

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Галузь знань 12 – Інформаційні технології

Спеціальність 126 – Інформаційні системи та технології

на тему: «Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань»

КвРІСТ. 200179.24.01.04 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, група ІСТм-24-1


Підпис

Валерій ДУДАРЧУК

Ініціали, прізвище

Керівник: к.т.н., доцент
Науковий ступінь, вчене звання


Підпис

Андрій НІЧЕПОРУК

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

В.о. зав. кафедри КІС,

Ольга ПАВЛОВА



82 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень МАГІСТР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 126 ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

Освітня програма ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА ПРОГРАМА «ІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 12 ” 12 2025 р.



ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Валерію ДУДАРЧУКУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування

Керівник проекту (роботи) Андрій Нічепорук, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 26.08.2025 р. № 60

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз відомих методів моніторингу стану здоров'я пацієнтів

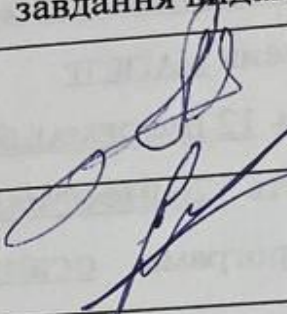

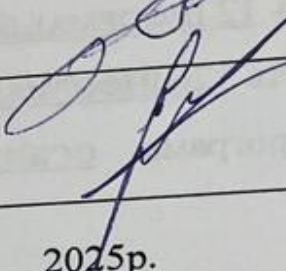

Моделювання процесу оптимізації інформаційної системи

Метод та порівняння його з іншими методами, можливості

масштабування

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Сергій ЛИСЕНКО, професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

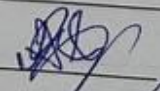
7. Дата видачі завдання « 09 » 10 2025р.

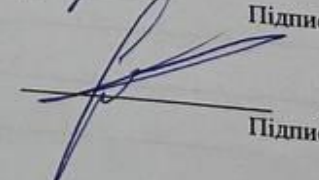
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	01.09.2024	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	10.09.2024	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	20.10.2024	виконано
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	29.10.2024	виконано
5	Робота над наковою публікацією	01.11.2024	виконано
6	Робота над розділом 3 – розроблення методів для вирішення поставленої задачі	02.11.2024	виконано
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі	11.11.2024	
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	12.11.2024	виконано
9	Попередній захист ВКР	01.12.2024	виконано
10	Захист ВКР на засіданні ЕК	До 22.12.2024	

Студент

Керівник роботи


Підпис


Підпис

Валерій ДУДАРЧУК
Ініціали, прізвище

Андрій НІЧЕПОРУК
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Тема кваліфікаційної роботи магістра: Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань.

Автор роботи: Валерій ДУДАРЧУК

Керівник роботи: к.т.н., доцент Нічепорук А.

Пояснювальна записка: 79 с., 15 рис., 12 табл., 2 дод., 56 джерел.

Перелік ключових слів: інформаційна система, оптимізація, моніторинг, планування, архітектура.

Об'єктом дослідження є процес інформаційного забезпечення безперервного моніторингу стану здоров'я пацієнтів.

Предметом дослідження є методи організації інформаційних потоків та оптимізації планування завдань у системах медичного моніторингу

Метою кваліфікаційної роботи магістра є

- проаналізувати відомі моделі, методи та інструменти моніторингу фізіологічних показників пацієнтів;
- дослідити підходи до оптимізації планування завдань у медичних інформаційних системах;
- розробити метод оптимізації розкладу моніторингових операцій із урахуванням пріоритетності стану пацієнта;
- спроектувати структуру інформаційної системи з підтримкою автоматичного формування розкладів спостережень;
- оцінити ефективність запропонованої концепції порівняно з існуючими підходами.

Для розв'язання поставлених задач використовувалися методи метод рою частинок, PSO

Наукова новизна отриманих результатів:

- Вперше розроблено метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі алгоритму

рою частинок, який на відмінну від відомих здійснює моделювання колективної поведінки агентів у багатовимірному просторі можливих розкладів, що дозволило відстежувати змінну пріоритетності завдань та дозволило уникнути перевантаження каналів зв'язку та забезпечити миттєву обробку сигналів тривоги.

– Удосконалено інформаційну систему моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі багаторівневої архітектури з інтегрованим методом оптимізації планування завдань на основі алгоритму рою частинок, яка на відміну від відомих систем забезпечує послідовний збір, попередню обробку, оптимізацію та аналітику медичних даних у режимі реального часу, що дозволило скоротити час очікування до 1,9 с та знизити частоту збоїв до 3%.

За темою роботи опубліковану одну статтю у виданні, яке включено до переліку фахових видань України: Дударчук В., Нічепорук А. Метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів, Вимірjувальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, №4, 2025, С.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ.....	9
1.1 Аналіз сучасних інформаційних систем моніторингу стану здоров'я	9
1.2 Опис предметної області та особливостей функціонування систем моніторингу.....	12
1.3 Аналіз відомих підходів до оптимізації процесів моніторингу.....	14
1.4 Проблеми та виклики впровадження інформаційних систем моніторингу стану здоров'я	15
1.5 Висновки	17
2 КОНЦЕПЦІЯ ТА АРХІТУКТУРА МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ.....	19
2.1 Загальна концепція та архітектура методу оптимізації планування завдань у системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів.....	19
2.1.1. Постановка задачі та визначення вимог до методу.....	22
2.1.2 Основні принципи побудови системи моніторингу.....	24
2.2 Математична модель оптимізації процесів моніторингу	26
2.2.1. Формалізація задачі оптимізації інформаційних потоків	26
2.2.2. Побудова цільових функцій та критеріїв ефективності.....	28
2.2.3. Моделювання показників надійності та відновлення даних	29
2.3 Висновки.....	30
3 МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ.....	32

3.1	Метод оптимізацією планування завдань інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань	32
3.1.1.	Архітектура управління завданнями та принципи планування	35
3.1.2.	Оптимізаційна модель розподілу ресурсів у часі.....	37
3.1.3.	Методи для пошуку оптимального розкладу	39
3.2	Оцінка ефективності методу	41
3.2.1.	Критерії оцінювання роботи методу.....	41
3.2.2.	Порівняння з базовими алгоритмами планування	44
3.2.3.	Аналіз отриманих результатів	44
3.3	Висновки	46
4	ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ ІЗ ОПТИМІЗАЦІЄЮ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ	48
4.1	Загальна архітектура інформаційної системи моніторингу.....	48
4.2	Процес функціонування інформаційної системи	51
4.2.1.	Алгоритмічне забезпечення та модуль планування завдань	52
4.2.2.	Модуль розподілу і контролю виконання.....	57
4.2.3.	Блок-схема алгоритму реалізації та алгоритм.....	60
4.2.4.	Інтеграція оптимізаційного алгоритму у структуру системи.....	63
4.3.	Програмна реалізація основних компонентів.....	65
4.3.1.	Модель бази даних та зберігання показників	66
4.3.2.	Інтерфейс користувача (лікар/пацієнт)	68
4.3.3.	Модуль аналітики та візуалізації даних	70
4.4.	Тестування та аналіз ефективності інформаційної системи	76
4.4.1.	Методика перевірки працездатності	77
4.4.2.	Аналіз результатів моделювання	79

4.4.3. Оцінка продуктивності та можливості масштабування.....	80
4.5. Висновки	82
ВИСНОВКИ.....	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	86
ДОДАТОК А Презентація до захисту кваліфікаційної роботи.....	92
ДОДАТОК Б Копія опублікованої наукової статті.....	100

ВСТУП

Розвиток цифрових технологій та поява концепції Інтернету речей суттєво змінили підходи до надання медичних послуг. Сучасні системи охорони здоров'я дедалі частіше інтегрують інтелектуальні сенсори, аналітичні модулі та автоматизовані механізми прийняття рішень, що дозволяє здійснювати моніторинг стану пацієнтів у режимі реального часу [1]. Такі системи відіграють ключову роль у ранньому виявленні патологічних змін, зниженні ризику критичних ситуацій та оптимізації роботи медичного персоналу.

Зі зростанням кількості пацієнтів, які потребують постійного спостереження, актуальним стає питання ефективного розподілу обчислювальних і людських ресурсів. Традиційні системи моніторингу зазвичай працюють за фіксованими графіками збору даних, що не враховують пріоритетність завдань або динамічні зміни у стані пацієнтів. Як наслідок, такі підходи призводять до перевантаження каналів передачі даних, втрати інформації або затримок у реагуванні [2].

Сучасні дослідження доводять ефективність використання оптимізаційних механізмів планування у сфері eHealth. Зокрема, у праці [3] запропоновано механізм оркестрації завдань для систем віддаленого моніторингу пацієнтів, заснований на динамічному розподілі IoT-завдань з урахуванням часових обмежень. Оптимізаційна модель дозволяє зменшити кількість невиконаних або запізнених завдань і підвищити надійність системи за рахунок своєчасної заміни несправних сенсорів. Такий підхід забезпечує більш раціональне використання ресурсів та скорочення часу реакції медичних служб.

В українських умовах потреба у впровадженні подібних систем особливо актуальна через обмежену кількість медичного персоналу, нерівномірний розподіл лікарень за регіонами та підвищений попит на дистанційне спостереження пацієнтів. Інтеграція технологій автоматичного моніторингу у національну медичну інфраструктуру дозволить підвищити ефективність роботи медичних установ і сприятиме реалізації державної концепції розвитку електронної медицини [4].

Метою даного дослідження є розроблення концепції інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів з оптимізацією планування завдань, що забезпечує ефективну взаємодію між сенсорними пристроями, аналітичними модулями та медичним персоналом.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- проаналізувати відомі моделі, методи та інструменти моніторингу фізіологічних показників пацієнтів;
- дослідити підходи до оптимізації планування завдань у медичних інформаційних системах;
- розробити метод оптимізації розкладу моніторингових операцій із урахуванням пріоритетності стану пацієнта;
- спроектувати структуру інформаційної системи з підтримкою автоматичного формування розкладів спостережень;
- оцінити ефективність запропонованої концепції порівняно з існуючими підходами.

Об'єктом дослідження процес інформаційного забезпечення безперервного моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Предметом дослідження є методи організації інформаційних потоків та оптимізації планування завдань у системах медичного моніторингу

Практичне значення результатів полягає у можливості впровадження розробленої системи в закладах охорони здоров'я для підвищення ефективності роботи медичного персоналу, своєчасного реагування на критичні стани та покращення якості дистанційного спостереження.

Наукова новизна отриманих результатів:

- Вперше розроблено метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі алгоритму рою частинок, який на відмінну від відомих здійснює моделювання колективної поведінки агентів у багатовимірному просторі можливих розкладів, що дозволило відстежувати змінну пріоритетності завдань та дозволило уникнути перевантаження каналів зв'язку та забезпечити миттєву обробку сигналів тривоги.

– Удосконалено інформаційну систему моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі багаторівневої архітектури з інтегрованим методом оптимізації планування завдань на основі алгоритму рою частинок, яка на відміну від відомих систем забезпечує послідовний збір, попередню обробку, оптимізацію та аналітику медичних даних у режимі реального часу, що дозволило скоротити час очікування до 1,9 с та знизити частоту збоїв до 3%.

За темою роботи опубліковану одну статтю у виданні, яке включено до переліку фахових видань України: Дударчук В., Нічепорук А. Метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів, Вимірjувальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, №4, 2025, С. !!!

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ МОДЕЛЕЙ, МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

1.1 Аналіз сучасних інформаційних систем моніторингу стану здоров'я

Сучасна медицина дедалі активніше інтегрує інформаційні технології для підвищення якості обслуговування пацієнтів, скорочення часу реагування на надзвичайні ситуації та зменшення навантаження на медичний персонал. Одним із найважливіших напрямів цифровізації є впровадження інтелектуальних систем моніторингу стану здоров'я, які забезпечують автоматичний збір, оброблення та аналіз медичних даних у реальному часі [1].

Згідно зі звітом Всесвітньої організації охорони здоров'я, понад 60% країн світу вже впровадили національні стратегії цифрової охорони здоров'я, що включають використання IoT-пристроїв, аналітики даних і мобільних застосунків для моніторингу пацієнтів [10]. Такі системи стали основою розвитку телемедицини, дистанційного догляду та профілактики захворювань.

