

## АНОТАЦІЯ

**Донець В. В. Методи й моделі стратифікації елементів комп'ютерних систем медичного моніторингу на основі мультиагентного підходу.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 – Комп'ютерні науки (Галузь знань 12 – Інформаційні технології). – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Міністерства освіти і науки України, Харків, 2024.

Дисертаційна робота присвячена розробці методів і моделей стратифікації елементів даних в комп'ютерних системах медичного моніторингу з використанням мультиагентного підходу, що є багатоетапною задачею з необхідністю узгодження протилежних цілей. Стратифікація – це багатоетапний процес визначення можливих станів пацієнтів по потоку даних, що генерує комп'ютерна система медичного моніторингу, подальша їх класифікація та виявлення впливу змінних стану. Процес стратифікації включає три етапи: кластеризації даних, класифікація стану пацієнтів та виявлення впливу змінних стану. Під мультиагентним підходом розуміється підхід елітарного відбору, що реалізований в методі кластеризації й полягає у відборі найкращих кластерів, які є агентами в просторі генерованих даних, за певною метрикою серед визначених станів.

**Перший розділ** присвячений огляду існуючих досліджень та наробок в сфері комп'ютерних систем медичного моніторингу. Наведено стислий огляд досліджень присвячених застосуванню методів машинного навчання для підтримки прийняття рішень в таких системах. Досліджено три типи комп'ютерних систем медичного моніторингу, такі як системи на основі нечіткої логіки, методів машинного навчання та глибинного навчання. Визначено принципи їх функціонування й застосування, а також переваги й недоліки застосування й шляхи вирішення цих проблем. Зазначено, що на сьогодні в епоху розвитку комп'ютерних систем медичного моніторингу постає проблема аналізу великого потоку різнотипних

даних. Показано, що такі дані можуть допомогти покращити якість лікування, проте обмеження в кількості спеціалістів вимагає створення систем автоматичного аналізу таких даних із можливістю виділення можливих станів пацієнтів та корекція їх лікування.

Згідно з виявленими проблемами комп'ютерних систем медичного моніторингу, існуючих методів і моделей їх вирішення було визначено мету дослідження, а саме підвищення точності діагностування стану пацієнтів за рахунок реалізації методів і моделей стратифікації елементів комп'ютерних систем медичного моніторингу. З урахуванням мети сформульовано задачу дослідження удосконалення або розробка нових математичних моделей та обчислювальних методів стратифікації елементів комп'ютерних систем медичного моніторингу, що дозволить підвищити точність діагностування стану пацієнта. Показано, що для вирішення цієї задачі необхідно вирішити завдання кластеризації даних, класифікації стану пацієнта та визначення загальної та поточної інформативності змінних стану.

З урахування зазначеної мети й завдань дослідження була запропонована процедура стратифікації, відповідно до якої була розроблена модель комп'ютерної системи медичного моніторингу з виділеною підсистемою стратифікації в ній. Пояснена роль кожного модулю в моделі комп'ютерної системи медичного моніторингу та визначено режими функціонування підсистеми стратифікації в залежності від наявності інформації про можливі стани чи їх кількості.

**У другому розділі** було детально розглянуто та описано компоненти підсистеми стратифікації елементів в комп'ютерних системах медичного моніторингу. Для цього було запропоновано мультиагентний метод нечіткої кластеризації, відповідно до виявлених проблем методів кластеризації. Зазначено, що розроблений мультиагентний метод нечіткої кластеризації поєднує в собі мультиагентний метод відбору еліт з базовою процедурою модифікації центрів кластерів та можливістю широкого застосування різнорідних метрик для визначення щільності й роздільності отриманих кластерів. Запропонований метод вирішує задачу кластеризації даних. Перевірку точності застосування

запропонованого методу запропоновано проводити з використанням методу класифікації на основі розробленого методу кластеризації.

Далі була розглянута архітектура можливої моделі ШНМ для вирішення проблеми класифікації даних. Показаний метод навчання цієї ШНМ для пришвидшення сходження градієнтів та підвищення точності роботи моделі. А також запропоновано використання алгоритму рою для конфігурації гіперпараметрів моделі ШНМ, що власне визначає її архітектуру.

Запропоновано метод визначення загальної інформативності змінних стану з використанням інформації про поширення градієнтів сигналу в навченій моделі ШНМ. Цей метод дозволяє обчислити інтенсивність впливу градієнтів сигналу на загальні результати функціонування навченої моделі ШНМ. Це в свою чергу дозволяє вирішити проблему визначення множини найбільш впливових змінних стану та за необхідності зменшити кількість спостережуваних параметрів. Далі представлено модифікацію методу інтегрованих градієнтів, що дозволяє визначати вплив на результати класифікації стану за конкретними змінними навченої моделі ШНМ, визначаючи поточну інформативність змінних. Визначення поточної інформативності дозволяє вирішити проблему визначення причин прийняття рішень в комп'ютерній системі медичного моніторингу.

