

УДК 004.93'1

**Т. Б. Мартинюк, д-р техн. наук, проф.; А. В. Кожем'яко, канд. техн. наук, доц.;
Д. О. Каташинський; І. В. Булига**

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ КЛАСИФІКАЦІЇ У КОНТЕКСТІ МЕДИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

Для підсистеми підтримки прийняття рішень у складі експертних систем різного призначення актуальною задачею є можливість формування рангів стосовно отриманих результатів. Цю можливість можна реалізувати, якщо використовувати результати попередньої класифікації об'єктів. У цій роботі розглядається варіант реалізації процедури класифікації об'єктів із ранжуванням у контексті медичного діагностування захворювань. В якості базового задіяно метод класифікації з використанням лінійних дискримінантних функцій. Показано, що двома базовими операціями класифікації в цьому випадку є сформування лінійних дискримінантних функцій векторно-матричним помножувачем та вибірка максимальної з них максимізатором типу "1 з N". Враховуючи те, що ранжування результатів класифікації виконується після застосування до лінійних дискримінантних функцій механізму конкуренції через максимізатор, у роботі розглянуто варіанти реалізації такої функції максимізатора.

В результаті особливий інтерес з точки зору часових та апаратних витрат становить альтернативний метод числового сортування із застосуванням швидкісної операції декремента паралельно до всіх елементів числового масиву. Це, у свою чергу, дозволяє для формування рангів елементів задіяти швидкісну операцію інкремента. Обидві ці операції декремента/інкремента можна ефективно реалізувати на реверсивних лічильниках, що збільшить регулярність структури класифікатора. Отже, для цього класичну структуру класифікатора необхідно доповнити ранжувальником після максимізатора.

Результати імітаційного моделювання підтвердили слушність процесу медичного діагностування з ранжуванням визначених діагнозів захворювань. Важливо підкреслити, що актуальність ранжування результатів класифікації об'єктів під час медичного діагностування захворювань полягає в тому, що існує можливість розглядати не тільки діагноз з найбільшим рангом, але й найближчі до нього. Все це свідчить про наочність та зручність такого процесу медичного діагностування.

Ключові слова: медичне діагностування, класифікація об'єктів, ранжування, сортування, лінійна дискримінантна функція.

Вступ

Одним із перспективних напрямків застосування методів та засобів класифікації об'єктів як складової процедури експертних систем є медичне діагностування [1, 2]. У цьому напрямку активне застосування знаходять засоби нейротехнологій [3, 4], тому з точки зору перспективності особливий інтерес становлять удосконалені методи та засоби класифікації об'єктів із залученням нейромережних підходів [5 – 7].

Актуальність тематики

Специфіка використання підсистеми підтримки прийняття рішень у складі експертних систем полягає не тільки у формуванні множин можливих рішень у відповідь на конкретний запит [8]. Крім того, важливо визначитися не лише з найбільш вірогідним із прийнятих рішень, але й враховувати для подальшого розгляду рішення із меншою визначеною вірогідністю.

Для цього необхідно виконати ранжування результатів [9, 10] під час класифікації об'єктів взагалі і під час медичного діагностування конкретно, оскільки це, в першу чергу, сприяє

підвищенню точності медичного діагностування.

Мета

Метою роботи є розширення можливостей класифікації об'єктів за рахунок ранжування результатів з орієнтацією на медичне діагностування.

Постановка завдання

У роботі розглядається удосконалення моделі класифікатора об'єктів на базі дискримінантного аналізу [1, 11, 12]. Поширеним методом при цьому є метод класифікації з використанням лінійних дискримінантних функцій (ЛДФ) [11, 12]. Базовим застосуванням для цього методу є [12]:

$$g_i(X) = \sum_{j=1}^n w_{ij} \cdot x_j - w_{io}x_o, \quad i = \overline{1, m}, \quad (1)$$

$$X \in C_k \Leftrightarrow k = \arg \max \{g_k(X)\}, \quad k = \overline{1, m}, \quad (2)$$

де x_j – j -ий елемент n – вимірного вхідного вектора ознак X ; w_{ij} – вага j -го входу i -ої ЛДФ $g_i(X)$; $C = \{C_1, \dots, C_m\}$ – множина класів; $w_{io}x_o$ – вільний елемент i -ої ЛДФ $g_i(X)_i$; m – кількість класів.

Отже, процес класифікації за ЛДФ містить дві процедури: перша пов'язана з формуванням відповідних ЛДФ (1), а друга визначає k – й клас (2) на виході y_k класифікатора за максимальною величиною k – ої ЛДФ $g_k(X)$ з m визначених ЛДФ.

Таким чином, структура класифікатора, що реалізує процес класифікації за ЛДФ вигляду (1) і (2), складається з двох базових вузлів (рис. 1), а саме, з формувача ЛДФ у вигляді векторно-матричного помножувача та максимізатора типу “1 з N”.