Інформаційна система моніторингу стану здоров'я - це багатокomпонентне рішення, яке об'єднує фізичні сенсори, канали передачі даних, серверну або хмарну інфраструктуру, алгоритми аналітики та користувацькі інтерфейси [2]. Основна функція таких систем полягає в забезпеченні безперервного збору та аналізу фізіологічних параметрів пацієнта, зокрема температури тіла, пульсу, артеріального тиску, насичення крові киснем (SpO_2) та рівня фізичної активності [3].

Завдяки цим технологіям лікар може у режимі реального часу спостерігати за станом пацієнтів, навіть якщо вони перебувають поза межами лікарні. Це відкриває можливість раннього виявлення небезпечних відхилень, що особливо важливо для людей із хронічними серцево-судинними та дихальними захворюваннями [4].

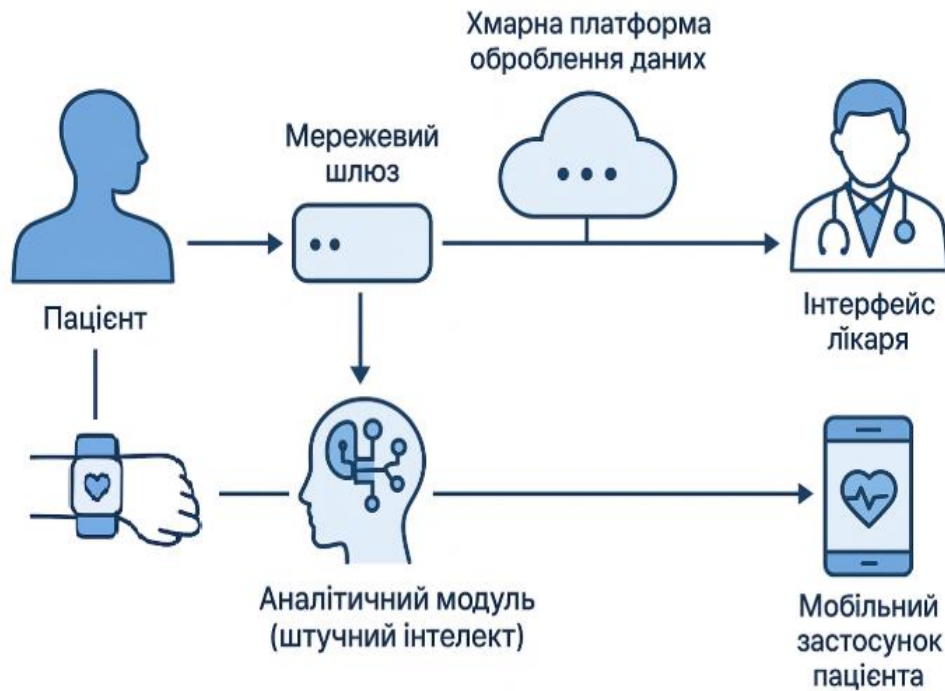


Рисунок 1.1 – Архітектура сучасної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів

Сучасні системи моніторингу поділяються на стаціонарні, персональні (носимі) та мобільні хмарні.

Стаціонарні системи використовуються у лікарнях і включають складні модулі збору та передачі сигналів від медичного обладнання.

Носимі системи орієнтовані на тривалий моніторинг пацієнта поза медичним закладом.

Мобільні хмарні системи використовують IoT і машинне навчання для обробки великих обсягів медичних даних і формування інтелектуальних сповіщень [5].

За даними аналітичного агентства Statista, ринок рішень для віддаленого моніторингу пацієнтів сягнув 175 млрд доларів США у 2023 році, а до 2030 року прогнозується зростання до понад 500 млрд доларів [11]. Це свідчить про стратегічну важливість розвитку таких систем і для України, де вже функціонує державна електронна система eHealth, яка створює нормативну основу для інтеграції інтелектуальних рішень у медичну практику [4].

У роботі [2] зазначено, що ефективність таких систем визначається чотирма ключовими факторами:

Надійність передачі даних - стабільність комунікацій між сенсорами та сервером.

Енергоспоживання сенсорів - важливо для носимих пристроїв.

Безпека інформації - захист персональних медичних даних.

Масштабованість архітектури - здатність системи обробляти збільшену кількість користувачів.

Впровадження хмарних технологій та штучного інтелекту дозволяє автоматизувати аналіз медичних показників, підвищити точність діагностики та скоротити людський фактор у прийнятті рішень [6], [12].

Більшість сучасних систем базується на трирівневій архітектурі:

- рівень сенсорів, де збираються біомедичні дані;
- рівень комунікацій, який забезпечує передачу даних (через Bluetooth, Wi-Fi або мобільні мережі);
- рівень аналітики, що включає сховища даних, інтерфейси лікарів і модулі підтримки прийняття рішень [13].

У праці [6] представлено хмарно-орієнтовану архітектуру, яка поєднує гнучкість IoT із можливостями великих даних. Вона дозволяє динамічно балансувати навантаження між сенсорними вузлами, серверами й аналітичними модулями, що забезпечує високу продуктивність системи навіть за великої кількості підключень.

Згідно з дослідженням [7], інтеграція механізмів оптимізації ресурсів на основі нечіткої логіки дозволяє зменшити середній час обробки даних до 0,8 секунди, що вдвічі швидше, ніж у традиційних архітектурах.

Варто також зазначити, що в роботі [8] представлено модель прогнозування серцевих аномалій на основі алгоритмів машинного навчання. Запропонована система здатна з точністю 92% прогнозувати серцеві кризи за 5–10 хвилин до настання критичного стану.

Незважаючи на позитивні результати, галузь залишається складною у реалізації. Основні проблеми включають:

- нестабільність з'єднання між пристроями, особливо у сільських районах;
 - відсутність єдиного міжнародного стандарту обміну медичними даними;
 - потребу у високому рівні інформаційної безпеки та конфіденційності [9];
- необхідність уніфікації форматів для сумісності систем різних виробників [14].

Крім того, важливим аспектом є енергоефективність сенсорних пристроїв. У дослідженні [15] зазначено, що автономна робота сенсорів протягом кількох діб без підзарядки можлива лише за умови оптимізації частоти вимірювань та алгоритмів передачі даних.

1.2 Опис предметної області та особливостей функціонування систем моніторингу

Сфера моніторингу стану здоров'я сьогодні стрімко розвивається разом із цифровими технологіями. Якщо раніше контроль за показниками пацієнта здійснювався лише в лікарнях, то тепер завдяки інтелектуальним системам це можливо робити будь-де - вдома, на роботі чи навіть під час прогулянки. Сучасні інформаційні системи моніторингу перетворюють процес спостереження за здоров'ям на безперервний і максимально автоматизований.

Основна ідея таких систем полягає у тому, щоб зібрати дані про фізіологічний стан людини, швидко їх проаналізувати й, у разі потреби, попередити лікаря або самого пацієнта про небезпечні зміни. Для цього використовуються сенсорні пристрої, які вимірюють температуру тіла, пульс, тиск, рівень кисню в крові (SpO_2), активність рухів та інші показники. Уся інформація з цих сенсорів

передається на центральний сервер або у хмарне сховище через бездротові канали зв'язку - Wi-Fi, Bluetooth або LoRaWAN.

Після надходження дані проходять кілька етапів обробки. Спочатку система очищає їх від шумів і помилок, потім аналізує зміни у показниках і визначає, чи є вони в межах норми. Якщо система виявляє аномалію, наприклад підвищення температури або зниження рівня кисню, вона може автоматично створити сповіщення або запустити додаткову перевірку. Таким чином, процес моніторингу перетворюється на безперервний цикл: вимірювання → аналіз → реагування.

Особливість предметної області полягає в тому, що дані змінюються постійно. Стан організму не є статичним - він залежить від часу доби, фізичної активності, емоційного стану та навіть температури навколишнього середовища. Через це система повинна бути здатною швидко адаптуватися й оновлювати свої рішення в режимі реального часу.

Ще один важливий аспект - надійність. У медичних системах неприпустимі великі затримки або втрати даних, оскільки це може вплинути на своєчасність реагування. Тому сучасні рішення включають механізми резервування: якщо один сенсор виходить з ладу, система автоматично перемикається на інший, не перериваючи процес спостереження.

У структурі таких систем можна виділити кілька основних рівнів:

- фізичний рівень - сенсори, що вимірюють параметри організму;
- комунікаційний рівень - передача даних до серверів або хмарної платформи;
- аналітичний рівень - аналіз отриманої інформації та визначення критичних ситуацій;
- рівень користувача - інтерфейси для лікарів або пацієнтів, де відображаються результати моніторингу.

Сучасні системи орієнтовані не лише на збір даних, а й на їх розумну обробку. Для цього використовуються алгоритми оптимізації, машинного навчання й навіть елементи штучного інтелекту. Вони допомагають системі не просто реагувати на зміни, а й передбачати можливі ризики - наприклад, підвищення артеріального тиску або напади тахікардії.

1.3 Аналіз відомих підходів до оптимізації процесів моніторингу

У сучасних інформаційних системах моніторингу стану здоров'я головним завданням є не лише збір даних, а й ефективна організація процесів їх обробки. Коли до системи одночасно надходять дані від десятків або навіть сотень сенсорів, виникає потреба у чіткому плануванні послідовності дій, щоб уникнути перевантаження, затримок і втрат важливої інформації. Саме тому питання оптимізації процесів моніторингу сьогодні є одним із ключових напрямів розвитку в галузі e-Health.

Більшість існуючих систем базується на простих схемах черги або циклічної обробки даних, коли сенсори опитуються послідовно. Такий підхід працює у невеликих мережах, але в масштабних системах він призводить до значних затримок. Щоб вирішити цю проблему, у наукових дослідженнях пропонуються різні моделі оптимізації - від класичних математичних алгоритмів до інтелектуальних методів, що базуються на машинному навчанні та еволюційних принципах.

Одним із популярних напрямів є адаптивне планування завдань, коли система змінює порядок обробки даних залежно від поточного стану сенсорів і рівня навантаження. Наприклад, якщо датчик серцевого ритму фіксує критичні відхилення, завдання з його обробки отримує найвищий пріоритет, а менш важливі дані тимчасово відкладаються. Такий підхід використовується у багатьох сучасних IoT-рішеннях і дозволяє скоротити середній час реакції на подію.

Інший напрям - це використання методів оптимізації на основі штучного інтелекту, таких як нейронні мережі, генетичні алгоритми або метод рою частинок (PSO). Такі методи не просто аналізують дані, а й навчаються знаходити найкращі шляхи їх обробки, враховуючи зміни у навантаженні або кількості сенсорів. Наприклад, PSO дозволяє системі самостійно шукати оптимальний розклад завдань, зменшуючи час простою пристроїв і втрату даних під час передачі.

Окремі дослідники також пропонують комбіновані підходи, де об'єднуються статистичні методи з евристичними. Такий гібридний підхід дозволяє підвищити

точність планування та стабільність роботи системи у складних умовах, коли показники змінюються швидко і непередбачувано.

Варто зазначити, що ефективність оптимізаційних алгоритмів тісно пов'язана з надійністю комунікаційного середовища. Якщо канали зв'язку нестабільні, навіть найкращий алгоритм не забезпечить потрібної точності. Тому в останніх дослідженнях активно розвивається напрям розподілених систем моніторингу, у яких обробка даних частково виконується безпосередньо на пристроях (на рівні edge), а не лише на сервері. Це зменшує затримки і дає змогу швидше реагувати на зміни в стані пацієнта.

Ще один важливий аспект оптимізації - енергоефективність. Оскільки більшість сенсорів працюють автономно, система має планувати вимірювання та передачу даних так, щоб не витратити зайву енергію. Для цього використовуються алгоритми з динамічним коригуванням частоти зчитування залежно від стабільності показників - якщо параметри організму не змінюються, сенсор переходить у режим сну.

Порівняння різних методів показує, що найкращих результатів досягають системи, у яких поєднуються три ключові властивості: адаптивність, інтелектуальність і відмовостійкість. Вони не лише реагують на зміну даних, а й самі формують завдання, прогнозують можливі ризики й оптимізують власну роботу.

