
ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

УДК 004.93'1

Т.Б. МАРТИНЮК, А.В. КОЖЕМ'ЯКО, Б.І. КРУКІВСЬКИЙ, О.А. М'ЯКІШЕВ

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РАНЖУВАННЯ У НЕЙРОМЕРЕЖНОМУ КЛАСИФІКАТОРІ ОБ'ЄКТІВ

Вінницький національний технічний університет, Хмельницьке шосе 95, 21021, м. Вінниця, Україна, e-mail: kvantron@gmail.com

Анотація.

У складі експертних систем різного призначення однією з базових є підсистема підтримки прийняття рішень, яка, у свою чергу, потребує необхідності у процедурі класифікації об'єктів. Особливо наочно це спостерігається в інтелектуальних системах медичного діагностування, в яких широко застосовуються методи та засоби штучного інтелекту. В цьому контексті на високому рівні ефективно зарекомендував себе підхід із залученням сучасних методів нейротехнології. В даній роботі розглядається варіант структурної організації нейромережного класифікатора об'єктів як вдосконаленої моделі нейромережі Хеммінга. Особливістю наведеного варіанта класифікатора є розширення його функціональних можливостей за рахунок формування рангів входження класифікованого об'єкта до всіх визначених класів. На прикладі медичного діагностування це означає ранжування всіх можливих діагнозів захворювання, тобто визначення не тільки найбільш вірогідного діагнозу, але й найближчих за рангом до нього. Фактично це дозволить уточнювати поставлений діагноз, а отже, покращити результати медичного діагностування. Відповідно проведено імітаційне моделювання процесу класифікації з ранжуванням результатів, який відповідає класифікації з реалізацією конкуренції між нейронами конкурентного шару із залученням від'ємно-зворотних (латеральних) зв'язків. Такий підхід є базовим у теорії нейронних мереж для визначення нейрона-переможця за версією WTA (Winner Takes All). Імітаційне моделювання варіанта класифікації виконувалось із залученням конкретних біомедичних даних (вісьмох симптомів) для діагностування захворювань апендициту (чотирьох діагнозів). Результати моделювання процесів нейромережної класифікації об'єктів з формуванням відповідних рангів наведено у вигляді таблиці. Вони підтвердили правильність алгоритму функціонування для розглянутої моделі класифікації.

Ключові слова: ранжування, нейромережний класифікатор об'єктів, медичне діагностування.

Abstract.

As part of expert systems for various purposes, one of the basic ones is the decision support subsystem, which, in turn, requires the need for a procedure for classifying objects. This is especially evident in intelligent medical diagnostic systems, which widely use artificial intelligence methods and tools. In this context, an approach involving modern neurotechnology methods has proven to be effective at a high level. This paper considers a variant of the structural organization of a neural network classifier of objects as an improved model of the Hamming neural network. The peculiarity of this variant of the classifier is the expansion of its functionality by forming the ranks of the classified object in all defined classes. In the case of medical diagnosis, this means ranking all possible diagnoses of a disease, i.e. determining not only the most likely diagnosis, but also the closest in rank to it. In fact, this will allow us to clarify the diagnosis, and thus improve the results of medical diagnosis. Accordingly, we simulated the classification process with the ranking of results, which corresponds to the classification with the realization of competition between the neurons of the competitive layer using negative-reverse (lateral) connections. This approach is basic in the theory of neural networks for determining the winning neuron according to the WTA (Winner Takes All). Simulation modeling of the classification variant was performed using specific biomedical data (eight symptoms) for the diagnosis of appendicitis (four diagnoses). The results of modeling the processes of neural network classification of objects with the formation of appropriate ranks are presented in the form of a table. They confirmed the correctness of the functioning algorithm for the considered classification model.

Key words: ranking, neural network classifier of objects, medical diagnosis.

DOI: 10.31649/1681-7893-2024-48-2-128-134

ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

ВСТУП

На сьогоднішній час в інтелектуальних системах різного призначення найбільш ефективним вважається застосування нейромережних технологій [1-3]. Особливо це стосується аспектів медичного діагностування [4, 5] як для аналізу та класифікації медичних зображень [6-8], так і в якості підсистеми підтримки прийняття рішень [9, 10].