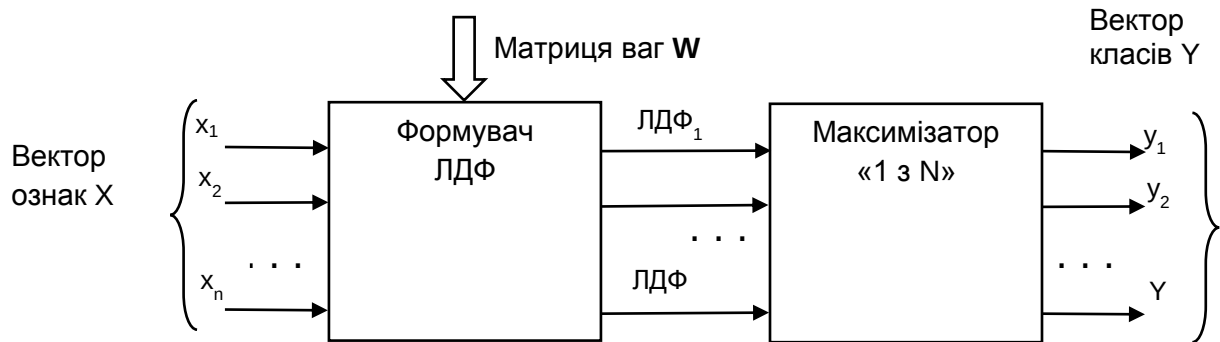


Рис. 1. Структура класифікатора

Структурні та функціональні особливості класифікатора

Якщо розглядати нейромережний варіант реалізації такого класифікатора (рис. 1), то він містить одношаровий персептрон як перший шар та другий шар, що забезпечує механізм конкуренції нейронів, тобто конкурентний шар [10, 13], який може бути виконаний як мережа MAXNET [14, 15].

В цьому випадку, якщо структура і принцип функціонування одношарового персептрона

відомі [13 – 15], то реалізація другого шару нейромережного класифікатора, зокрема максимізатора (рис. 1), припускає декілька варіантів. Наприклад, для нейромережного варіанта це може бути будь-яка мережа з функцією MAXNET: або з від'ємними латеральними зв'язками в конкурентному шарі, або зі структурою Feed-Forward MAXNET [13, 14].

Альтернативним варіантом реалізації максимізатора (рис. 1) може бути сортувальна мережа. В цьому випадку можливі два варіанти за принципом функціонування сортувальної мережі: перший – на базі попарного порівняння та перекомутації елементів числового масиву [16, 17], а другий – на базі паралельної операції декременту над усіма елементами масиву [18].

Для розширення функціональних можливостей класифікатора (рис. 1) необхідно ввести додатковий вузол – ранжувальник після максимізатора. В результаті найбільш прийнятними варіантами побудови максимізатора є два, а саме, нейромережа з від'ємними матеріальними зв'язками у конкурентному шарі [13 – 15], а також сортувальна мережа із використанням паралельної операції декременту [10].

Це пов'язано з тим що в обох цих випадках на певну величину зменшуються значення всіх m ЛДФ з поступовим вилученням нульових або від'ємних серед них у кожному циклі оброблення. В результаті можна сформувати ранги всіх ЛДФ, починаючи з найменшого (від рангу, що дорівнює “1”) і задіючи операцію інкремента. В цьому випадку, якщо у нейромережному варіанті у кожному циклі кожна ЛДФ зменшується на конкретну величину, яка формується через від'ємні латеральні зв'язки [13 – 15], то у сортувальній мережі всі ЛДФ зменшуються в результаті операції декременту та однакову величину, що дорівнює 1.

Разом з тим необхідно врахувати той факт, що застосування швидкісних операцій декременту при сортуванні та інкремента при ранжуванні елементів числового масиву дозволяє при їх апаратній реалізації задіяти реверсивні лічильники [19 – 20]. Отже, зважуючи на часові та апаратні витрати більш перспективним є варіант реалізації класифікатора із застосуванням для максимізатора методу сортування на базі швидкісної операції декременту.

Моделювання процесу класифікації з ранжуванням результатів

На рис. 2 наведено блок-схему алгоритму класифікації з ранжуванням результатів на прикладі медичного діагностування захворювань на апендицит [12].