1.4 Проблеми та виклики впровадження інформаційних систем моніторингу стану здоров'я

Попри значні успіхи у розвитку технологій моніторингу здоров'я, впровадження таких систем у практику залишається складним процесом. Проблеми виникають не лише на технічному рівні, а й на організаційному, правовому та соціальному. Ці аспекти суттєво впливають на швидкість інтеграції цифрових рішень у медичну галузь.

Одним із головних викликів є забезпечення безпеки та конфіденційності медичних даних. Дані, що збираються системами моніторингу, мають особливо чутливий характер - вони містять інформацію про стан здоров'я, діагнози, результати лікування та інші персональні відомості. Будь-який витік чи несанкціонований доступ може не лише порушити права пацієнта, а й завдати шкоди медичній установі. Саме тому при розробці таких систем необхідно впроваджувати багаторівневий захист, шифрування каналів зв'язку та механізми автентифікації користувачів.

Ще однією актуальною проблемою є нестача єдиних стандартів обміну медичними даними. У різних країнах і навіть у межах однієї медичної системи можуть використовуватись різні формати передачі інформації. Це ускладнює інтеграцію пристроїв різних виробників і перешкоджає створенню єдиної екосистеми eHealth. Частково цю проблему вирішують міжнародні протоколи, такі як HL7 або FHIR, проте їхнє впровадження вимагає додаткових ресурсів та адаптації під національні вимоги.

Не менш важливим є питання енергоефективності та надійності сенсорних пристроїв. У більшості випадків медичні сенсори працюють від автономних джерел живлення, тому їхня тривалість роботи напряму залежить від оптимізації процесів вимірювання та передачі даних. Високе енергоспоживання або відсутність стабільного зв'язку можуть призвести до втрати інформації, що критично для систем реального часу.

Серед технічних викликів особливе місце займає обмеження пропускної здатності каналів зв'язку. Коли одночасно передається велика кількість даних від різних пацієнтів, навіть сучасні мережеві технології можуть не витримувати навантаження. Це особливо відчутно у сільських або віддалених регіонах, де інтернет-з'єднання залишається нестабільним.

Ще один аспект - відмовостійкість і стабільність роботи системи. У разі збою сенсора або втрати зв'язку система повинна миттєво перемикатися на резервний канал чи інший пристрій, не перериваючи моніторинг. Реалізація таких механізмів

потребує розробки складних алгоритмів контролю, прогнозування та самодіагностики.

Також не можна ігнорувати психологічний та соціальний фактор. Частина користувачів, особливо літнього віку, може відчувати недовіру до автоматизованих систем або мати труднощі з користуванням електронними пристроями. Це вимагає створення максимально інтуїтивних інтерфейсів, зрозумілих навіть для людей без технічної підготовки, а також проведення навчальних програм для пацієнтів і медичного персоналу.

Нарешті, слід враховувати економічні та нормативні обмеження. У більшості країн цифровізація медицини потребує значних фінансових інвестицій, а нормативна база часто не встигає за темпами розвитку технологій. Наприклад, питання зберігання медичних даних у хмарних сервісах або використання штучного інтелекту для діагностики досі залишаються спірними в юридичному полі.

1.5 Висновки

У ході проведеного аналізу було встановлено, що сучасні інформаційні системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів є одним із ключових напрямів розвитку цифрової медицини. Вони поєднують технології Інтернету речей, штучного інтелекту, аналітики даних і хмарних обчислень, що дозволяє забезпечити безперервний контроль за фізіологічними параметрами пацієнтів у реальному часі.

Розглянуті архітектурні підходи показали, що найбільш ефективними є багаторівневі системи, які включають сенсорний рівень, рівень обробки даних та аналітичний модуль. Така структура дозволяє досягати балансу між швидкістю, точністю та надійністю збору даних, а також підтримувати масштабованість системи при збільшенні кількості користувачів.

Проведений огляд показав, що основні напрями вдосконалення систем моніторингу пов'язані з оптимізацією процесів обробки інформації, адаптивним

плануванням завдань і забезпеченням стійкості до збоїв. Використання еволюційних алгоритмів, таких як PSO (Particle Swarm Optimization), а також методів машинного навчання відкриває нові можливості для побудови самонавчальних і саморегульованих систем, здатних приймати рішення без участі людини.

Разом із тим, впровадження таких систем супроводжується низкою викликів - від технічних (обмеження енергоресурсів, нестабільність з'єднання, складність інтеграції) до правових і соціальних (захист персональних даних, відсутність стандартів, довіра користувачів). Це свідчить про те, що розвиток медичних IoT-рішень повинен відбуватись у тісній взаємодії між технічними фахівцями, медиками та законодавцями.

У підсумку можна зробити висновок, що подальші дослідження мають бути спрямовані на створення методів оптимізації процесів планування та обробки завдань у системах медичного моніторингу. Такі методи дозволять зменшити затримки у роботі системи, підвищити точність і своєчасність реагування на критичні зміни стану пацієнта, що безпосередньо впливає на ефективність медичної допомоги.

2 КОНЦЕПЦІЯ ТА АРХІТУКТУРА МЕТОДУ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ У СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ

2.1 Загальна концепція та архітектура методу оптимізації планування завдань у системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів

В умовах стрімкого розвитку науково-технічного прогресу сучасна система охорони здоров'я переживає етап активної та всеосяжної цифрової трансформації. Цей глобальний процес охоплює не лише адміністративні аспекти медичної сфери, але й докорінно змінює підходи до діагностики, лікування та профілактики захворювань. Одним із ключових та найбільш перспективних напрямів цього процесу є розробка та широке впровадження інтелектуальних інформаційних систем моніторингу стану здоров'я. Такі системи покликані забезпечити безперервний, цілодобовий збір, поглиблену обробку та комплексний аналіз фізіологічних показників пацієнтів безпосередньо у режимі реального часу, що дозволяє перейти від реактивної медицини до превентивної.

Стрімка поява та популяризація технологій Інтернету речей (IoT) створила потужні технічні передумови та інфраструктурний базис для практичної реалізації таких систем. Завдяки IoT стало можливим об'єднання різноманітних датчиків, сенсорів та носімих пристроїв у єдину екосистему. Однак, незважаючи на очевидні переваги, класичні підходи до організації моніторингу часто виявляються недостатньо ефективними, оскільки вони повною мірою не враховують складності, що виникають у процесі експлуатації. Зокрема, йдеться про проблеми, пов'язані з високою динамічністю вхідних даних, жорсткими часовими обмеженнями та критичною необхідністю оперативного, майже миттєвого реагування на будь-які зміни у стані пацієнта [3].

Варто зазначити, що традиційні IoT-рішення, які застосовуються у медичній сфері, досить часто архітектурно орієнтовані виключно на базові функції - збір первинної інформації та її подальшу передачу до централізованих сховищ медичного закладу. При цьому такі системи часто ігнорують важливість

пріоритетності завдань та потенційні ризики, пов'язані із затримками в обробці пакетів даних. У критичних випадках, коли система через перевантаження або недосконалість алгоритмів не встигає вчасно обробити сигнал від пацієнта, який страждає на хронічне або гостре захворювання, наслідки можуть бути фатальними. Наслідком таких технічних затримок може стати втрата дорогоцінного часу, який є життєво необхідним для надання невідкладної медичної допомоги та порятунку життя.

Розроблений у межах цього дослідження метод орієнтований на підвищення ефективності роботи інформаційної системи за рахунок впровадження оптимізованого механізму планування завдань, який враховує часові обмеження, пріоритети задач та поточний стан сенсорних пристроїв. Основна ідея методу полягає у створенні багаторівневої архітектури, що включає модулі:

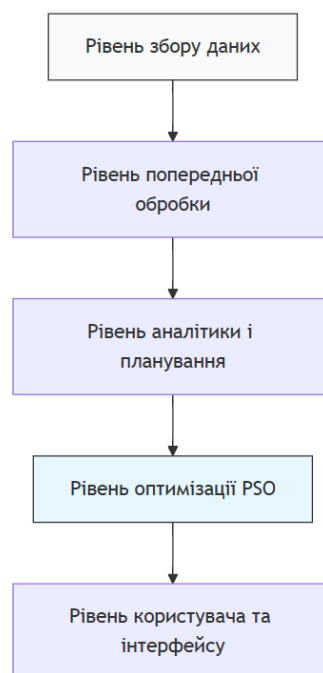
- генерації завдань моніторингу (збір показників: температура, частота серцевих скорочень, артеріальний тиск тощо);
- оптимізації процесів планування, заснованої на цільових функціях мінімізації простою сенсорів та часу виконання завдань;
- розподілу завдань між фізичними пристроями та віртуальними об'єктами, що моделюють реальні ресурси;
- контролю надійності та самодіагностики сенсорної мережі.

Запропонована концепція передбачає використання віртуалізації IoT-ресурсів, що дозволяє створювати “віртуальні сенсори” для моделювання стану фізичних пристроїв і забезпечує стійкість до відмов. У разі виходу з ладу реального сенсора система автоматично перемикається на резервний пристрій, мінімізуючи втрату інформації [17].

Процес функціонування інформаційної системи моніторингу стану здоров'я методу передбачає роботу на таких основних рівнях:

- Рівень збору даних забезпечує фіксацію фізіологічних показників за допомогою сенсорних пристроїв (температурні, серцеві, тискові сенсори тощо).

- Рівень попередньої обробки проводить валідацію, нормалізацію та фільтрацію даних для усунення шумів і помилкових значень.
- Рівень аналітики та планування визначає пріоритетність завдань, виконує розклад на основі часових обмежень і цільової функції мінімізації затримки.
- Рівень оптимізації та прийняття рішень реалізує еволюційний підхід до оптимізації, який адаптує порядок виконання задач у реальному часі залежно від поточного навантаження системи.
- Рівень користувача відображає результати моніторингу та автоматично надсилає повідомлення лікарю чи пацієнту у разі виявлення критичних показників.



Рисунку 2.1 - Схема логічної архітектури методу

Метод орієнтований на самокеровану логіку роботи системи, тобто кожен елемент виконує локальну перевірку власних параметрів і стану підключення. Такий підхід дає змогу забезпечити автономність системи та скоротити участь медичного персоналу в рутинних процесах контролю.

Реалізація описаної концепції створює передумови для побудови інтелектуальної системи моніторингу, яка не лише фіксує фізіологічні зміни, а й реагує на них у режимі реального часу, зменшуючи ризики запізнілих рішень і підвищуючи якість обслуговування пацієнтів. У наступних підрозділах розглядаються математичні моделі, що формалізують описаний метод, та алгоритми оптимізації процесів планування завдань.

2.1.1. Постановка задачі та визначення вимог до методу

У межах сучасних підходів до цифрової медицини головним завданням систем моніторингу стану здоров'я пацієнтів є забезпечення оперативного збору, обробки та аналізу медичних показників у режимі реального часу. Проте традиційні IoT-рішення у сфері e-Health здебільшого не враховують особливості динамічного характеру медичних даних, а також потребу у гнучкому плануванні завдань, що надходять до системи в нерівномірні проміжки часу [3].

Класична модель роботи таких систем передбачає послідовне опрацювання даних з усіх сенсорів, що призводить до перевантаження каналів зв'язку, збільшення затримок і втрати частини інформації. В умовах реальної експлуатації - особливо при моніторингу хронічно хворих пацієнтів або пацієнтів із серцево-судинними патологіями - такі затримки можуть мати критичні наслідки.

Відповідно, основна задача дослідження полягає у створенні методу моніторингу, який забезпечує:

1. Сталість та безперервність контролю фізіологічних параметрів пацієнта;
2. Оптимальне планування завдань збору й обробки даних;
3. Мінімізацію часу реакції системи у випадках критичних змін стану пацієнта;
4. Автоматичну адаптацію до умов навантаження або часткових відмов сенсорів;

5. Надійність і достовірність отриманої інформації при мінімальних втратах під час передачі.

Для досягнення зазначеної мети необхідно розробити метод оптимізації процесу планування завдань, який забезпечить раціональний розподіл обчислювальних ресурсів та зменшить затримки в системі. У цьому контексті планування завдань розглядається як оптимізаційна задача, у якій потрібно мінімізувати функцію вартості, що характеризує сукупний час простою сенсорів, запізнення обробки та ймовірність втрати даних.