АКТУАЛЬНІСТЬ

У загальному вигляді процес медичного діагностування складається з трьох логічно пов'язаних етапів [11, 12]:

- збору біомедичних даних;
- оброблення інформації з визначенням найбільш істотних ознак (симптомів);
- постановки діагнозу.

Не зменшуючи важливість перших двох етапів, необхідно визнати, що саме третій етап є найбільш вагомим і складним, і тому він реалізується широким спектром методів та засобів, зокрема, із застосуванням штучного інтелекту [13-15]. Важливе місце при цьому займають нейромережні методи та засоби медичного діагностування [4, 11], враховуючи, не в останню чергу, розширення функціональних можливостей нейромережних класифікаторів у складі інтелектуальних систем [16] за рахунок ранжування отриманих результатів.

МЕТА

Метою роботи є аналіз процесу ранжування результатів медичного діагностування.

СТРУКТУРНІ МОДЕЛІ НЕЙРОМЕРЕЖНОГО КЛАСИФІКАТОРА ОБ'ЄКТІВ

Базовою моделлю простого нейромережного класифікатора об'єктів вважається мережа Хеммінга як гетероасоціативна пам'ять [1, 17], структуру якої у загальному вигляді можна представити як нейромережу з шаром персептрона і конкурентним шаром нейронів типу WTA (Winner Takes All) (рис.1) [18]. У даному випадку основне функціональне навантаження припадає на другий шар нейронів, де реалізується механізм конкуренції нейронів. В результаті одиничний сигнал y_k на виході нейрона-переможця цього шару вказує на конкретний k -ий клас, до якого належить вхідний об'єкт з ознаками x_1, \dots, x_n . Структуру, що представлена на рис.1, використано для класифікації на базі дискримінантних функцій DF_1, \dots, DF_m для медичного діагностування [16-23].

У даному випадку ще одним з варіантів реалізації процесу конкуренції нейронів є метод сортування з ранжуванням результатів класифікації. Отже, розширення функціональних можливостей нейромережного класифікатора об'єктів потребує збільшення його структури за рахунок додавання двох шарів (рис.2): маскувального та підсумкового шарів [16]. При цьому як і у мережі Хеммінга для реалізації конкуренції задіяно латеральні зв'язки між нейронами у конкурентному шарі, які виконують функцію від'ємного зворотного зв'язку.

