

А. І. Поворознюк¹
О.А. Поворознюк¹

ВРАХУВАННЯ СТАТИСТИЧНОЇ ТА ЕКСПЕРТНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В МЕДИЧНИХ СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

¹Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі побудови системи підтримки прийняття рішень на основі реалізації розробленої моделі діагностичного вирішального правила засобами сучасних інформаційних технологій. На основі аналізу методів, що використовуються для побудови діагностичного вирішального правила (ВП) у системах підтримки прийняття діагностичних рішень в медицині, запропоновано складові комбінованого ВП, які виражають два підходи до формулювання діагностичного висновку: об'єктивна складова, яка заснована на аналізі навчальної вибірки, та суб'єктивна складова, яка заснована на експертній інформації про структуру симптомомокомплексів. Мета дослідження – синтез комбінованого ВП на основі методу порівняння з прототипом, який враховує як об'єктивну, так і суб'єктивну складову процесу постановки діагнозу. У роботі розроблено математичну модель комбінованого ВП та обґрунтовано вибір його складових. В якості об'єктивної складової обраний метод порівняння з прототипом, в якому стани, що діагностуються (перелік діагнозів у заданій предметній області медицини) представляються їх прототипами в просторі ознак. В якості прототипу кожного класу розраховується геометричний центр уруповання класу. Формалізовано експертну інформацію про структуру симптомомокомплексів шляхом представлення симптомомокомплексу кожного захворювання числовими інтервалами лінгвістичних змінних. Розглянуто варіанти врахування експертних оцінок про структуру симптомомокомплексів при обчисленні координат прототипів класів (колектив вирішальних правил, зважування та підсумовування оцінок). На основі розробленої математичної моделі комбінованого ВП виконано проектування системи підтримки прийняття рішень та комплексна перевірка розробленої системи на реальних медичних даних, яка підтвердила ефективність роботи системи.

Ключові слова: вирішальне правило, діагностичний висновок, навчальна вибірка, метод порівняння з прототипом, експертна інформація, структура симптомомокомплексу, формалізація, підтримка прийняття рішень

Вступ

На теперішній час є широкий спектр комп'ютерних систем підтримки прийняття рішень в різних предметних областях медицини [1-3], в яких постановка комп'ютерного діагнозу в формалізованому виді представляється задачею класифікації, тобто реалізується вирішальне правило (ВП) визначення стану D_i діагностуемого об'єкта (пацієнта) ω_i при аналізі вектора вхідних ознак X_i [4, 5]. ВП визначається на етапі навчання при аналізі навчальної вибірки, елементами якої виступають пацієнти з підтвердженим діагнозом (об'єктивна складова). При цьому репрезентативність вибірки не завжди можна досягти в існуючих медичних базах даних, особливо при діагностиці рідкісних захворювань [5,6]. Крім того, практикуючі лікарі з недовірою відносяться до результатів комп'ютерного діагнозу та зазначають труднощі при інтерпретації результатів діагностики.

Традиційна діагностика заснована на систематичному огляді пацієнта, аналізі анамнезу, скарг та об'єктивних ознак захворювання, що були виявлені при фізичному дослідженні – огляді, перкусії та ін. а також за допомогою лабораторно-інструментальних досліджень.

Згідно з принципами доказової медицини [7], практикуючий лікар використовує наступну логіку постановки діагнозу. Виявлені ознаки (симптоми) захворювання лікар об'єднує в синдроми (сукупність симптомів, що мають спільний патогенез), на основі яких робиться висновок про можливе захворювання. При цьому важливу роль відіграє кваліфікація та досвід лікаря (суб'єктивна

складова). При побудові систем комп'ютерного діагнозу необхідно вирішити задачу формалізації експертної інформації.

Таким чином, можна відзначити, що використовуються два підходи до формулювання діагностичного висновку: об'єктивна складова, яка заснована на аналізі навчальної вибірки, та суб'єктивна складова, яка заснована на експертній інформації про структуру симптомокомплексів.

Тому **актуальною задачею** є розробка методу синтезу діагностичного ВП, який об'єднує вказані підходи.

Метою роботи є розробка комбінованого вирішального правила, яке б дозволило врахувати як об'єктивну, так і суб'єктивну складову процесу постановки діагнозу.

Постановка задачі

Для досягнення мети роботи необхідно:

1. Обґрунтувати вибір математичного методу класифікації об'єктів на задане число класів на основі аналізу об'єктів навчальної вибірки в просторі діагностичних ознак.
2. Формалізувати експертну інформацію щодо структури симптомокомплексів діагностуємих станів (захворювань).
3. Розробити математичну модель комбінованого вирішального правила.
4. Розглянуто варіанти врахування складових вирішального правила при формуванні діагностичного висновку.
5. Виконати програмну реалізацію комбінованого вирішального правила та комплексну перевірку на реальних медичних.