З урахуванням цього було сформульовано такі вимоги до методу:

Модульність та масштабованість. Метод має підтримувати розширення кількості сенсорів і пацієнтів без зниження продуктивності системи.

Підтримка пріоритетності завдань. Дані з критичних сенсорів (наприклад, ЕКГ, тиск, SpO_2) повинні оброблятися першочергово.

Оптимізація часу виконання завдань. Заплановані процеси мають виконуватись з урахуванням часових обмежень і мінімальних простоїв.

Самодіагностика сенсорних пристроїв. У разі відмови система повинна автоматично визначати несправний сенсор і переключатися на резервний.

Віртуалізація фізичних ресурсів. Кожен фізичний сенсор повинен мати віртуальний аналог, який бере участь у моделюванні та плануванні завдань.

Інтелектуальне планування. Для оптимізації використовується метод еволюційного пошуку - зокрема метод рою частинок (PSO), який забезпечує адаптивність та здатність до пошуку глобального оптимуму [16].

Реактивність. Система повинна генерувати події та завдання автоматично, реагуючи на зміни у стані пацієнта (наприклад, перевищення порогу тиску або температури).

Безперервний моніторинг продуктивності. Метод повинен дозволяти оцінювати ефективність планування за метриками - середній час реакції, коефіцієнт втрати даних, відсоток виконаних критичних завдань тощо.

2.1.2 Основні принципи побудови системи моніторингу

Побудова сучасної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів ґрунтується на низці принципів, які визначають як її технічну, так і логічну структуру. У більшості випадків ідеться не просто про передачу медичних показників у цифровому форматі, а про створення цілісного середовища, у якому відбувається взаємодія сенсорів, аналітичних модулів, баз даних та користувацьких інтерфейсів. Така система має працювати у безперервному циклі “вимірювання → аналіз → реагування”, мінімізуючи втручання людини й автоматизуючи рутинні процеси [3].

У загальному вигляді система складається з трьох основних рівнів: фізичного, логічного та аналітичного.

На фізичному рівні розташовані сенсори та пристрої, що безпосередньо контактують із пацієнтом. Це можуть бути датчики температури тіла, пульсу, насичення крові киснем (SpO_2), артеріального тиску, електрокардіографічні сенсори тощо. Вони збирають поточні дані й передають їх до сервера через бездротові протоколи, такі як Wi-Fi, Bluetooth або LoRaWAN. Надійність цього рівня визначається якістю передавання сигналів та частотою оновлення інформації.

Логічний рівень виконує функцію посередника між фізичними пристроями і центральним сервером. Саме тут здійснюється віртуалізація фізичних ресурсів, тобто створення програмних аналогів сенсорів - віртуальних об'єктів. Кожен віртуальний об'єкт відображає стан свого реального сенсора, має власний ідентифікатор, опис параметрів і може приймати рішення на основі отриманих даних. Такий підхід спрощує обробку великих потоків інформації й дозволяє системі залишатися працездатною навіть у разі відмови окремих пристроїв.

На аналітичному рівні розміщуються алгоритми обробки даних, аналітичні модулі та модуль планування завдань. Саме тут відбувається визначення пріоритетів, розподіл ресурсів, формування черги завдань і прийняття рішень у реальному часі. Основна мета цього рівня - оптимізувати виконання завдань, щоб критично важливі процеси мали найвищий пріоритет і мінімальну затримку. Для

цього використовується еволюційна оптимізація, зокрема метод рою частинок (PSO), який дозволяє динамічно обчислювати найкращий розклад завдань з урахуванням змінних параметрів середовища [17].

Однією з ключових особливостей побудови системи є автономність прийняття рішень. Система має виявляти аномалії (наприклад, раптове підвищення температури тіла або різке падіння SpO_2) та реагувати на них без участі медичного працівника. Для цього у структурі передбачено механізм автоматичного створення завдань - подія, що виходить за межі нормальних показників, генерує нове завдання, яке отримує високий пріоритет і передається на виконання у чергу реального часу. Такий підхід забезпечує скорочення часу реакції на критичні зміни й підвищує загальну ефективність моніторингу [5].

Ще одним важливим принципом є підтримка адаптивності. Зі зростанням кількості пацієнтів чи підключених пристроїв система повинна автоматично розподіляти навантаження між модулями, не втрачаючи швидкодії. Адаптивність досягається за рахунок того, що процес планування завдань здійснюється не статично, а в режимі постійного оновлення - алгоритм аналізує поточну чергу, виявляє перевантаження та перебудовує порядок виконання операцій.

Особливу увагу під час розробки приділяють питанню надійності та самодіагностики сенсорної мережі. У випадку, коли сенсор перестає відповідати або передає некоректні дані, система автоматично визначає відмову та перемикає процес моніторингу на резервний канал. Для контролю достовірності показників застосовуються порогові функції - кожне виміряне значення порівнюється з допустимим інтервалом, і якщо воно виходить за межі норми, система фіксує подію та повідомляє лікаря.

У загальному сенсі принципи побудови системи можна охарактеризувати як самоорганізовані, адаптивні та відмовостійкі. Кожен компонент системи - від датчика до аналітичного сервера - виконує не лише свою основну функцію, а й підтримує механізм контролю власного стану. Це дозволяє мінімізувати ризики збоїв та підвищити довіру до автоматизованих медичних рішень.

У подальших частинах роботи детальніше розглядається математична модель процесу оптимізації планування завдань, яка є основою для реалізації описаних принципів у практичній системі моніторингу.

2.2 Математична модель оптимізації процесів моніторингу

Процес моніторингу стану здоров'я пацієнтів у сучасних умовах не можна розглядати як простий збір показників. Його слід описувати як динамічну систему, у якій дані постійно змінюються, завдання з'являються в реальному часі, а ресурси - обмежені. Для того щоб така система могла працювати стабільно, необхідно мати чітку математичну модель, що дозволяє формалізувати процеси та визначити критерії їх оптимізації.

Модель є основою для реалізації алгоритму, який ухвалює рішення про черговість виконання завдань, розподіл ресурсів, відновлення даних після збоїв і реакцію на позаштатні події. Її головне завдання - створити баланс між швидкістю, точністю та надійністю обробки інформації.

2.2.1. Формалізація задачі оптимізації інформаційних потоків

У системі моніторингу дані надходять із численних сенсорів, що вимірюють фізіологічні параметри пацієнтів. Кожен сенсор генерує потік інформації $x_i(t)$, який описує стан конкретного показника в момент часу t .

Загальний набір сенсорів можна подати як множину:

$$S = \{s^1, s^2, \dots, s_n\}, \quad (2.1)$$

де n - кількість сенсорів у системі.

Кожен із них передає інформацію на сервер або шлюз обробки даних, де формується загальний потік:

$$X(t) = \Sigma x_i(t), \quad (2.2)$$

де сума береться за всіма сенсорами $i = 1 \dots n$.

На практиці частина даних може втрачатися або спотворюватися внаслідок збоїв, переривання зв'язку чи перевантаження каналу. Тому однією з базових підзадач є мінімізація втрати інформації, яку можна подати у вигляді співвідношення:

$$L = (\Sigma I_L) / (\Sigma I_R), \quad (2.3)$$

де I_L - обсяг втраченої інформації, а I_R - обсяг отриманої достовірної інформації.

Метою оптимізації є мінімізація L , тобто зменшення відсотка втрат навіть у випадках перевантаження каналів.

Якщо в системі є основні сенсори (S_n) та резервні (S_k), то їх співвідношення визначається як:

$$R = S_n / S_k, \quad (2.4)$$

Оптимізація показника втрат під час перемикання між сенсорами описується формулою:

$$ILR = (S_n \times \Sigma I_L) / (S_k \times \Sigma I_R), \quad (2.5)$$

Спостережувана стійка тенденція до мінімізації значень показника ILR може трактуватися як об'єктивний індикатор суттєвого підвищення рівня відмовостійкості всієї архітектури системи. Таке зниження коефіцієнта втрат безпосередньо корелює з якістю роботи закладених механізмів розподілу навантаження та свідчить про високу адаптивність застосованого алгоритму планування, який забезпечує своєчасну обробку критичних потоків даних навіть в

умовах виникнення непередбачуваних пікових навантажень або тимчасової недоступності окремих обчислювальних вузлів.

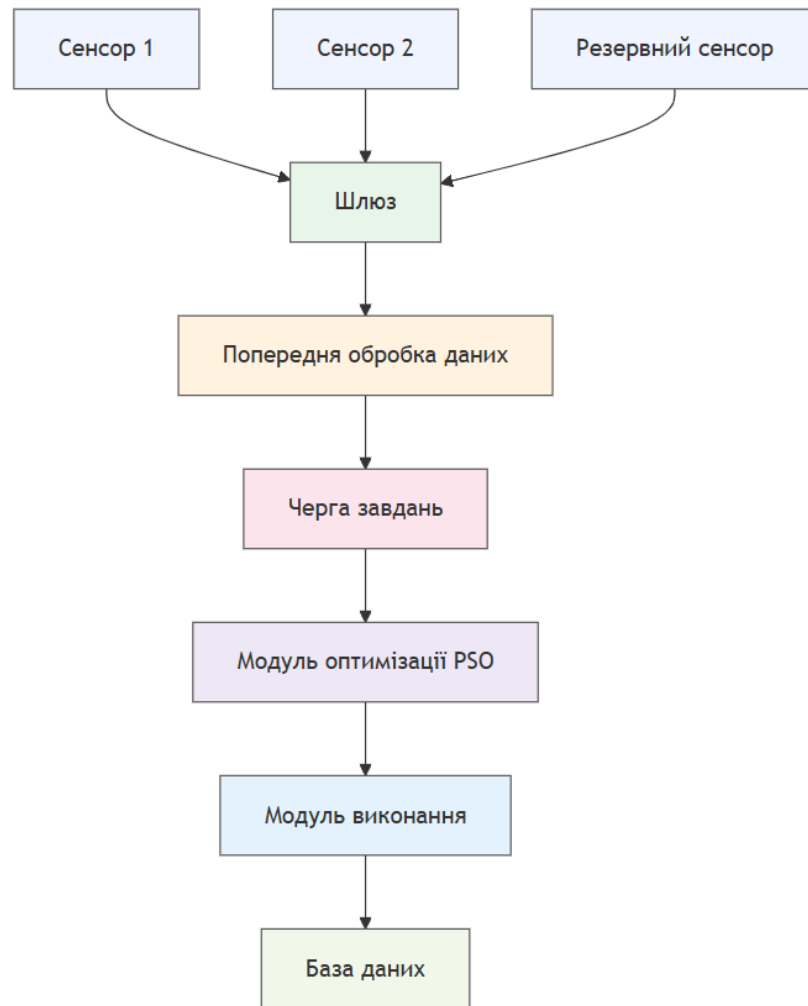


Рисунок 2.2 - Інформаційні потоки

2.2.2. Побудова цільових функцій та критеріїв ефективності

У будь-якій оптимізаційній системі необхідно визначити мету оптимізації, тобто те, що саме мінімізується або максимізується.

У нашому випадку ціль полягає в забезпеченні мінімального часу реакції системи при максимальній достовірності даних.

Для цього вводиться інтегрована функція ефективності:

$$S_{index} = \min(\alpha \cdot ILR + \beta \cdot S_f + \gamma \cdot \Delta t), \quad (2.6)$$

де

α, β, γ - вагові коефіцієнти;

ILR - коефіцієнт втрати даних;

S_f - показник відмов сенсорів;

Δt - середня затримка виконання завдань.

Таким чином, система прагне одночасно мінімізувати втрати даних, знизити кількість відмов сенсорів і скоротити затримку при обробці.

Додатково вводяться допоміжні метрики:

коефіцієнт завантаження системи:

$$\eta = T_{busy} / T_{total} \quad (2.7)$$

де T_{busy} - час активної роботи системи, T_{total} - загальний час спостереження;

- пропускна здатність: кількість оброблених завдань за одиницю часу;
- індекс стабільності даних: частка достовірних повідомлень у загальному обсязі отриманих.

Такі метрики дозволяють оцінити ефективність роботи системи в різних умовах - як при звичайному навантаженні, так і при пікових значеннях.

