : міжнар. наук.-практ. конф., 19-21 травня 2010 р. : тези доп. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – С. 337-338. – ISBN 978-966-641-356-0.
8. Даринцев О.В. Интеллектуальное планирование траекторий для группы роботов на базе рекуррентной нейронной сети / О.В. Даринцев, А.Б. Мигранов, Б.С. Юдинцев // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2010) : междунар. науч.-техн. конф., 20–24 сентября 2010 г. : материалы. Т. 2. – Донецк : ИПИИ "Наука і освіта", 2010. – С. 223–227. – ISBN 978-966-7829-45-2.
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) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 229. – ISBN 978-966-2200-11-9.
10. Аверьян Э.Д. Ассоциативная нейронная сеть СМАС. Ч. 1. Структура, объём памяти, обучение и базисные функции / Э.Д. Аверьян // Информационные технологии. – 1997. – № 5. – С. 6–14.
11. Аверьян Э.Д. Ассоциативная нейронная сеть СМАС. Ч. 2. Процессы обучения, ускоренное обучение, влияние помех, устранение влияния помех в двухслойной сети / Э.Д. Аверьян // Информационные технологии. – 1997. – № 6. – С. 17–25.
12. Мартинюк Т.Б. Адаптивный 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 1681-7983.
13. Martyniuk T., Kozhemiako A., Buda A., Kupershtein L. The model of multifunctional neural element of intelligent systems. Education-Technology-Computer Science, Main Problems of informatics and information education, Scientific Annual. Rzeszow. 2013. 4, part 2, pp. 366–371.
14. Комар М.П. Інформаційна модель процесу виявлення комп'ютерних атак на основі нейромережових класифікаторів / М.П. Комар // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 179-180. – ISBN 978-966-2200-11-9.
15. Гильгурт С.Я. Программно-аппаратная защита данных в распределённых интеллектуальных системах / С.Я. Гильгурт, А.К. Гиранова // Искусственный интеллект. – 2010. – № 3. – С. 706-711. – ISSN 1561-5359.
16. Гильгурт С.Я. Аппаратное распознавание строк в интеллектуальных системах защиты информации / С.Я. Гильгурт // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы (ИИ-2010) : междунар. науч.-техн. конф., 20-24 сентября 2010 г. : материалы. Т. 2. – Донецк : ИПИИ "Наука і освіта", 2010. – С. 271–274. – ISBN 978-966-7829-45-2.
17. Скатков А.В. Терминальное распределение ресурсов в критических информационных системах при использовании нейросетевых технологий / А.В. Скатков, Д.Ю. Воронин // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 242-243. – ISBN 978-966-2200-11-9.
18. Ночевнов Д.П. Многозначная классификация пользователей Социального Web по интересам / Д.П. Ночевнов // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) : I Міжнар. наук.-техн. конф., 10-13 травня 2011 р. : матеріали. – Черкаси : Маклаут, 2011. – С. 353-354. – ISBN 978-966-2200-11-9.
19. Kupershtein L.M., Martyniuk T.B., Voitovych O.P., Kulchytskyi B.V., Kozhemiako A.V., Sawicki D., Kalimoldayev M. DDoS-attack detection using artificial neural networks in Matlab. Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019. Vol. 11176, p. 1117.
20. Лужецкий В. А. Основи інформаційної безпеки : навчальний посібник [рекомендований МОН] / В.А. Лужецкий, О.П. Войтович, В.Д. Кожухівський. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 246 с.
21. Червяков Н. И. Применение искусственных нейронных сетей и системы остаточных классов в криптографии / И.Н. Червяков, А.А. Евдокимов, А.И. Галушкин, И.Н. Лавриенко, А.В. Лавриенко. – М. : Физматлит, 2012. – 279 с. – ISBN 978-5-9221-1386-1.
22. Куперштейн Л.М. Аналіз тенденцій розвитку нейрокриптографії / Л.М. Куперштейн, А.Є. Татарчук // XLVIII наук.-техн. конф. підрозділів ВНТУ, 13-15 березня 2019 р. : матеріали. – Вінниця :

ВНТУ, 2019.