Результати дослідження

Розробка моделі комбінованого вирішального правила. В якості об'єктивної складової ВП роботі використовується метод порівняння з прототипом [5,6], який найчастіше використовується при аналізі числових ознак, в випадку, коли класи Ω_m ($m = \overline{1, M}$) утворюють компактні множини об'єктів, що мають сферичну форму в просторі ознак. При цьому кожний із класів Ω_m описується прототипом ω^{m^3} , у якості якого вибирається геометричний центр угруповання класу. При реалізації методу розрізняють *етап навчання*, та *етап класифікації*.

На *етапі навчання* обчислюються координати прототипу кожного класу по формулі

$$x_i^{m^3} = \frac{1}{n_m} \sum_{j=1}^{n_m} x_i^j, \quad (i = \overline{1, p}), \quad (m = \overline{1, M}), \quad (1)$$

де $x_i^{m^3}$ – i -та координата еталонного об'єкта класу Ω_m ;

n_m – кількість об'єктів класу Ω_m в навчальній вибірці;

x_i^j – i -та координата j -го об'єкта класу Ω_m в навчальній вибірці;

p – розмір координатного простору (кількість діагностичних ознак);

M – кількість класів, на які виконується класифікація невідомого об'єкта (кількість діагностуємих станів в даній предметній області медицини);

На *етапі класифікації* (постановка діагнозу) обчислюються відстані $R(\omega, \omega^{m^3})$ від точки класифікуємого об'єкта ω в просторі ознак до кожного прототипу ω^{m^3} класу m по формулі

$$R(\omega, \omega^{m^3}) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i^\omega - x_i^{\omega^{m^3}})^2}, \quad (m = \overline{1, M}), \quad (2)$$

Невідомий об'єкт ω належить до того класу ω^t , відстань до прототипу якого $R(\omega, \omega^t)$ буде мінімальною:

$$R(\omega, \omega^t) = \min_{m=1, M} R(\omega, \omega^{m^3}), \quad (3)$$

Врахування експертної інформації щодо структури симптомокомплексу. Інформацію про симптоми захворювань у неформалізованому виді можна знайти в різних медичних довідниках [8], яку можна вважати експертною оцінкою захворювання, виробленою багатьма поколіннями лікарів.

Розглянемо процес врахування експертних оцінок щодо структури симптомокомплексу при обчисленні координат еталонів класів в методі порівняння з прототипом.

Лікарі-фахівці частіше за все оперують поняттями норми того чи іншого показника, що виражається у розбитті динамічного діапазону ознаки на три інтервали: “нижче норми”, “норма”, “вище норми”.

Якщо відомі значення динамічних діапазонів всіх ознак, а також граничні значення «норми», то для кожного діагностуемого стану D_i будується профіль захворювання, в якому кожна ознака, задається відповідним інтервалом. Таким чином виконується формалізація експертної оцінки симптомокомплексу. Можна вважати, що центри вказаних інтервалів і є числовим вираженням прототипу класу ω^{ml} , який одержано не по навчальній вибірці, а шляхом формалізації структури симптомокомплексу.

Будучи отриманими з різних передумов (статистика й думка експерта), вони описують загальну проблему з різних позицій. Природним є припущення, що їхнє спільне використання є перспективним, тому пропонуються наступні варіанти їхнього спільного використання:

- 1) Колектив ВП. Даний метод може бути проілюстрований у такий спосіб (рис. 1).

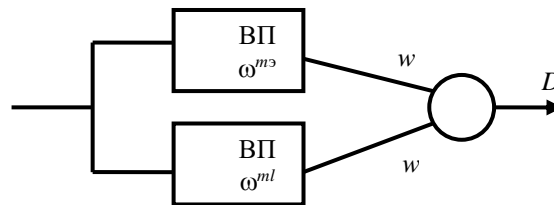


Рис. 1. Структурна схема реалізації колективу вирішальних правил

Вектор діагностичних ознак X_i аналізується за допомогою кожного із ВП, яким заданий ступінь довіри w_l . Блок логічного виводу формулює остаточний діагноз D_k на підставі зважених результатів роботи кожного з ВП. Варіанти реалізації блоку логічного виводу:

$$\min(R(\omega, \omega^{m3}), (R(\omega, \omega^{ml}))) \rightarrow D_k, \quad (4)$$

$$\min(w_1 R(\omega, \omega^{m3}) + w_2 (R(\omega, \omega^{ml}))) \rightarrow D_k. \quad (5)$$

2) Підсумовування оцінок. Остаточний варіант комбінованого ВП, що пропонується в даній роботі полягає у використанні суми оцінок складових кожної координати еталона у методі порівняння з прототипом. При цьому координати прототипа на етапі навчання в (1) обчислюються за формулою

$$x_i^m = k_1 x_i^{m3} + k_2 x_i^{ml}.$$

Вагові коефіцієнти k_i визначаються на етапі навчання системи і відповідають ступеню довіри до кожної складової. Кінцевий користувач-експерт повинен мати можливість корегувати ці значення на власний розсуд під особисту відповідальність. В подальшому класифікація нових об'єктів виконується за стандартним алгоритмом методу порівняння з прототипом по (2, 3).