Блок-схема алгоритму ілюструє наступні дії:

1. Введення симптомів.
2. Розрахунок дискримінантних функцій.
3. Запис результатів розрахунку дискримінантних функцій у масив `list_LDF`.
4. Запис відсортованого масиву `list_LDF` у масив `list_LDF_sort`. Для цього використано вбудовану функцію `sorted()`.
5. Цикл i для перебору елементів масиву `list_LDF_sort`.
6. Цикл j для перебору елементів масиву `list_LDF`.
7. Умова, якщо елемент `list_LDF_sort[i] == list_LDF[j]`, то переходимо до пункту 8, інакше переходимо до наступної ітерації циклу j (пункт 6).
8. Присвоєння відповідному елементу масиву рангу $(4 - i)$ та перехід до наступної ітерації циклу i (пункт 5).
9. Після закінчення циклу i (пункт 6) виведення масиву рангів `list_LDF`.

В якості даних для моделювання обрано медичне діагностування симптомів та підтверджених діагнозів із 103 медичних карток пацієнтів [10, 12]. Для цього визначено три типи захворювання апендициту, а саме гангренозний, флегмонозний та катаральний, а також деяка патологія живота. Обрано 8 симптомів, які характерні для цього захворювання,

сформовано 4 ЛДФ [10]. Програму для моделювання створено на мові Python, результати якої підтвердили слушність процесу медичного діагностування з ранжуванням визначених діагнозів. Так, найбільший ранг "4" відповідає підтвердженому діагнозу у всіх вибраних наборах даних [10, 12]. Крім того, існує можливість більш детально розглянути діагноз з рангом "3" для уточнення отриманих результатів діагностування.

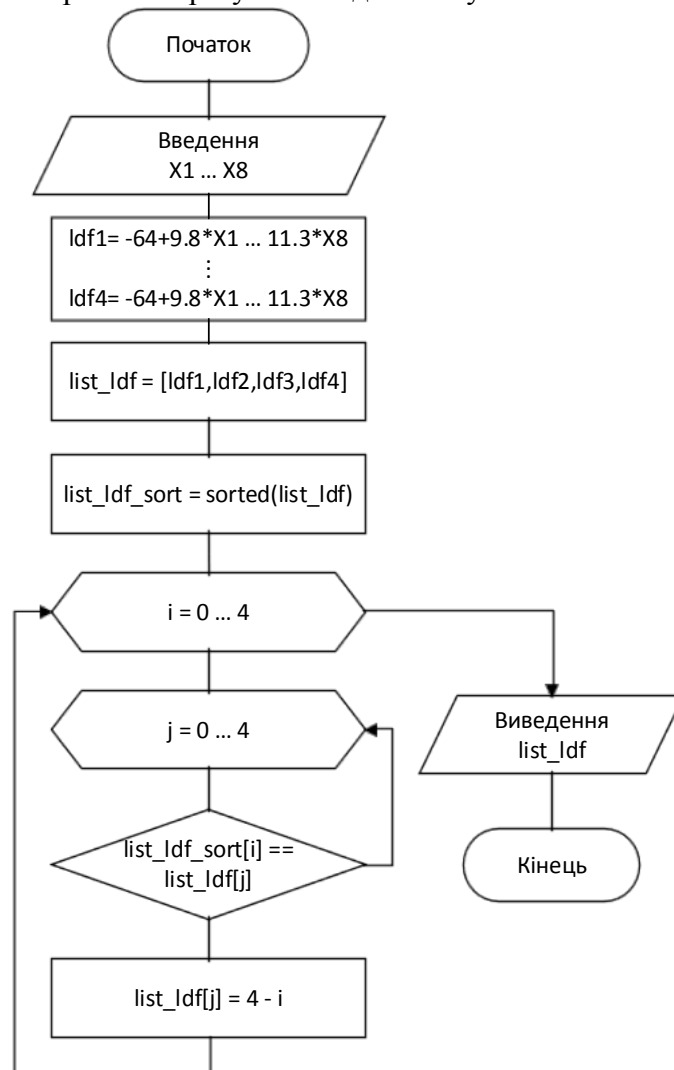


Рис.2. Блок-схема алгоритму класифікації з ранжуванням результатів

Результати

Операція сортування є одним з альтернативних підходів реалізації механізму конкуренції, тобто операції виділення максимального елемента у числовому масиві, якщо це стосується класифікації об'єктів.

Разом з тим, серед відомих методів числового сортування інтерес представляє метод із застосуванням швидкісної операції декремента паралельно до всіх елементів масиву у кожному циклі оброблення. Це дозволяє сформувати відповідні ранги в процесі поступового обнуління відповідних елементів масиву. В результаті можна задіяти операцію інкремента для формування рангів елементів масиву.

Відомо, що ранжування даних взагалі широко застосовується в процесі прийняття рішень. Особливе значення процедура ранжування результатів має при медичному діагностуванні через можливість аналізувати та уточнювати діагнози.

Висновки

1. Огляд сучасних публікацій показав переваги ефективного застосування методів та засобів штучного інтелекту у складних інтелектуальних системах. Зокрема, це стосується медичного діагностування захворювань, де добре себе зарекомендував метод класифікації об'єктів з використанням дискримінантних функцій.