23. Куперштейн Л.М. Дослідження можливості використання нейронних мереж для стегааналізу зображень / Л.М. Куперштейн, А.Г. Буда, В.В. Лукічов, Б.С. Крименюк // Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС - 2018»: VIII Міжнар. наук.-техн. конф., 2-4 жовтня 2018 р. : матеріали. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 61.

References

1. Dzhons M.T. Programmirovanie iskusstvennogo intellekta v prilozheniyah / M.T. Dzhons ; per. s angl. – M. : DMK Press, 2004. – 312 s. – ISBN 5-94074-275-0.
2. Osovskij S. Nejrornyie seti dlya obrabotki informacii / S. Osovskij ; per. s polsk. I.D. Rudinskogo. – M. : Finansy i statistika, 2004. – 344 s. – ISBN 5-279-02567-4.
3. Bukov A.A. Tehnicheskie nervnye sistemy. Obuchaemye sistemy upravleniya so zreniem dlya promyshlennykh robotov / A.A. Bukov. – Lipeck : Izd-vo Lipeck.
4. Vasiura A.S. Metody ta zasoby neiropodibnoi 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.
5. Gavrilov A.V. Arhitektura gibridnoj intellektualnoj sistemy upravleniya mobilnogo robota / A.V. Gavrilov, V.V. Gubarev, K.H. Dzhо, H.H. Li // Vestnik Novosibirskogo GTU. – 2004. – № 2. – S. 3–13.
6. Fedchuk D.O. Analiz vlastyivostei intellektualnykh komponentiv ta perspektiv yikh vykorystannia v systemakh keruvannia mobilnymy robotamy / D.O. Fedchuk, S.O. Andrieiev, Ye.A. Kaznacheiev // Intellektualni tekhnologii v systemnomu prohramuvanni : II Vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh ta studentiv, 18-19 kvitnia 2013 r. : zb. nauk. prats. – Khmelnytskyi : Triada-M, 2013. – S. 76-77. – ISBN 978-966-59805-9-7
7. Kadomskij K.K. Konceptualnaya model sistemy upravleniya mobilnym robotom / K.K. Kadomskiy, A.A. Karhyn // Informatsiini tekhnologii ta kompiuterna inzheneriia : mizhnar. nauk.-prakt. konf., 19-21 travnia 2010 r. : tezy dop. – Vinnytsia : VNTU, 2010. – S. 337-338. – ISBN 978-966-641-356-0.
8. Darincev O.V. Intellektualnoe planirovanie traektorij dlya grupy robotov na baze rekurrentnoj nejrornoj seti / O.V. Darincev, A.B. Migranov, B.S. Yudincev // Iskusstvennyj intellekt. Intellektualnye sistemy (II-2010) : mezhdunar. nauch.-tehn. konf., 20–24 sentyabrya 2010 g. : materialy. T. 2. – Doneck : IPII "Nauka i osvita", 2010. – S. 223–227. – ISBN 978-966-7829-45-2.
9. Pruks V.E. Sistema upravleniya mobilnogo robota na osnove tehnichejskoj nervnoj sistemy so zreniem / V.E. Pruks, A.E. Pruks // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 229. – ISBN 978-966-2200-11-9.
10. Averyan E.D. Associativnaya nejronnaya set SMAS. Ch. 1. Struktura, obyom pamyati, obuchenie i bazisnye funkcii / E.D. Averyan // Informacionnye tehnologii. – 1997. – № 5. – S. 6–14.
11. Averyan E.D. Associativnaya nejronnaya set SMAS. Ch. 2. Processy obucheniya, uskorennoe obuchenie, vliyanie pomeh, ustranenie vliyaniya pomeh v dvuhslojnoj seti / E.D. Averyan // Informacionnye tehnologii. – 1997. – № 6. – S. 17–25.
12. Martyniuk T.B. Adaptivnyi sumator dlia system keruvannia robotom / T.B. Martyniuk, A.V. Kozhemiako, N.V. Fofanova, O.M. Nakonechnyi // Optyko-elektronni informatsiino-enerhetychni tekhnologii. – 2005. – № 2(10). – S. 96–101. – ISSN 1681-7983.