У будь-якому разі, діагноз визначений за допомогою запропонованого ВП носить дорадчий характер. Рішення про постановку остаточного діагнозу приймає лікар.

Реалізація СППР та тестова перевірка. Найбільш привабливими засобами розробки програмного забезпечення на сьогодні є ті, що дозволяють створювати додатки, які є кросплатформним на рівні запуску. Лідерами в цій галузі є платформи. NET (Microsoft) і Java (Oracle Corporation). Враховуючи економічну складову і наявність останніх версій середовищ виконання для більшості сучасних платформ (Windows, UNIX, Linux) в якості платформи розробки обрано Java.

Дана мова дозволяє використовувати на пряму API системи Windows, має гнучкі можливості для роботи з пам'яттю, має багато бібліотек для роботи з інтерфейсом. В якості засобів проекту-

вання баз даних обрано MySQL. Сформульовані вимоги до функціональних можливостей системи. Розроблена архітектура програмного забезпечення системи, яка включає складові: ядро системи (забезпечує роботу з даними, формування знань, здійснює діагностику), базу даних та інтерфейс користувача (відповідність шаблону MVC в архітектурному плані).

Виконано тестування системи на реальній медичній базі даних навчальної вибірки, яка містить 253 записи навчальної вибірки, що включає 9 ознак клінічного аналізу крові та 4 діагнози. Її структура наведена у табл. 1.

Таблиця 1. – Структура навчальної вибірки

МКХ-10	Назва	Кількість осіб
D50	Залізодефіцитна анемія	60
D53.0	Анемія внаслідок недостатності білків	40
D55	Анемія внаслідок ферментних порушень	53
-	Умовно здоровий	100

Результати тестових випробувань показують, що спільне використання складових вирішального правила дозволяє підвищити ефективність постановки діагнозу на 13.4% відносно самостійного використання методу порівняння з прототипом (ефективність самостійного використання методу порівняння з прототипом 76.73%, самостійної діагностики, заснованої на описі симптомокомплексів – 37.56%, спільне використання – 90.1%).

Висновки

У роботі розроблена математична модель вирішального правила на основі модифікації методу порівняння з прототипом шляхом внесення експертної інформації щодо структури симптомокомплексів при обчисленні координат прототипів класів.

Формалізовано експертну інформацію про структуру симптомокомплексів шляхом представлення симптомокомплексу кожного захворювання числовими інтервалами лінгвістичних змінних. Розглянуто варіанти врахування експертних оцінок про структуру симптомокомплексів при обчисленні координат прототипів класів (колектив вирішальних правил, зважування та підсумовування оцінок).

На основі розробленої математичної моделі комбінованого ВП виконано проектування системи підтримки прийняття рішень та комплексна перевірка розробленої системи на реальних медичних даних, яка підтвердила ефективність роботи системи.

Подальші дослідження направлені на застосування розробленого вирішального правила при аналізі не тільки числових ознак, але і різномірної діагностичної інформації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] О.Г. Аврунін, С.В. Бодяньський, М.В. Калашник, В.В. Семенець, В.О. Філатов, *Сучасні інтелектуальні технології функціональної медичної діагностики*: монографія. Харків: ХНУРЕ, 2018. 236 с.
- [2] Iacopo Cricelli, Ettore Marconi, Francesco Lapi, Clinical Decision Support System (CDSS) in primary care: from pragmatic use to the best approach to assess their benefit/risk profile in clinical practice. *Current Medical Research and Opinion*, 2022, Vol. 38, Issue 5, P. 827-829 <https://doi.org/10.1080/03007995.2022.2052513>
- [3] С.В. Тимчик, С.М. Злепко, С.В. Костішин, Класифікація медичних інформаційних систем і технологій за інтегральним сукупним критерієм. *Системи обробки інформації* – 2016 – 3 (140) – С. 194-198.
- [4] Iskandar D., Wibowo W. A. S., & Triyono, G. Improving Healthcare Services Using Clinical Decision Support Systems: A Systematic Review. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling (JPDK)*, (2022). 4(6), 7441–7447. <https://doi.org/10.31004/jpdk.v4i6.9516>
- [5] А.И. Поворознюк, *Системы поддержки принятия решений в медицинской диагностике. Синтез структурированных моделей и решающих правил*. Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 314 с.
- [6] А.И. Поворознюк, О.А. Поворознюк, Х. Шехна, «Синтез комбінованого діагностичного вирішального правила в медичних системах підтримки прийняття рішень» *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2021, випуск 1(63),– С.103-106. doi: 10.26906/SUNZ.2021.1.
- [7] В.З Нетяженко Доказова медицина. Кому та що потрібно доводити. *Мистецтво лікування*. 2007, №5-С, С.14-16.
- [8] В.И. Бородулин А.В.Тополянський, *Справочник практического врача в 2-х книгах*. Книга 1 М.: Оникс; Мир и