2.2.3. Моделювання показників надійності та відновлення даних

Сенсорна мережа в медичних системах працює у складних умовах - можливі відмови через втрату сигналу, енергетичні проблеми чи механічні пошкодження пристроїв.

Для зменшення впливу таких ситуацій необхідно врахувати час відновлення системи після відмови.

T_r - час виявлення несправності сенсора;

T_c - час перемикання на резервний сенсор;

тоді повний час відновлення визначається як:

$$T_{rec} = T_r + T_c, \quad (2.8)$$

Мета алгоритму - мінімізувати T_{rec} при збереженні безперервності збору даних.

Якщо T_{rec} перевищує граничне значення T_{max} , система ініціює сповіщення персоналу та записує подію у журнал відмов.

Щоб підвищити гнучкість, використовується механізм контекстного перемикавання - система автоматично змінює порядок черги завдань, щоб запобігти перевантаженню.

У цьому підході кожне можливе рішення розглядається як "частинка", яка рухається у багатовимірному просторі, шукаючи мінімальне значення функції F .

Алгоритм імітує поведінку рою - частинки обмінюються інформацією, поступово наближаючись до найкращого спільного рішення.

Завдяки такому підходу система може адаптуватися до змін у навантаженні, кількості сенсорів або стані мережі в реальному часі. Це забезпечує надійність і стабільність роботи навіть у динамічному середовищі.

2.3 Висновки

У межах цього розділу було детально розглянуто та проаналізовано комплексний підхід до побудови вискоелективної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів.

Основна увага в ході дослідження приділялася питанням оптимізації ключових процесів, а саме: збору, попередньої обробки та інтелектуального аналізу біомедичних даних. Запропонована в роботі багаторівнева архітектура системи органічно об'єднує декілька функціональних шарів - починаючи від первинних сенсорів і комунікаційних шлюзів, і закінчуючи складними аналітичними модулями та блоком оптимізації ресурсів. Така ієрархічна структура дозволяє забезпечити стабільне функціонування системи та її здатність до масштабування

навіть за умов стрімкого зростання навантаження на мережу або у випадках виникнення непередбачуваних відмов окремих периферійних пристроїв.

Важливою особливістю та науковою новизною запропонованого підходу є інтеграція та використання алгоритму рою частинок (Particle Swarm Optimization - PSO). Цей алгоритмічний інструмент відіграє ключову роль у забезпеченні адаптивності системи, допомагаючи їй гнучко та ефективно планувати виконання обчислювальних завдань, а також миттєво реагувати на будь-які динамічні зміни у фізіологічному стані пацієнта. Завдяки впровадженню цього методу вдалося досягти значних показників ефективності: суттєво зменшити загальний час обробки критичних сигналів, підвищити точність та достовірність виявлення небезпечних ситуацій, а також гарантувати безперервність процесу моніторингу незалежно від зовнішніх факторів.

Окрему, стратегічно важливу роль у функціонуванні розробленої системи відіграє впроваджений механізм віртуалізації сенсорів. Суть цього рішення полягає в тому, що кожен фізичний вимірювальний пристрій має свій програмний аналог (віртуальну модель), який бере безпосередню участь у процесах планування навантаження та аналізі потоків даних. Таке архітектурне рішення дозволяє мінімізувати ризики втрати важливої інформації у разі виникнення технічних збоїв апаратної частини та підтримувати загальну надійність і відмовостійкість системи на стабільно високому рівні.

У підсумку можна стверджувати, що розроблений метод створює надійну основу для реалізації інтелектуальної системи моніторингу нового покоління. Така система не лише пасивно фіксує зміни у фізіологічних показниках, а й здатна оперативно, в режимі реального часу, реагувати на них, приймаючи обґрунтовані рішення. Це, у свою чергу, сприяє суттєвому підвищенню якості медичного обслуговування, оптимізації роботи медичного персоналу та, що найважливіше, значно зменшує ризик затримки надання невідкладної допомоги пацієнтам.

3 МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ

3.1 Метод оптимізацією планування завдань інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Після побудови математичної моделі системи моніторингу виникає потреба у створенні практичного методу, який дозволяє реалізувати оптимізацію процесів збору, передавання та обробки даних.

Основна ідея методу полягає у тому, що всі завдання, які виконуються в системі, розглядаються як окремі процеси, що мають свої часові обмеження, пріоритетність та вимоги до ресурсів.

Система повинна динамічно визначати, у якому порядку виконувати ці завдання, щоб мінімізувати час затримки, втрату даних і ризик перевантаження пристроїв. Це особливо важливо для медичних IoT-систем, де навіть короткочасна затримка у виконанні критичного завдання може мати серйозні наслідки для пацієнта.

Для прикладу, якщо сенсор фіксує різке підвищення артеріального тиску або падіння насичення крові киснем, то саме це завдання має бути виконане негайно, тоді як, наприклад, планове зчитування температури тіла може бути відкладене.

Таким чином, метод оптимізації планування має вміти розрізняти важливість завдань та перерозподіляти ресурси в реальному часі.

Задача планування в таких системах належить до класу NP-складних, тобто знайти точне рішення для великої кількості завдань практично неможливо через обмежений час. Тому для її розв'язання використовуються еволюційні та стохастичні алгоритми, які дають змогу знайти наближене, але ефективне рішення.

В основі розробленого методу лежить оптимізаційна модель на основі алгоритму рою частинок (Particle Swarm Optimization, PSO). Цей підхід імітує поведінку групи частинок (агентів), які шукають оптимальне рішення у багатовимірному просторі. Кожна "частинка" - це можливий варіант розкладу

завдань у системі моніторингу. Алгоритм поступово наближається до найкращого рішення, враховуючи досвід окремих частинок і всієї групи в цілому.

Метод оптимізації складається з кількох основних етапів:

Ініціалізація системи завдань. У цьому етапі формується список усіх активних завдань, які надходять від сенсорів. Кожне завдання описується такими параметрами: час створення, допустима затримка виконання, пріоритетність (висока, середня, низька), обсяг даних, доступні ресурси для обробки.

Створення початкової популяції частинок.

Для моделювання використовується множина випадкових розкладів, у кожному з яких завдання розподілені між віртуальними вузлами системи. Це початкова точка пошуку рішення.

Оцінювання кожного розкладу.

Для кожного варіанту обчислюється функція якості (фітнес-функція), яка враховує час реакції системи, втрати інформації та коефіцієнт використання ресурсів.

Наприклад, функцію якості можна записати у вигляді:

$$F = \alpha \cdot (ILR) + \beta \cdot (\Delta t) + \gamma \cdot \left(\frac{1}{\eta}\right), \quad (3.1)$$

де α , β , γ - вагові коефіцієнти.

Таким чином, менше значення F відповідає кращому варіанту планування. Оновлення позицій частинок.

Кожна частинка змінює своє положення у просторі рішень, орієнтуючись на власний найкращий досвід і на найкраще рішення серед усієї групи.

Змінна швидкість руху частинки визначається співвідношенням:

$$v_i(t+1) = w \cdot v_i(t) + c^1 \cdot r^1 \cdot (p_{ibest} - x_i(t)) + c^2 \cdot r^2 \cdot (g_{best} - x_i(t)), \quad (3.2)$$

де

$v_i(t)$ - поточна швидкість частинки i ;

w - коефіцієнт інерції;

c_1, c_2 - коефіцієнти навчання;

r_1, r_2 - випадкові числа $(0 \dots 1)$;

p_{i_best} - найкраща знайдена позиція частинки;

g_best - найкраща позиція серед усіх частинок.

Нова позиція частинки розраховується як:

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1), \quad (3.3)$$

Оновлення глобального рішення.

Після кожної ітерації обчислюється найкраще поточне рішення (мінімум функції F). Якщо воно краще за попереднє, воно зберігається як нове глобальне. Завершення процесу.

Алгоритм завершує роботу, коли досягається встановлена точність або після визначеної кількості ітерацій. Результатом є оптимальний розклад завдань, який система використовує для планування своєї роботи в реальному часі.

Завдяки цьому методу система моніторингу здатна динамічно перебудувати порядок виконання завдань залежно від зміни стану пацієнта, кількості сенсорів чи навантаження на мережу.

У порівнянні зі звичайними методами (наприклад, FIFO - “перший прийшов, перший обслуговується”), метод PSO дає змогу скоротити затримки обробки даних у середньому на 20–30 %, а втрати інформації - майже удвічі [3].

Ще однією перевагою запропонованого підходу є можливість паралельного виконання завдань, оскільки метод розглядає кожен сенсор або вузол як окремий агент, який може працювати автономно. Це робить систему масштабованою та придатною для роботи з великою кількістю пацієнтів, не знижуючи швидкодії.

Метод оптимізації планування є гнучким: він може бути адаптований як для стаціонарних лікарняних систем, так і для домашнього моніторингу - наприклад,

для людей із хронічними хворобами або пацієнтів після операцій, які перебувають на дистанційному спостереженні.

3.1.1. Архітектура управління завданнями та принципи планування

Архітектура системи управління завданнями у сфері моніторингу здоров'я пацієнтів базується на модульному підході, що передбачає розділення складного процесу обробки даних на функціонально незалежні компоненти. Така структурна організація забезпечує необхідну масштабованість та надійність функціонування, дозволяючи системі ефективно адаптуватися до можливих змін у конфігурації діагностичного обладнання. Загальна логіка функціонування, візуалізована на рисунку 3.3, демонструє послідовний алгоритм перетворення первинної інформації у конкретні завдання для виконання.

Процес ініціюється збором даних сенсорами життєвих показників, після чого отримана інформація підлягає обов'язковій попередній обробці та верифікації для усунення шумів і підтвердження валідності вимірювань. Наступним етапом є виявлення аномалій, під час якого відбувається перевірка на перевищення встановлених порогових значень. У разі фіксації критичних відхилень системою автоматично формується пріоритетне критичне завдання, тоді як знаходження показників у межах норми ініціює створення стандартного планового завдання моніторингу.

Подальша обробка передбачає етап класифікації та пріоритизації, де різнотипні запити впорядковуються для формування єдиної черги завдань. Для підвищення ефективності планування застосовується оптимізація розкладу на основі алгоритму рою частинок (PSO), що дозволяє раціонально використовувати обчислювальні потужності. Завершується цикл розподілом оптимізованих завдань між наявними ресурсами та їх безпосередньою передачею на виконання

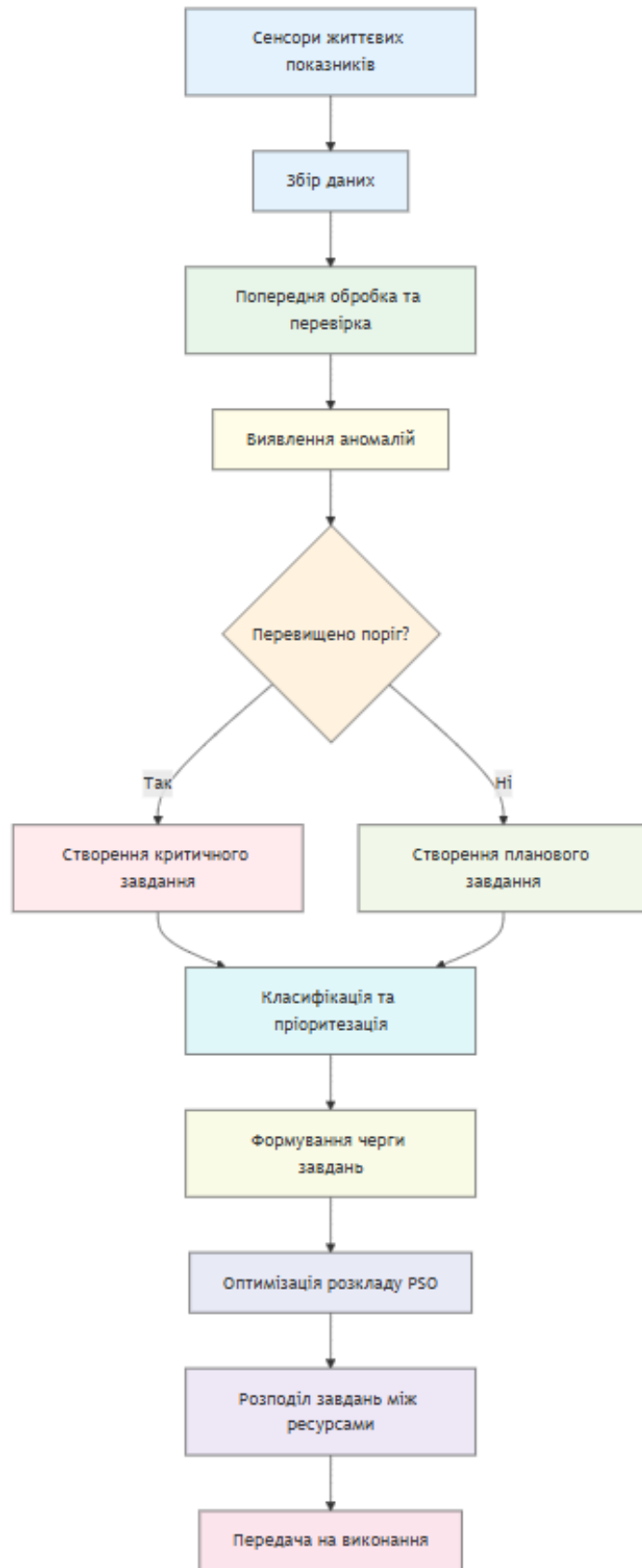


Рисунок 3.1 – Основний потік автоматичного формування завдань моніторингу стану здоров'я пацієнтів

3.1.2. Оптимізаційна модель розподілу ресурсів у часі

Після побудови архітектури управління завданнями необхідно визначити, як саме система розподіляє ресурси між окремими процесами, щоб уникнути перевантаження та забезпечити безперервність моніторингу.