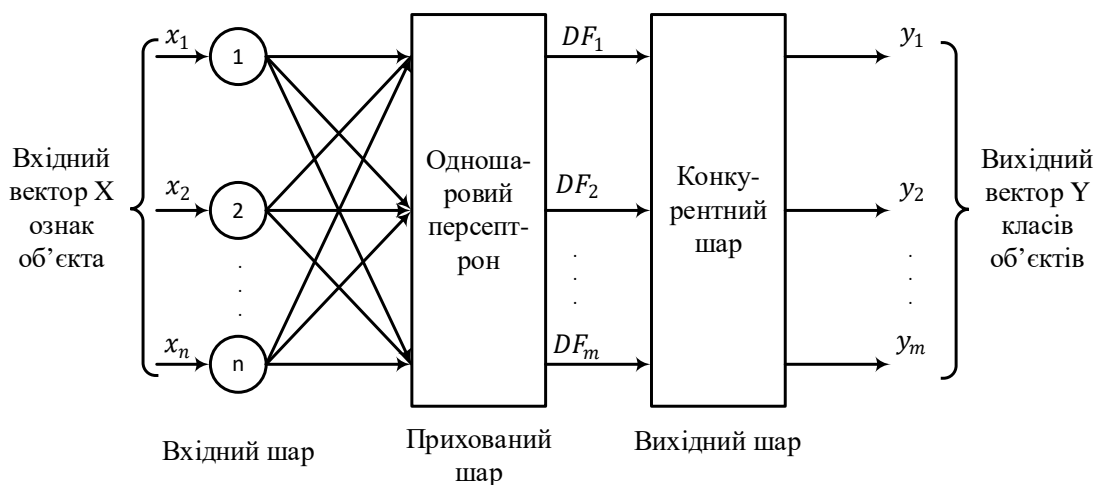


Рисунок 1 – Приклад нейромережного класифікатора

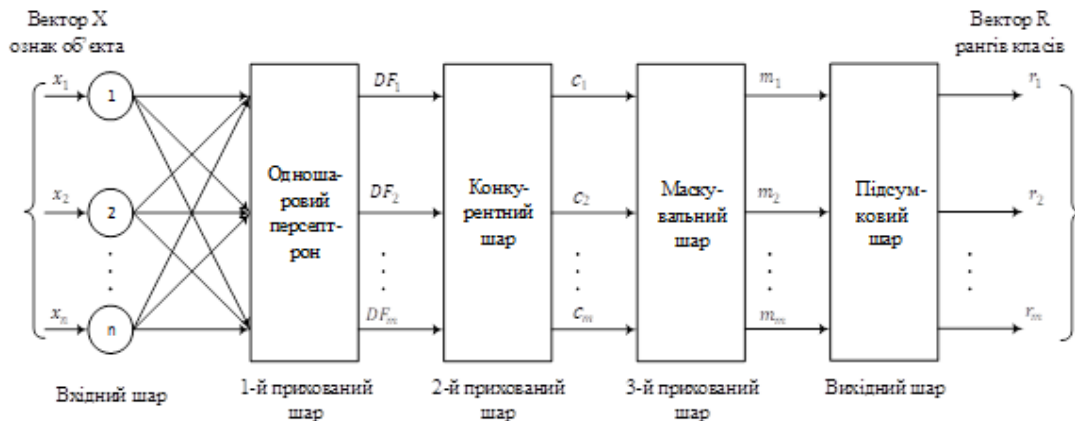


Рисунок 2 – Структура нейромережного класифікатора з ранжуванням класів

На рис.2 задіяно такі позначення: c_1, \dots, c_m – ознаки обнуління; m_1, \dots, m_m – ознаки маскуванню; r_1, \dots, r_m – елементи вектора R рангів m класів. Отже, процес сортування у конкурентному шарі класифікатора дозволяє визначитись з послідовністю числових значень на виходах нейронів цього шару від найменшого до найбільшого [16]. А це, у свою чергу, дозволить за допомогою маскувального шару послідовно сформувати у підсумковому шарі відповідні ранги від 1 до m , де m – кількість класів. Саме цю модель процесу ранжування використано для імітаційного моделювання нейромережного класифікатора.

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НЕЙРОПОДІБНОГО РАНЖУВАННЯ ДЛЯ МЕДИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

Для імітаційного моделювання обчислювального процесу в нейромережному класифікаторі (рис.2) обрано конкретний варіант діагностування захворювань апендициту. Медичні дані з медичних карток 103-х пацієнтів з доведеним діагнозом наведено у публікації [19].

Розглянуто три типи захворювань апендициту: y_1 – гангренозний, y_2 – флегмонозний, y_3 – катаральний, а також y_4 – інші патології живота, тобто непідтверджений діагноз. При цьому задіяно вісім симптомів x_1, \dots, x_8 , кодування яких наведено у табл. 1 [19].

Таблиця 1

Кодування симптомів захворювань

Симптоми	Назва симптому	Ступінь вираження та коди
x_1	Біль у правій повздожній області	1 – незначні 2 – виражені
x_2	Тривалість болю у правій повздожній області	1 – більше 2-х діб 2 – 25-28 год. 3 – 13-24 год. 4 – до 12 год.
x_3	Частота пульсу	1 – до 80 2 – 81-100 3 – більше 100 уд/хв.
x_4	Лейкоцити крові	1 – до 8 2 – 8-14 3 – більше 14 тис/мкл.
x_5	Зміни язика	0 – не обкладений 1 – обкладений
x_6	Симптом Щоткіна – Блюмберга	0 – відсутне 2 – виражений
x_7	Симптом Розвінга	0 – відсутне 2 – виражений
x_8	Захисне м'язове напруження	0 – відсутне 2 – виражений

ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

В даній роботі використано відомий метод розпізнавання на базі дискримінантного аналізу [16, 19, 20], який ефективно застосовується для медичного діагностування і забезпечує його точність до 80% прийняття безпомилкових рішень [11]. За допомогою ППП Statistica можна розрахувати матрицю вагових коефіцієнтів w_{ij} та порогів класифікації b_i для нейронів перцептронного шару (рис.2).