REFERENCES

- [1] O.G. Avrunin, E.V. Bodyanskiy, M.V. Kalashnik, V.V. Semenets, V.O. Filatov, *Modern intellectual technologies of functional medical diagnostics*: monograph. Kharkiv: Khnure, 2018. 236 p.
- [2] Iacopo Cricelli, Ettore Marconi, Francesco Lapi, Clinical Decision Support System (CDSS) in primary care: from pragmatic use to the best approach to assess their benefit/risk profile in clinical practice. *Current Medical Research and Opinion*, 2022, Vol. 38, Issue 5, P. 827-829 <https://doi.org/10.1080/03007995.2022.2052513>
- [3] S.V. Tymchyk, S.M. Zlepko, S.V. Kostyshyn, Classification of medical information systems and technologies according to the integral aggregate criterion. *Information processing systems* - 2016 - 3 (140) - С. 194-198..
- [4] Iskandar D., Wibowo W. A. S., & Triyono, G. Improving Healthcare Services Using Clinical Decision Support Systems: A Systematic Review. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling (JPDK)*, (2022). 4(6), 7441–7447. <https://doi.org/10.31004/jpdk.v4i6.9516>
- [5] A.I. Povoroznyuk, *Decision support systems in medical diagnostics. Synthesis of structured models and decision rules*. Saarbrücken Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 314 p.
- [6] A.I. Povoroznyuk, O.A. Povoroznyuk, H. Shekhna, "Synthesis of a combined diagnostic decision rule in medical decision support systems" *Management, Navigation and Communication Systems*, 2021, issue 1(63),– C.103- 106. doi: 10.26906/SUNZ.2021.1 .
- [7] V.Z Netyazhenko Evidence-based medicine. To whom and what must be proved. The art of healing. 2007, No. 5-C, P.14-16.
- [8] V.I. Borodulin A.V. Topolyansky, *Handbook of a practical doctor in 2 books*. Book 1 M.: Onyx; World and Education, 2007. – 752 p.

Поворозник Анатолій Іванович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування e-mail: ai.povoroznjuk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2499-2350>

Поворозник Оксана Анатоліївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та програмування e-mail: povoks@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7524-5641>

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

A. I. Povoroznyuk¹
O.A. Povoroznyuk¹

Accounting of Statistical and Expert Information in Medical Decision Support Systems

¹National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

The work is devoted to solving the actual scientific and technical problem of building a decision support system based on the implementation of the developed model of the diagnostic decision rule by means of modern information technologies. Based on the analysis of the methods used to build a diagnostic decision rule (DRU) in diagnostic decision support systems in medicine, the components of a combined DRU are proposed, which express two approaches to the formulation of a diagnostic conclusion: an objective component, which is based on the analysis of educational samples, and the subjective component, which is based on expert information about the structure of symptom complexes. The purpose of the study is the synthesis of the combined DRU based on the method of comparison with the prototype, which takes into account both the objective and subjective components of the diagnosis process. The paper developed a mathematical model of the combined DRU and substantiated the choice of its components. As an objective component, the method of comparison with a prototype was selected, in which the diagnosed conditions (a list of diagnoses in a given subject area of medicine) are represented by their prototypes in the space of signs. As a prototype of each class, the geometric center of the class grouping is calculated. Expert information on the structure of symptom complexes is formalized by presenting the symptom complex of each disease with numerical intervals of linguistic variables. Variants of taking into account expert evaluations about the structure of symptom complexes when calculating the coordinates of class prototypes (collective decision rules, weighting and summarization of evaluations) are considered. On the basis of the developed mathematical model of the combined DRU, the decision support system was designed and a comprehensive check of the developed system was performed on real medical data, which confirmed the effectiveness of the system.

Keywords: decisive rule, diagnostic conclusion, training sample, method of comparison with the prototype, expert information, structure of the symptom complex, formalization, decision support.

Povoroznyuk Anatoly I. – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Department of Computer Engineering and Programming e-mail: ai.povoroznjuk@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2499-2350>

Povoroznyuk Oksana A. – Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Engineering and Programming e-mail: povoks@i.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7524-5641>