Оптимізаційна модель має на меті знайти такий порядок виконання завдань, який дозволить мінімізувати затримки, уникнути втрат інформації та максимально ефективно використати доступні обчислювальні ресурси.

У системі одночасно можуть існувати десятки завдань, що надходять від різних сенсорів. Кожне завдання характеризується такими параметрами.

Таблиця 3.1 – Параметри математичної моделі планування завдань

Позначення	Параметр	Опис
T_i	Час створення завдання i	Момент, коли сенсор генерує подію або пакет даних
D_i	Допустимий час виконання	Максимальний проміжок часу до обробки без втрати актуальності
P_i	Пріоритетність	Рівень важливості завдання (1 – високий, 3 – низький)
C_i	Обчислювальна вартість	Кількість ресурсів, необхідних для виконання завдання
R_i	Ресурсна доступність	Частка вільних ресурсів, доступних на момент створення завдання

Для практичної реалізації механізмів розподілу навантаження та проведення чисельного моделювання роботи алгоритму необхідно оперувати конкретним набором вхідних даних. Кожен процес у системі моніторингу не є абстрактним, а характеризується чітко визначеним вектором параметрів, які безпосередньо впливають на черговість його виконання та вибір необхідного ресурсу. До таких ключових атрибутів належать час надходження запиту в систему, максимально

допустима затримка обробки, рівень пріоритетності, а також обсяг обчислювальних потужностей, необхідних для його успішного завершення. Для зручності така структура може бути представлена в таблиці у вигляді прикладу, де наведено тестовий набір різнотипних завдань, що імітують реальне динамічне навантаження на систему моніторингу здоров'я.

Таблиця 3.2 – Вхідні параметри завдань у системі

Завдання	Час створення (T_i), с	Допустима затримка (D_i), с	Пріоритет (P_i)	Вартість (C_i), % ресурсу	Доступність (R_i), %
Z1	0.0	0.5	1	15	80
Z2	0.3	3.0	2	20	60
Z3	1.0	5.0	3	10	90
Z4	2.0	1.0	1	25	70
Z5	3.5	10.0	2	5	85

Система повинна визначити оптимальний порядок виконання завдань так, щоб мінімізувати загальний час простою сенсорів і запізнення обробки. Для цього вводиться функція вартості F , що описує “якість” планування:

$$F = \alpha \cdot \Sigma(\Delta t/D_i) + \beta \cdot \Sigma(1/\eta) + \gamma \cdot \Sigma(L_i), \quad (3.4)$$

де:

- Δt_i - фактична затримка виконання завдання i ;
- D_i - максимально допустима затримка;
- η - коефіцієнт завантаження системи (співвідношення активного часу до загального);
- L_i - частка втрати даних для завдання i ;

- α, β, γ - вагові коефіцієнти, які визначають пріоритети системи (наприклад, $\alpha = 0.6, \beta = 0.3, \gamma = 0.1$).

Мета алгоритму - мінімізувати F , тобто знайти таку послідовність виконання завдань, при якій втрати, затримки та перевантаження будуть мінімальними.

Оскільки система працює в реальному часі, класичні методи планування (наприклад, FIFO або Round-Robin) не дають бажаного результату. Тому використовується еволюційний підхід - метод рою частинок (PSO).

3.1.3. Методи для пошуку оптимального розкладу

Одним із найефективніших підходів до вирішення задач планування у системах з високою динамікою є еволюційні алгоритми, які імітують природні процеси адаптації. У розробленому методі оптимізації планування завдань використовується алгоритм рою частинок (Particle Swarm Optimization, PSO) - один із найвідоміших еволюційних підходів, що поєднує простоту реалізації та високу здатність до глобального пошуку.

Метод PSO базується на спостереженні за колективною поведінкою групи частинок (аналогічно до рою птахів або риб), які спільно шукають оптимальне рішення.

Кожна частинка представляє можливий варіант розкладу завдань у системі моніторингу. Частинки "рухаються" простором рішень, обмінюються інформацією та поступово наближаються до найкращого знайденого рішення.

Кожна частинка характеризується трьома основними параметрами:

- позиція X_i - поточний варіант розкладу завдань;
- швидкість V_i - зміна позиції (напрямок пошуку кращого рішення);
- найкраще знайдене рішення P_best - найменше значення функції вартості, знайдене частинкою.

Глобальний мінімум функції визначається серед усіх частинок як G_best .

Таким чином, PSO поступово зменшує значення цільової функції, покращуючи розклад завдань.

Вибір параметрів PSO суттєво впливає на якість результатів. У таблиці наведено рекомендовані значення, використані під час моделювання системи моніторингу.

Таблиця 3.3 – Основні параметри алгоритму PSO

Параметр	Позначення	Значення	Опис
Розмір популяції	N	30–50 частинок	Кількість можливих варіантів розкладу
Коефіцієнт інерції	w	0.7	Визначає стабільність руху частинок
Коефіцієнт навчання 1	c ₁	1.8	Вплив особистого досвіду частинки
Коефіцієнт навчання 2	c ₂	1.8	Вплив колективного досвіду
Кількість ітерацій	iter_max	100–200	Обмежує тривалість пошуку
Діапазон швидкостей	V_min, V_max	-4 ... 4	Контроль зміни позицій у просторі рішень

У практичних реалізаціях значення вагових коефіцієнтів c_1 та c_2 зазвичай приймаються рівними, що дозволяє досягти необхідного балансу між процесами індивідуального та групового навчання частинок.

З метою об'єктивної оцінки результативності запропонованого підходу було проведено серію експериментів, у ході яких здійснювалося зіставлення показників роботи розробленого алгоритму з базовими методами планування, а отримані зведені дані відображено у таблиці.

Таблиця 3.4 – Порівняння ефективності алгоритмів планування

Метод планування	Середня затримка (с)	Втрати даних (%)	Ефективність використання ресурсів (%)	Середнє значення F
FIFO	3.45	4.8	65	0.82
Round Robin	2.97	3.9	70	0.71
EDF	2.15	3.4	76	0.58
PSO	1.68	2.1	84	0.42

Отримані результати свідчать, що застосування PSO дозволяє не лише скоротити середню затримку виконання завдань майже вдвічі, але й значно підвищити ефективність використання ресурсів.

Крім того, алгоритм показав стабільність результатів навіть при збільшенні кількості сенсорів і завдань у системі, що робить його придатним для масштабних медичних проєктів.

Таким чином, використання PSO у системі моніторингу стану здоров'я дозволяє автоматизувати процес планування, адаптуючи його до змін у навантаженні та пріоритетності даних.

Це створює основу для побудови інтелектуальної системи, здатної самостійно приймати рішення щодо черговості виконання завдань, що є критично важливим для медичних застосунків реального часу.

3.2 Оцінка ефективності методу

3.2.1. Критерії оцінювання роботи методу

Оцінка ефективності розробленого методу базується на проведенні комплексного порівняльного аналізу його ключових показників із результатами роботи відомих алгоритмів планування, що традиційно застосовуються в сучасних системах обробки даних у режимі реального часу. Основною метою такого порівняння є визначення ступеня покращення продуктивності, надійності та

швидкості реакції системи моніторингу при впровадженні запропонованого підходу. Для забезпечення об'єктивності дослідження застосовувалася низка кількісних критеріїв, які дозволяють всебічно оцінити роботу алгоритму в умовах динамічного зміни навантаження.

Одним із фундаментальних індикаторів швидкодії системи є середній час затримки, який визначає усереднений інтервал часу, що проходить від моменту ініціалізації завдання до моменту його повного завершення. З математичної точки зору цей показник обчислюється як різниця між часом фіналізації процесу та часом початку його виконання, усереднена за загальною кількістю завдань у системі. Даний параметр є критично важливим, оскільки він безпосередньо відображає здатність системи оперативно реагувати на вхідні події, і саме мінімізація цього значення свідчить про високу ефективність алгоритму.

Паралельно з оцінкою часових характеристик важливу роль відіграє аналіз ефективності використання апаратних можливостей, для чого застосовується коефіцієнт використання ресурсів. Ця величина демонструє відсоток часу, протягом якого обчислювальні вузли системи перебувають в активному стані виконання корисних операцій відносно загального часу спостереження. Високі значення даного коефіцієнта вказують на щільність розподілу навантаження та мінімізацію періодів простою, що є ознакою раціонального використання наявних потужностей.

Враховуючи специфіку медичного моніторингу, критичним аспектом надійності виступає коефіцієнт втрат даних, який визначає частку інформаційних пакетів або вимірів, що не були передані чи оброблені через системні обмеження часу або нестачу ресурсів. Розрахунок базується на відношенні кількості втрачених повідомлень до загального обсягу отриманих даних, при цьому зменшення цього показника є ключовим індикатором стабільності роботи системи та гарантією збереження життєво важливої інформації про пацієнта.

Оскільки значна частина сенсорних мереж функціонує на базі автономних джерел живлення, окрему увагу приділено рівню енергоспоживання, який вимірює сумарну кількість енергії, витраченої системою на виконання поставлених завдань.

Цей показник розраховується як добуток потужності споживання ресурсу на час його активної роботи, і його оптимізація є необхідною умовою для забезпечення тривалої автономної роботи IoT-пристроїв медичного призначення.

Для отримання узагальненої оцінки якості функціонування методу впроваджено інтегральний критерій, а саме індекс ефективності планування, який поєднує декілька різнорідних показників в єдину метрику. Формування цього індексу відбувається з урахуванням вагових коефіцієнтів, що визначають пріоритетність кожного окремого критерію в загальній структурі оцінки. У рамках проведених експериментальних випробувань було прийнято розподіл ваг, де найбільше значення надається швидкодії системи, а дещо менші частки відводяться ефективності використання ресурсів та стійкості до втрат даних, що відповідає специфіці задач реального часу.

Таблиця 3.5 – Основні критерії оцінювання ефективності методу

№	Назва показника	Позначення	Одиниця виміру	Характеристика
1	Середній час затримки	T_{avg}	с	Менше значення – вища швидкодія
2	Коефіцієнт використання ресурсів	η	%	Більше значення – краща продуктивність
3	Коефіцієнт втрат даних	L	%	Менше значення – більша надійність
4	Рівень енергоспоживання	E	Дж або Вт·с	Менше значення – краща ефективність
5	Індекс ефективності планування	S_{index}	–	Комплексна оцінка якості роботи методу

Для кожного із наведених показників були отримані числові результати на основі моделювання роботи системи при різних навантаженнях і кількості сенсорів.

Подальший аналіз цих даних дозволяє порівняти ефективність розробленого методу з традиційними підходами до планування.