**У третьому розділі** проведено аналіз програмних засобів реалізації методів і моделей стратифікації. Для цього програмне забезпечення було розглянуте як сукупність трьох компонентів, а саме компоненти мови програмування, що дозволить реалізувати розроблені методи та моделі стратифікації; компоненти доступних бібліотек обробки даних, швидких математичних обчислень та реалізованих методів машинного навчання; компоненти інтегрованого програмного забезпечення. Що в сукупності стало обґрунтуванням вибору мови програмування Python із бібліотеками NumPy, Pandas, Matplotlib, Seaborn, Tensorflow, SciKit Learn та інших; та інтегрованої середовища розробки PyCharm із засобами перевірки якості коду на базі методів штучного інтелекту. Усі вище перераховані програмні інструменти дозволили швидко і точно реалізувати й перевірити методи і моделі стратифікації.

Також у розділі були наведені набори даних для проведення валідації і верифікації запропонованих методів і моделей стратифікації даних в комп'ютерних системах медичного моніторингу. Були виділені набори для перевірки точності роботи кожного з запропонованих методів і моделей по окремоті та набори для загальної перевірки підсистеми стратифікації. Також розглянуті набори даних для перевірки можливості розширення сфери застосування до комп'ютерних систем економічного моніторингу.

Розділ завершено описом методу верифікації програмної реалізації розроблених методів і моделей стратифікації. Показані типові для індустрії методи й процедури перевірки точності функціонування методів кластеризації й класифікації, що допоможуть виявити якість функціонування розробленого програмного забезпечення. Також розроблено принципи перевірки розроблених методів визначення загальної та поточної інформативності.

**В четвертому розділі** було розглянуто результати практичного застосування та тестування розроблених методів і моделей із даними медичного моніторингу. Показано результати тестування запропонованого мультиагентного методу кластеризації; методу навчання моделі ШНМ та методів визначення загальної та поточної інформативності. Також дані медичного моніторингу були застосовані для перевірки точності визначення станів пацієнтів за допомогою розробленої підсистеми стратифікації в комп'ютерній системі медичного моніторингу.

В результаті проведення загального тестування підсистеми стратифікації показано, що розроблений мультиагентний метод кластеризації має задовільну точність формування цільових кластерів на використаному наборі даних медичного моніторингу. Це свідчить про необхідність підбору методів кластеризації для конкретних даних задля збільшення точності кластеризації. Отримано, що розроблений метод навчання та налаштування гіперпараметрів моделі ШНМ призводить до високої точності класифікації не тільки на даних розмічених методом кластеризації, а і на оригінальних даних медичного моніторингу. Далі було визначено, що розроблений метод визначення загальної інформативності здатен визначати співставно інформативність до інших існуючих методів, проте

має більш лінійну природу визначення ваг інформативності. Також шляхом кросвалідації модифікований метод інтегрованих градієнтів для визначення поточної інформативності з методом визначення загальної інформативності показав точні результати визначення впливу певних вхідних змінних на результати класифікації моделлю ШНМ. Що засвідчує можливість застосування методу визначення поточної інформативності для обґрунтування прийнятих рішень в комп'ютерній системі медичного моніторингу.

Також було перевірено можливість розширення спектру застосування запропонованих методів і моделей на даних економічного моніторингу. Було виявлено високу чутливість методу кластеризації до незбалансованих даних. Та перевірене застосування методів і моделей стратифікації до даних економічного моніторингу країн із позитивним результатом впровадження.

В кінці розділу відповідно до результатів тестування наведені практичні рекомендації щодо застосування розроблених методів і моделей стратифікації окремо і підсистеми стратифікації в комп'ютерній системі медичного моніторингу в цілому.

Сукупність отриманих у дисертації наукових результатів, підтвердження факту їх достовірності, наукової та практичної значущості дають змогу вважати, що сформульована наукова задача модифікації або розробки нових математичних моделей та обчислювальних методів для досягнення поставленої мети підвищення точності стратифікації елементів комп'ютерних системах медичного моніторингу, – розв'язаною, а поставлену мету – досягнутою.

**Ключові слова:** *методи машинного навчання, мультиагентний підхід, нечітка кластеризація, кластерний аналіз, штучна нейронна мережа, підбір гіперпараметрів штучних нейронних мереж, класифікація стану пацієнтів, автоматизація аналізу даних, вплив вхідних змінних, методи визначення інформативності змінних стану, аналіз даних захворювань, аналіз медичних даних, пояснення прийнятих рішень, комп'ютерна система медичного моніторингу, верифікації програмного забезпечення.*