2. Розглянуто структуру класифікатора на базі лінійних дискримінантних функцій (ЛДФ), причому для максимізатора у складі класифікатора проаналізовано варіанти реалізації процедури “1 із N”.

3. Доведено, що, враховуючи можливість не лише визначити максимальну за величиною ЛДФ, тобто результат класифікації, але й сформувані ранги всіх визначених ЛДФ, найбільш прийнятним є метод сортування із залученням швидкісної операції декремента стосовно всіх ЛДФ, а для їх ранжування – операції інкремента.

4. Застосування швидкісних операцій декремента/інкремента для виконання операцій сортування/ранжування ЛДФ забезпечує можливість реалізації вузлів максимізатора та ранжувальника у складі класифікатора на реверсивних лічильниках, що підвищує регулярність його структури за апаратної реалізації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Rangaraj M. Rangayyan, Biomedical Signal Analysis. Second ed. Wiley-IEEE Press, 2015. 720 p.
2. Вуйцик В., Готра О. З., Григор'єв В. В., Експертні системи. Львів, Україна: Ліга-Прес, 2006. 290 с.
3. Сверстюк А. С., Горкуненко А. Б. Нейромережеві експертні системи для діагностики та прогнозування стану серцево-судинної системи. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2014. № 4. С. 102–108.
4. Мартинюк Т. Б., Запетрук Я. В. Нейромережевий підхід до медичної експрес-діагностики. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. №6. С. 37–44.
5. Awad S. R., Alghareb F. S. Encoding-Based Machine Learning Approach for Health Status Classification and Remote Monitoring of Cardiac Patients. *Algorithms*. 2025. №18 (2). P. 94. <https://doi.org/10.3390/a18020094>.
6. Multi-Branch Spectral Channel Attention Network for Breast Cancer Histopathology Image Classification / L. Cao et al. *Electronics*. 2024. № 13 (2). P. 459. <https://doi.org/10.3390/electronics13020459>.
7. Recent Advances of Artificial Intelligence in Healthcare: A Systematic Literature Review / F. Kitsios et al. *Applied Sciences*. 2023. №13 (13). P. 7479. <https://doi.org/10.3390/app13137479>.
8. Ситник Р. Ф. Системи прийняття рішень. Київ, Україна: КНЕУ, 2004. 614 с.
9. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень. Київ, Україна: ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.
10. Моделювання процесу ранжування у нейромережевому класифікаторі об'єктів / Т. Мартинюк та ін. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2024. №48 (2). С. 128–134. <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-48-2-128-134>.
11. Brownlee J. Linear Discriminant Analysis for Machine Learning. URL: <https://machinelearningmastery.com/linear-discriminant-analysis-for-machine-learning/>.
12. Martyniuk T. B., Kupershtein L. M., Medvid A. V., Kozhemiako A. V., Wojcik W., Yuchshenko O., Applications of Discriminant Analysis Methods in Medical Diagnostics / *Proceedings of SPIE - Optical Fibers and Their Applications*. 2012. №8698. P. 86980. <https://doi.org/10.1117/12.2019733>.
13. Osowski S. Sieci neuronowe do przetwarzania informacji. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013. 490 p.
14. Callan R. The Essence of Neural Networks. Prantice Hall Europe, NY, 1999. 232 p.
15. Haykin S. Neural networks, A Comprehensive Foundation, Second ed. Prantice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1999. 842 p.
16. Knuth D. E. The Art of Computer Programming. V. 3. Sorting and Searching. 2nd Edition, Addison-Wesley Professional, 1998. 800 p.
17. Цмоць І. Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі. Монографія. Львів, Україна: Видавництво УАД, 2005. 227 с.
18. Мартинюк Т. Б., Круківський Б. І. Класифікаційний аналіз методів сортування. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2023. №3. С. 77–83. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-168-3-77-83>.
19. Находкін М. Г., Сизов Ф. Ф. Елементи функціональної електроніки. Київ, Україна: ВПФ УкрІНТЕІ, 2002. 324 с.

20. Кравчук С. О., Шонін В. О. Основи комп'ютерної техніки. Компоненти, системи, мережі. Навч. посібник. Київ, Україна: ІВІЦ «Видавництво Політехніка», 2005. 344 с.

Стаття надійшла до редакції 17.02.2025.

Стаття пройшла рецензування 12.03.2025.

Мартинюк Тетяна Борисівна – д-р техн. наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки.

Кожем'яко Андрій Вікторович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки, e-mail: kvantron@gmail.com.

Каташинський Дмитро Олександрович – аспірант кафедри обчислювальної техніки.

Булига Ігор Володимирович – аспірант кафедри обчислювальної техніки.

Вінницький національний технічний університет.