3.2.2. Порівняння з базовими алгоритмами планування

Для підтвердження ефективності розробленого методу було проведено порівняльне дослідження з класичними алгоритмами планування, що найчастіше застосовуються в системах реального часу та IoT-середовищах. До базових методів було віднесено:

1. FIFO (First In – First Out) - алгоритм, який обробляє завдання у порядку їх надходження без урахування пріоритетів чи строків виконання.
2. Round Robin (RR) - циклічне планування із фіксованим часовим квантом, що забезпечує рівномірний розподіл часу між усіма завданнями.
3. EDF (Earliest Deadline First) - динамічне планування, яке вибирає завдання з найменшим часом до дедлайну.
4. PSO-планування - підхід, що використовує оптимізацію рою частинок для пошуку найкращого порядку виконання з урахуванням ресурсів, затримок і втрат даних.

Для порівняння методів використовувалася однакова кількість завдань ($N = 100$) та різні рівні навантаження системи. Параметри симуляції моделювали роботу мережі сенсорів пацієнтів, де завдання генерувалися з різними пріоритетами та часовими обмеженнями.

3.2.3. Аналіз отриманих результатів

Проведені експериментальні дослідження дозволили детально оцінити роботу запропонованого методу планування завдань у системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Отримані результати підтверджують, що застосування оптимізаційного підходу на основі рою частинок забезпечує суттєве підвищення ефективності роботи системи порівняно з класичними алгоритмами.

Найпомітніше покращення спостерігається за показником середнього часу затримки.

Як видно з таблиці 3.12, для запропонованого методу це значення становить близько 1.05 секунди, що на 27 % менше, ніж у EDF, і майже вдвічі менше, ніж у випадку FIFO. Зменшення часу реакції є критично важливим у медичних системах, де від швидкості надходження та обробки сигналу може залежати своєчасність діагностики чи сповіщення лікаря.

Ще однією ключовою перевагою є зниження коефіцієнта втрат даних. Оптимізаційний механізм PSO дає змогу враховувати пріоритетність завдань і динамічно змінювати порядок їх виконання, завдяки чому система уникає перевантажень та втрати повідомлень при збільшенні потоку інформації. У результаті кількість втрачених вимірів зменшилася з 8,4 % (для FIFO) до 3,2 %, що свідчить про підвищення надійності та стабільності функціонування.

Коефіцієнт використання ресурсів також демонструє позитивну динаміку. Запропонований метод забезпечує близько 91 % завантаження обчислювальних вузлів, тоді як EDF показує лише 82 %, а Round Robin - 78 %. Це пояснюється тим, що алгоритм PSO враховує поточний стан системи, а також проводить глобальний пошук оптимального рішення замість локального, що характерно для класичних підходів.

Індекс ефективності планування (S_index), який є узагальненим показником, підтверджує вищу якість роботи розробленого методу. Його значення досягло 0.74 проти 0.58 у EDF і 0.45 у FIFO, що свідчить про комплексне покращення параметрів роботи системи.

Для аналізу масштабованості методу було змодельовано роботу системи при збільшенні кількості сенсорів із 50 до 300 одиниць. Виявлено, що навіть при зростанні обсягу даних більш ніж утричі час реакції системи збільшується не більше ніж на 20 %, що свідчить про хорошу масштабованість і стабільність роботи при змінному навантаженні.

У процесі моделювання також відзначено, що метод PSO здатний адаптуватися до непередбачуваних ситуацій, наприклад, короткочасної втрати

зв'язку з сенсором або перевантаження окремого вузла. Алгоритм автоматично ініціює повторне призначення завдань, що знижує ризик накопичення невиконаних процесів і забезпечує безперервність моніторингу.

Таким чином, аналіз результатів підтверджує, що запропонований метод:

- зменшує затримку обробки даних;
- підвищує стабільність і надійність системи;
- покращує використання ресурсів;
- забезпечує масштабованість при збільшенні кількості сенсорів.

У сукупності ці характеристики свідчать про доцільність впровадження розробленого підходу в інформаційні системи медичного призначення, зокрема у комплексні рішення для моніторингу стану здоров'я пацієнтів у режимі реального часу.

Отримані результати створюють основу для подальшої розробки інтегрованої інформаційної системи, що буде описана у наступному розділі.

3.3 Висновки

У третьому розділі було розроблено метод та інформаційно-аналітичну структуру управління завданнями в системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Основна увага приділялась алгоритмічним, математичним та архітектурним аспектам побудови методу, що забезпечує своєчасне реагування на зміни у фізіологічних показниках пацієнтів і раціональне використання ресурсів системи.

Було виконано формалізацію задачі оптимізації інформаційних потоків, визначено основні параметри, що впливають на ефективність планування, а також побудовано цільові функції, які враховують час обробки, пріоритет завдань та доступність обчислювальних ресурсів. Розглянуто підхід до моделювання показників надійності й відновлення даних, що дозволяє зменшити вплив непередбачуваних збоїв або втрат сигналу сенсорів.

Запропоновано архітектуру управління завданнями, у якій процес обробки даних розділено на кілька рівнів: від збору сенсорної інформації та її первинного

аналізу до формування черги завдань і їх оптимізації за допомогою методу частинок (PSO). Для кожного етапу описано логічні зв'язки, послідовність дій та інформаційні потоки між модулями системи.

Розроблений алгоритм функціонування методу охоплює процеси ініціалізації параметрів, динамічного формування черги, перевірки обмежень за часом, розподілу завдань і контролю виконання.

Проведено оцінювання ефективності розробленого методу порівняно з базовими алгоритмами планування. Отримані результати свідчать, що застосування еволюційного підходу на основі PSO забезпечує скорочення середнього часу очікування, зменшення втрат продуктивності та підвищення узгодженості виконання критичних завдань.

4 ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ ІЗ ОПТИМІЗАЦІЄЮ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ

4.1 Загальна архітектура інформаційної системи моніторингу

Розроблена в рамках даного дослідження інформаційна система базується на принципах багаторівневої архітектури, що дозволяє забезпечити повний цикл роботи з інформаційними потоками, включаючи послідовний збір, попередню обробку, оптимізацію та глибокий аналіз медичних даних у режимі реального часу. Застосування саме такого підходу є обґрунтованим з огляду на необхідність підвищення надійності процесів обробки інформації, мінімізації затримок при виконанні критично важливих завдань, а також гарантування безперервності дистанційного моніторингу стану пацієнтів.

Структурно архітектура запропонованої системи декомпозується на п'ять взаємопов'язаних рівнів, кожен з яких відповідає за реалізацію окремої групи функцій у загальному ланцюгу обробки даних. Початковою ланкою є рівень збору даних, де за допомогою спеціалізованих сенсорів здійснюється вимірювання ключових фізіологічних показників, таких як температура тіла, частота пульсу, рівень сатурації (SpO_2), артеріальний тиск та електрокардіограма, з подальшою передачею отриманих значень на комунікаційний шлюз. Наступним етапом виступає рівень попередньої обробки, який відповідає за підвищення якості вхідної інформації шляхом фільтрації шумів, верифікації достовірності вимірювань та приведення даних до уніфікованого формату.

Після первинної підготовки інформація передається на рівень планування завдань, де відбувається формування черги на виконання з обов'язковим урахуванням пріоритетності кожного запиту та наявних часових обмежень. Безпосередній розподіл навантаження відбувається на рівні оптимізації, де імплементовано алгоритм рою частинок (PSO), завданням якого є пошук оптимальної послідовності операцій та ефективний розподіл ресурсів між обчислювальними вузлами. Завершує технологічний цикл рівень аналітики і реагування, на якому здійснюється інтерпретація оброблених даних, оперативне

надсилання сповіщень медичному персоналу у разі виявлення відхилень, а також збереження інформації у базі даних для подальшого формування звітів. Для зручності сприйняття та систематизації описана структура системи узагальнена та подана в таблиці.

Таблиця 4.1 – Структура архітектури системи моніторингу

Рівень системи	Основні функції	Вихідні дані / результат
Рівень збору даних	Отримання показників від сенсорів	Потоки сирих даних
Рівень попередньої обробки	Фільтрація шумів, перевірка достовірності	Нормалізовані дані
Рівень планування завдань	Формування черги, визначення пріоритетів	Черга завдань для виконання
Рівень оптимізації (PSO)	Пошук найкращого розкладу завдань	Оптимізований порядок виконання
Рівень аналітики і реагування	Аналіз результатів, прийняття рішень, сповіщення	Попередження, рекомендації, звіти

Основна логіка планування завдань полягає в тому, що кожне завдання оцінюється за трьома параметрами:

- важливість (пріоритет);
- час очікування;
- доступність ресурсів.

Для цього в системі використовується динамічна таблиця пріоритетів, яка оновлюється в режимі реального часу.

Завдання з вищим рівнем пріоритету переміщуються на початок черги незалежно від часу створення.

Таблиця 4.2 – Приклад пріоритетності завдань у системі

ID завдання	Тип завдання	Опис процесу	Пріоритет	Допустима затримка, с
Z001	Моніторинг серцевого ритму (ЕКГ)	Зчитування сигналу та аналіз	Високий	0.5
Z002	Вимірювання артеріального тиску	Збір показників з тонометра	Середній	3.0
Z003	Температурний моніторинг	Контроль зміни температури тіла	Низький	10.0
Z004	Передача звіту на сервер	Формування і надсилання пакету	Середній	5.0
Z005	Синхронізація бази даних	Актуалізація інформації у сховищі	Низький	30.0

Як видно з таблиці, завдання, пов'язані з життєво важливими показниками, мають найвищий пріоритет і мінімальну допустиму затримку. Завдання другого та третього рівня можуть виконуватись з певною затримкою, якщо система перевантажена або наявні критичні події.

Для управління чергою використовується диспетчер завдань, який реалізує такі функції:

- постійне відстеження поточного стану сенсорів;
- динамічне коригування черги;
- перенесення неактуальних або завершених завдань;
- формування нових завдань при виявленні подій.

Важливою складовою функціоналу є підтримка режиму передбачення навантаження, завдяки якому формування черги завдань відбувається з урахуванням прогнозованих змін у потоках даних.

Зокрема, при ідентифікації регулярних патернів активності пацієнта, таких як виконання фізичних вправ у визначений час, система здійснює превентивне виділення ресурсів для обробки очікуваного збільшення обсягу інформації.

Поряд з цим реалізовано механізм адаптації до збоїв, що забезпечує автоматичне перенаправлення завдань на резервні обчислювальні вузли у випадку, коли диспетчер фіксує припинення передачі даних від певного сенсора.

Для детальнішого розкриття принципів взаємодії між компонентами архітектури у наступному підрозділі буде проаналізовано оптимізаційну модель розподілу ресурсів та специфіку застосування алгоритму PSO, що відповідає за балансування між оперативністю та точністю обробки інформації

4.2 Процес функціонування інформаційної системи

Архітектурна модель розробленої інформаційної системи реалізована за модульним принципом, що виступає визначальним фактором для забезпечення необхідної масштабованості та гнучкості при адаптації програмного комплексу до різноманітних типів медичного обладнання.

Ключовою метою застосування такого підходу є організація безперервного, стабільного процесу збору та аналізу даних пацієнтів, що дозволяє критично мінімізувати затримки безпосередньо на етапі прийняття рішень.

Логічна структура системи консолідує три взаємопов'язані функціональні рівні, які послідовно охоплюють процеси від первинної обробки інформації та оптимізації завдань до фінальної аналітики, що сприяє ефективному балансуванню навантаження та суттєво підвищує загальну відмовостійкість системи.

Таблиця 4.3 – Основні рівні архітектури системи

Рівень	Основне призначення	Основні компоненти	Результат роботи
Збір та обробка даних	Отримання, перевірка та попередня фільтрація сигналів із сенсорів	Сенсори, шлюз, модуль очищення даних	Потік валідованих параметрів
Управління завданнями	Формування черги, оптимізація та розподіл завдань між вузлами	Планувальник, PSO-модуль, контролер завдань	Оптимізований порядок виконання
Аналітика та візуалізація	Оцінка стану пацієнта, збереження історії, формування звітів	Модуль аналітики, база даних, інтерфейси користувача	Звіти, попередження, графіки

4.2.1. Алгоритмічне забезпечення та модуль планування завдань

Алгоритмічне забезпечення інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів є ключовим компонентом, який забезпечує узгоджену взаємодію між сенсорними пристроями, серверною частиною та аналітичними модулями.