Отримані дані відповідають коефіцієнтам і вільним елементам чотирьох лінійних дискримінантних функцій (DF) такого вигляду:

$$\begin{aligned} DF_1 &= -63,0 + 9,8x_1 + 3,6x_2 + 7,8x_3 + 5,2x_4 + 14,3x_6 + 11,8x_7 + 11,3x_8, \\ DF_2 &= -57,4 + 8,3x_1 + 4,9x_2 + 6,2x_3 + 4,3x_4 + 13,5x_6 + 11,7x_7 + 10,6x_8, \\ DF_3 &= -49,6 + 9,4x_1 + 4,7x_2 + 5,5x_3 + 3,0x_4 + 12,3x_6 + 12,0x_7 + 8,3x_8, \\ DF_4 &= -23,0 + 6,3x_1 + 2,5x_2 + 5,3x_3 + 2,8x_4 + 7,8x_6 + 7,0x_7 + 5,8x_8. \end{aligned} \quad (1)$$

У наведених формулах (1) відсутній елемент x_5 , який визнано як неістотний (з незначним впливом на величини DF_1, \dots, DF_4).

На рис.3 наведено блок-схему алгоритму нейромережової класифікації з ранжуванням результатів, яка ілюструє такі дії:

- Введення симптомів.
- Розрахунок дискримінантних функцій.
- Запис результатів розрахунку дискримінантних функцій у масив list_ldf.
- Створення буферного масиву list_ldf_b на m елементів, де m – кількість класів, для цього копіюється масив за допомогою вбудованої функції copy().
- Створення масиву рангів rank на m елементів та присвоєння усім елементам найнижчого рангу. Створення пустого буферного масиву buf.
- Цикл $s = 1$ поки $s > 4$.
- Цикл i для перебору елементів масиву дискримінантних функцій.
- Умова перевіряє чи визначений ранг для поточної ітерації, якщо так тоді перехід до наступної ітерації.
- Зменшення елемента за формулою (2) та запис у масив list_ldf_b.
- Умова, якщо елемент масиву list_ldf_b ≤ 0 , то перехід до пункту 11, інакше перехід до наступної ітерації.
- Присвоєння відповідному елементу масиву рангів значення змінної s .
- Запис у масив buf значення поточної ітерації для подальшого її пропуску (пункт 8).
- Збільшення замінної s на 1.
- Після закінчення циклу i (пункт 7) копіювання масиву list_ldf_b у масив list_ldf та повернення до циклу s (пункт 6).
- Після закінчення циклу s (пункт 6) виведення масиву рангів rank.

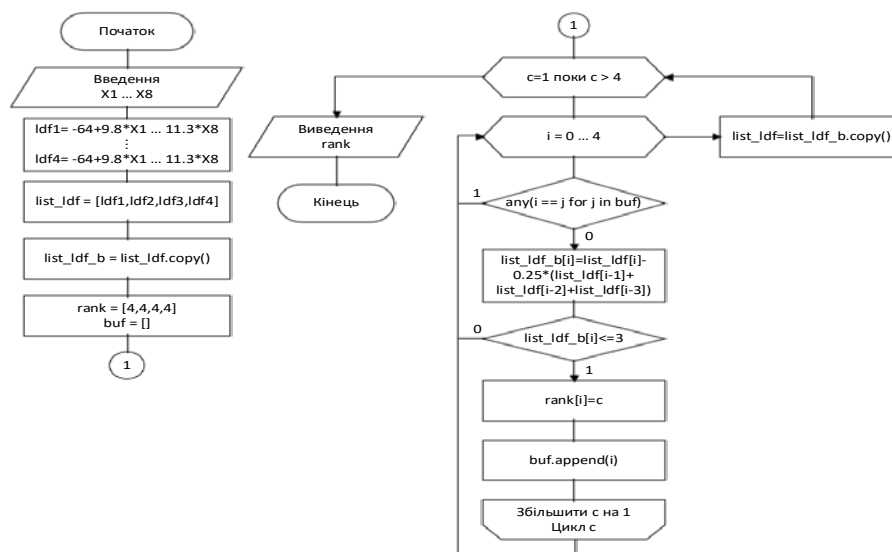


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритму нейромережової класифікації з ранжуванням результатів

ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Дії у пункті 9 стосуються нейромережного підходу до класифікації, який полягає у тому, що знаходження найбільшого значення дискримінантних функцій відбувається за рахунок їх поступового змінення в процесі від'ємно-зворотного зв'язку за формулою:

$$u_i(t + 1) = u_i(t) - \varepsilon \sum_{\substack{p=1 \\ p \neq i}}^m (u_p(t)), \quad (2)$$

де $\varepsilon = 1/m$ – коефіцієнт латерального зв'язку; $u_i(t+1)$, $u_i(t)$ – вихід i -го нейрона відповідно у $(t+1)$ -у та (t) -у ітераціях.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДЕЛЮВАННЯ

За розробленою блок-схемою (рис.3) створено програму на мові Python, яка проводить класифікацію за обраними симптомами та виводить ранги від 1 до 4, де 4 – найбільш ймовірний, 1 – найменш ймовірний ранги діагнозів. Для перевірки використано по одному типу захворювань апендициту із навчальної вибірки (табл.2) [14].

Таблиця 2

Дані для перевірки

Діагноз	Симптоми							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
y_1	2	3	2	2	1	2	2	2
y_2	2	4	2	2	1	2	0	2
y_3	2	4	1	2	0	0	2	2
y_4	1	1	2	1	0	0	2	0

На рис.4 представлено результати комп'ютерного моделювання процесу класифікації з ранжуванням для даних з табл.2.

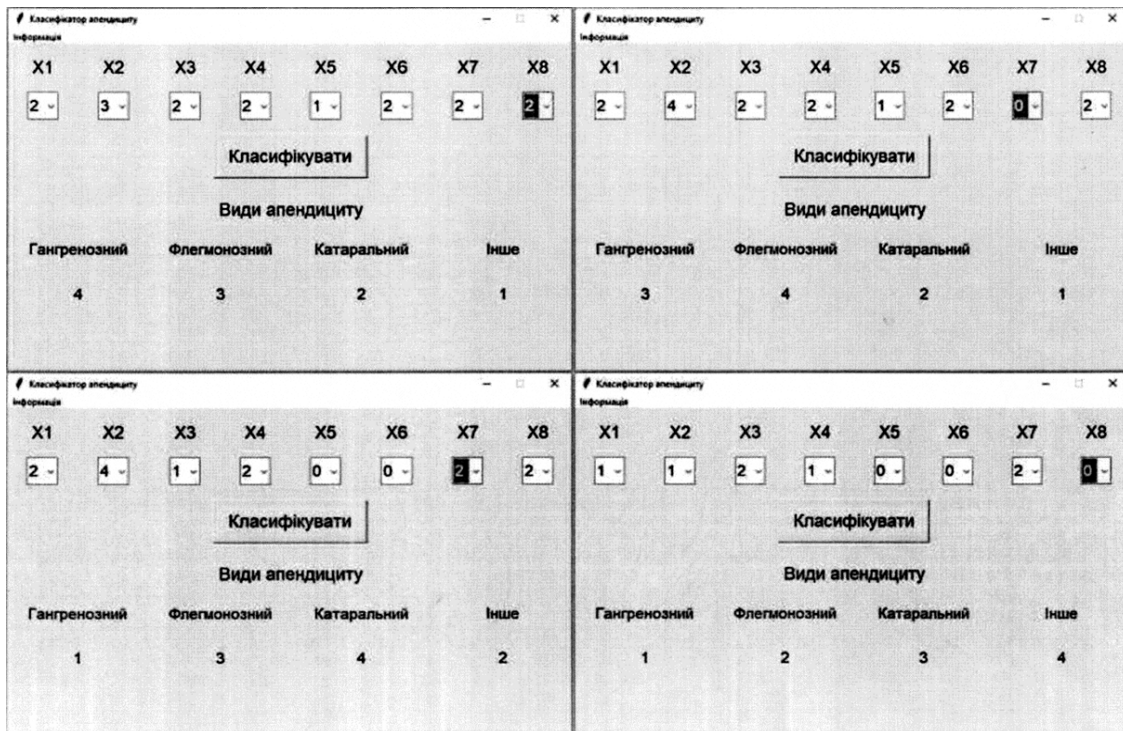


Рисунок 4 – Результати комп'ютерного моделювання процесу класифікації з ранжуванням

ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Аналіз отриманих результатів комп'ютерного моделювання (рис.4) показав, що для обраних прикладів чотирьох наборів симптомів (табл.2) найвищий ранг «4» відповідає правильному (підтверженому) діагнозу. Отже, перевагою ранжування результатів медичного діагностування є те, що разом з найвищим рангом, який відповідає найбільш вірогідному діагнозу захворювання, можна визначитись з найближчими за рангами можливими діагнозами. А це, у свою чергу, дозволить уточнити остаточний діагноз, наприклад, в результаті поширення списку симптомів за рахунок більш детальних досліджень пацієнтів.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто структурну модель нейромережного класифікатора, в якому введення двох шарів: маскувального і підсумкового додатково до одношарового перцептрона і конкурентного шару дозволяє розширити функціональні можливості класифікатора за рахунок формування рангів належності вхідного об'єкта до всіх класів. Це, у свою чергу, дає можливість уточнення результатів, наприклад, для медичного діагностування.

2. Результати імітаційного моделювання обчислювального процесу класифікації об'єктів з формування рангів підтверджують правильність алгоритму функціонування нейромережного класифікатора, що свідчить про доцільність його застосування як підсистеми підтримки прийняття рішень в інтелектуальних системах медичного діагностування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Haykin S., *Neural networks, A Comprehensive Foundation, Second ed.* Prantice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1999.
2. Jones M. T., *All Application Programming.* Charles River Media, Inc, 2003.
3. Gawlikowski, Jakob & Tassi, Cedrique & Ali, Mohsin & Lee, Jongseok & Humt, Matthias & Feng, Jianxiang & Kruspe, Anna & Triebel, Rudolph & Jung, Peter & Roscher, Ribana & Shahzad, Muhammad & Yang, Wen & Bamler, Richard & Zhu, Xiao, "A survey of uncertainty in deep neural networks", *Artificial Intelligence Review.* 56. 1-77. (2023). 10.1007/s10462-023-10562-9.
4. Kupershtein L., Martyniuk T., etc. (2016). Neural network approach in the stroke diagnosis, *Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Mining and Processing, DSMP 23-27 Aug. 2016.* DOI: 10.1109/DSMP.2016.7583525.
5. Aldape-Perez, M., Yanez-Marquez, C., Camacho-Nieto, O., & J Arguelles-Cruz, A. (2012). An associative memory approach to medical decision support systems, *Computer methods and programs in biomedicine*, 106(3), p. 287–307. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2011.05.002>.
6. Malhotra, Priyanka & Gupta, Sheifali & Koundal, Deepika & Zaguia, Atef & Enbeyle, Wegayehu. (2022). Deep Neural Networks for Medical Image Segmentation", *Journal of Healthcare Engineering.* 1-15. 2022.10.1155/2022/9580991.
7. Kshatri, Sapna & Singh, Deepak, "Convolutional Neural Network in Medical Image Analysis: A Review", *Archives of Computational Methods in Engineering.* 30. 2023. 10.1007/s11831-023-09898-w.
8. Landman, Jonas & Mathur, Natansh & Li, Yun & Strahm, Martin & Kazdaghi, Skander & Prakash, Anupam & Kerenidis, Iordanis, "Quantum Methods for Neural Networks and Application to Medical Image Classification". *Quantum.* 6. 881. 2022) 10.22331/q-2022-12-22-881.
9. Rangaraj M. Rangayyan, *Biomedical Signal Analysis. Second ed.* Wiley-IEEE Press, 2015.
10. В. Вуйцик, О.З.Готра, та В.В. Григор'єв, *Експертні системи.* Львів, Україна: Ліга-Прес, 2006.
11. Yashbir & Farrelly, Colleen & Hathaway, Quincy & Choudhary, Ashok & Carlsson, Gunnar & Erickson, Bradley & Leiner, Tim, (2023). The Role of Geometry in Convolutional Neural Networks for Medical Imaging", *Mayo Clinic Proceedings: Digital Health.* Volume 1, Issue 4. P. 451-642. 10.1016/j.mcpdig.2023.08.006.
12. Callan R., *The Essence of Neural Networks.* Prantice Hall Europe, NY, 1999.
13. S. Osowski, *Sieci neuronowe do przetwarzania informacji.* Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013.
14. Martyniuk T.B., Kupershtein L.M., Medvid A.V., Kozhemiako A.V, Wojcik W., and Yuchshenko O. (2012). Applications of Discriminant Analysis Methods in Medical Diagnostics», *Optical Fibers and Their Applications: Proceedings of SPIE 8698, 86980.*