13. Martyniuk T., Kozhemiako A., Buda A., Kupershtein L. The model of multifunctional neural element of intelligent systems. Education-Technology-Computer Science, Main Problems of informatics and information education, Scientific Annual. Rzeszow. 2013. 4, part 2, pp. 366–371.
14. Komar M.P. Informatsiina model protsessu vyiavlennia kompiuternykh atak na osnovi neiomerezhevykh klasyfikatoriv / M.P. Komar // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 179-180. – ISBN 978-966-2200-11-9.
15. Hylhurt S.Ia. Programmno-apparatnaia zashchita dannykh v raspredelennykh yntellektualnykh systemakh / S.Ia. Hylhurt, A.K. Hyranova // Iskusstvennyj intellekt. – 2010. – № 3. – S. 706-711. – ISSN 1561-5359.
16. Gilgurt S.Ya. Apparatnoe raspoznavanie strok v intellektualnykh sistemah zashity informacii / S.Ya. Gilgurt // Iskusstvennyj intellekt. Intellektualnye sistemy (II-2010) : mezhdunar. nauch.-tehn. konf., 20-24 sentyabrya 2010 g. : materialy. T. 2. – Doneck : IPII "Nauka i osvita", 2010. – S. 271–274. – ISBN 978-966-7829-45-2.
17. Skatkov A.V. Terminalnoe raspredelenie resursov v kriticheskikh informacionnykh sistemah pri ispolzovanii nejrosetevykh tehnologij / A.V. Skatkov, D.Yu. Voronin // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 242-243. – ISBN 978-966-2200-11-9.
18. Nochevnov D.P. Mnogoznachnaya klassifikaciya polzovatelej Socialnogo Web po interesam / D.P. Nochevnov / D.P. Nochevnov // Obchysliualnyi intellekt (rezultaty, problemy, perspektivy) : I Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 10-13 travnia 2011 r. : materialy. – Cherkasy : Maklout, 2011. – S. 353-354. – ISBN 978-966-2200-11-9.
19. Kupershtein L.M., Martyniuk T.B., Voitovych O.P., Kulchitskyi B.V., Kozhemiako A. V., Sawicki D., Kalimoldayev M. DDoS-attack detection using artificial neural networks in Matlab. Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments, 2019. Vol. 11176, p. 1117.
20. Luzhetskyi V. A. Osnovy informatsiinoi bezpeky : navchalnyi posibnyk [rekomentovanyi MON] / V.A. Luzhetskyi, O.P. Voitovych, V.D. Kozhukhivskiy. – Vinnytsia : VNTU, 2013. – 246 s.
21. Chervyakov N. I. Primenenie iskusstvennykh nejrornykh setej i sistemy ostatocnykh klassov v kriptografii / I.N. Chervyakov, A.A. Evdokimov, A.I. Galushkin, I.N. Lavrienko, A.V. Lavrienko. – M. : Fizmatlit, 2012. – 279 s. – ISBN 978-5-9221-1386-1.
22. Kupershtein L.M. Analiz tendentsii rozvytku neirokryptohrafi / L.M. Kupershtein, A.Ie. Tatarchuk // XLVIII nauk.-tehn. konf. pidrozdiliv VNTU, 13-15 bereznia 2019 r. : materialy. – Vinnytsia : VNTU, 2019.
23. Kupershtein L.M. Doslidzhennia mozhyvosti vykorystannia neironnykh merezh dlia stehoanalizu zobrazhen / L.M. Kupershtein, A.H. Buda, V.V. Lukichov, B.S. Krymeniuk // Optoelektronni informatsiini tekhnologii «Fotonika ODS - 2018»: VIII Mizhnar. nauk.-tehn. konf., 2-4 zhovtnia 2018 r. : materialy. – Vinnytsia : VNTU, 2018. – S. 61.

Рецензія/Peer review : 22.1.2020 р.

Надрукована/Printed : 24.1.2020 р.

Стаття рецензована редакційною колегією