ОПТИЧНА І КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА В КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

15. Xiaozhou Yang, Linear Discriminant Analysis, Explained". Available at: <https://towardsdatascience.com/linear-discriminant-analysis-explained-f88be6c1e00b> (accessed 5.10.2020).
16. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. (2019). Information Technology in Medical Diagnostics II. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book, 336 Pages.
17. Wójcik Waldemar, Smolarz Andrzej (2017). Information Technology in Medical Diagnostics, July 11, 2017 by CRC Press, 210 Pages.
18. Highly linear Microelectronic Sensors Signal Converters Based on Push-Pull Amplifier Circuits / edited by Waldemar Wojcik and Sergii Pavlov, Monograph, (2022) NR 181, Lublin, Comitet Inzynierii Srodowiska PAN, 283 Pages. ISBN 978-83-63714-80-2
19. Pavlov Sergii, Avrunin Oleg, Hrushko Oleksandr, and etc. (2021). System of three-dimensional human face images formation for plastic and reconstructive medicine // Teaching and subjects on bio-medical engineering Approaches and experiences from the BIOART-project Peter Arras and David Luengo (Eds.), , Corresponding authors, Peter Arras and David Luengo. Printed by Acco cv, Leuven (Belgium). - 22 P. ISBN: 978-94-641-4245-7.
20. Pavlov S.V., Avrunin O.G., etc. (2019). Intellectual technologies in medical diagnosis, treatment and rehabilitation: monograph / [S. In edited by S. Pavlov, O. Avrunin. - Vinnytsia: PP "TD "Edelweiss and K", 260 p. ISBN 978-617-7237-59-3.
21. Romanyuk, O., Zavalniuk, Y., Pavlov, S., etc. (2023). New surface reflectance model with the combination of two cubic functions usage, Informatyka, Automatyka, Pomiar y w Gospodarce i Ochronie Srodowiska, , 13(3), pp. 101–106
22. Kukharchuk, Vasyl V., Sergii V. Pavlov, Volodymyr S. Holodiuk, Valery E. Kryvonosov, Krzysztof Skorupski, Assel Mussabekova, and Gaini Karnakova. (2022). "Information Conversion in Measuring Channels with Optoelectronic Sensors" *Sensors* 22, no. 1: 271. <https://doi.org/10.3390/s22010271>.
23. Vasyl V. Kukharchuk, Sergii V. Pavlov, Samoil Sh. Katsyv, and etc. (2021). Transient analysis in 1st order electrical circuits in violation of commutation laws", *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 97 NR 9/2021, p. 26-29, doi:10.15199/48.2021.09.05.

Стаття надійшла: 20.09.2024 р.

МАРТИНЮК ТЕТЯНА БОРИСІВНА – д.т.н., професор, професор кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, [e-mail: martyniuk.t.b@gmail.com](mailto:martyniuk.t.b@gmail.com)

КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ – к.т.н., доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки, Вінницький національний технічний університет, [e-mail: kvantron@gmail.com](mailto:kvantron@gmail.com)

КРУКІВСЬКИЙ БОГДАН ІГОРОВИЧ – аспірант факультету інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії, Вінницький національний технічний університет, [e-mail: smiletex11@gmail.com](mailto:smiletex11@gmail.com)

М'ЯКІШЕВ ОЛЕКСАНДР АНДРІЙОВИЧ – магістр факультету інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, [e-mail: sasha10.02m@gmail.com](mailto:sasha10.02m@gmail.com)

T.B. MARTYNIUK, A.V. KOZHEMIAKO B.I. KRUKIVSKYI, A.A. MYAKISHEV
**MODELING THE RANKING PROCESS IN THE NEURAL NETWORK CLASSIFIER OF
OBJECTS**

Vinnytsa National Technical University, Vinnytsia, Ukraine