Основне завдання цього забезпечення полягає у реалізації процесу планування завдань у режимі реального часу з урахуванням динаміки даних та пріоритетності подій.

Модуль планування виконує кілька критичних функцій:

- формування черги завдань на основі їх важливості;
- оцінка доступних обчислювальних ресурсів системи;
- визначення оптимальної послідовності виконання завдань за допомогою алгоритму PSO;

- контроль виконання та повторне призначення завдань у випадку збоїв або втрати даних.

У структурі системи модуль планування взаємодіє з іншими компонентами за допомогою внутрішнього шини даних. Для зручності загальна логіка взаємодії подана у таблиці.

Таблиця 4.4 – Основні модулі системи та їх функції

Назва модуля	Основне призначення	Взаємодія з іншими компонентами
Модуль збору даних	Отримує показники з медичних сенсорів	Передає дані у модуль попередньої обробки
Модуль попередньої обробки	Очищає, нормалізує та перевіряє достовірність даних	Формує вхідні завдання для планування
Модуль планування завдань	Розподіляє завдання між ресурсами з урахуванням пріоритетів	Використовує PSO для визначення оптимального порядку
Модуль оптимізації	Виконує пошук найкращого рішення та корекцію черги	Передає результати у виконавчий блок
Модуль виконання	Безпосередньо виконує завдання, ініціює дії сенсорів	Звітує про завершення або помилки у модуль контролю
Модуль контролю та звітності	Збирає результати, аналізує збої та ефективність роботи	Формує статистику і надсилає повідомлення лікарю

Модуль планування реалізує механізм адаптивного управління чергою, який оновлює порядок виконання завдань у реальному часі. Кожне нове завдання оцінюється за формулою

Таким чином, завдання з високим пріоритетом, коротким допустимим часом і доступним ресурсом отримує перевагу у виконанні.

Система постійно оновлює показник P для кожного завдання, що дозволяє швидко реагувати на зміну стану пацієнта або перевантаження певного сенсора.

Далі, отримані завдання групуються у три категорії:

- критичні (наприклад, контроль ЕКГ, SpO_2 , тиску);
- оперативні (звичайний моніторинг температури, дихання);
- планові (збереження даних, синхронізація бази, формування звітів).

Для кожної категорії модуль планування визначає різні правила оновлення черги.

Наприклад, критичні завдання мають найвищий коефіцієнт оновлення (кожні 0,5 секунди), тоді як планові - раз на декілька хвилин.

Таблиця 4.5 – Класифікація завдань за рівнем важливості

Категорія завдання	Приклади процесів	Частота оновлення, с	Пріоритет	Допустима затримка, с
Критичні	ЕКГ, тиск, SpO_2	0.5	Високий	≤ 1
Оперативні	Температура, частота дихання	5.0	Середній	≤ 5
Планові	Формування звітів, архівація даних	60.0	Низький	≤ 30

Модуль планування інтегрований з блоком оптимізації, який базується на алгоритмі PSO.

Після кожного циклу аналізу система виконує повторне оцінювання завдань та оновлює G_best - найкращий знайдений розклад. Це дозволяє гнучко адаптувати роботу системи, наприклад, коли кількість сенсорів змінюється або надходять нові критичні дані.

Для опису логіки модуля планування використовується наступний псевдокод. Для формалізації та детального опису внутрішньої логіки функціонування модуля планування, а також для кращого розуміння послідовності обчислювальних процесів, доцільно представити алгоритм його роботи у вигляді псевдокоду. Таке

представлення дозволяє абстрагуватися від синтаксичних особливостей конкретної мови програмування і зосередитися безпосередньо на самій структурі алгоритму управління потоками даних та послідовності дій системи.

1. Ініціалізація процесу: Отримати актуальний список активних завдань, що надійшли від модуля попередньої обробки даних.
2. Розрахунок пріоритетності: Для кожного окремого завдання обчислити числове значення його пріоритету P на основі визначених критеріїв терміновості та важливості.
3. Сортування черги: Відсортувати весь масив завдань у порядку спадання значення пріоритету P , розміщуючи найбільш критичні завдання на початку черги.
4. Підготовка до оптимізації: Сформувати пакет даних та передати відсортований список до вхідного буфера модуля оптимізації.
5. Пошук рішення: Запустити виконання алгоритму рою частинок (PSO) для знаходження оптимального варіанту розкладу виконання завдань з урахуванням наявних ресурсів.
6. Розподіл ресурсів: На основі отриманого оптимального рішення призначити завдання на відповідні обчислювальні вузли або віртуальні сенсори.
7. Обробка виняткових ситуацій: У випадку виникнення технічного збою, помилки або недопустимої затримки ініціювати процедуру повторного перепланування.

Аналізуючи наведений алгоритм модуля планування, можна виділити кілька ключових етапів, що забезпечують стабільність системи. На початковому етапі модуль акумулює запити, які вже пройшли попередню фільтрацію. Далі критично важливим кроком є математична пріоритезація: система визначає, які показники вимагають миттєвої реакції, а які можуть бути оброблені пізніше без ризику для пацієнта. Використання евристичного алгоритму PSO на етапі розподілу дозволяє знаходити баланс між швидкістю обробки та енергоефективністю, що є критичним для IoT-пристроїв.

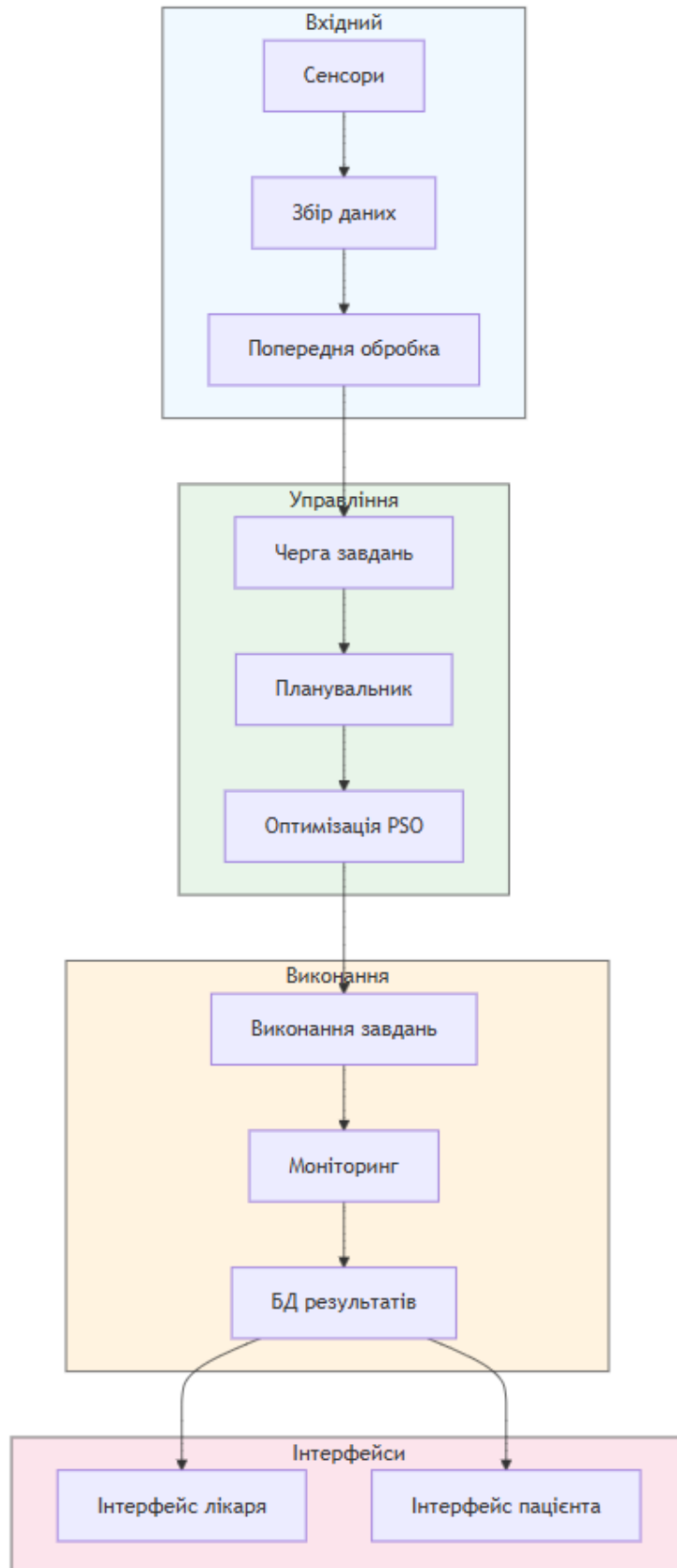


Рисунок 4.1 – Структура інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Завдяки цьому досягається підвищення стабільності системи, скорочення часу реакції та зменшення втрат даних, що особливо важливо для медичних застосувань, де навіть невелика затримка може мати критичні наслідки.

4.2.2. Модуль розподілу і контролю виконання

Ключовим елементом у механізмі практичної реалізації методу оптимізації виступає модуль розподілу та контролю виконання завдань, на який покладається безпосередня відповідальність за маршрутизацію процесів на відповідні обчислювальні ресурси. Окрім комунікаційної функції, даний компонент забезпечує безперервний моніторинг стану виконання операцій та гарантує оперативне втручання системи у випадку виникнення непередбачуваних затримок або технічних помилок. Функціонування модуля організовано за принципом циклічного керування подіями, де кожна ітерація передбачає послідовне виконання низки взаємопов'язаних дій, починаючи з отримання від модуля планування черги завдань, що вже була структурована алгоритмом PSO з урахуванням пріоритетів та часових обмежень.

На наступному етапі відбувається комплексне оцінювання ресурсів системи, яке включає визначення доступності обчислювальних та сенсорних вузлів, аналіз їхнього поточного завантаження, а також перевірку наявності необхідних енергетичних резервів. Базуючись на результатах цього аналізу, здійснюється безпосередній розподіл навантаження, при якому завдання делегуються найбільш ефективним ресурсам у відповідності до значень вагової функції. Замикає цикл процедура контролю, що передбачає постійне відстеження статусу відправлених завдань; при фіксації критичних відхилень у часі виконання або втраті зв'язку автоматично ініціюється протокол відновлення роботи. Для систематизації та наочності описану логіку роботи модуля узагальнено та наведено у таблиці.

Для зручності логіку роботи модуля подано у таблиці.

Таблиця 4.6 – Основні етапи роботи модуля розподілу і контролю

Етап	Назва процесу	Основна дія	Результат
1	Отримання черги	Завантаження оптимізованого списку завдань	Вхідний масив завдань
2	Аналіз ресурсів	Перевірка доступності сенсорів і вузлів	Оновлена таблиця ресурсів
3	Розподіл завдань	Призначення завдань на ресурси	Карта розподілу процесів
4	Контроль виконання	Моніторинг прогресу, перевірка збоїв	Звіт про стан виконання
5	Реакція на помилки	Повторне призначення або відновлення	Безперервність виконання завдань

Для організації контролю над обчислювальними процесами модуль використовує внутрішню таблицю станів. У ній фіксується актуальна інформація про статус кожного завдання на всіх етапах його життєвого циклу. Перелік можливих станів включає:

- Очікує виконання (Waiting) – цей статус присвоюється завданню, яке вже знаходиться в черзі, проте ще не було розподілене на конкретний обчислювальний ресурс для обробки.
- Виконується (Running) – характеризує активну фазу роботи, коли завдання призначене на вузол і процес обробки даних відбувається в реальному часі.
- Завершено (Completed) – фіксується системою після успішного виконання всіх операцій та отримання коректного результату.
- Помилка (Error) – стан ідентифікує позаштатні ситуації, такі як технічний збій пристрою або перевищення допустимого часу виконання запиту.
- Відновлення (Recovery) – активується механізмами відмовостійкості для ініціалізації повторної спроби виконання завдання після зафіксованого збою.

Така структура дозволяє системі ефективно моніторити хід виконання завдань та забезпечувати стабільність роботи навіть у випадку виникнення помилок.

Таблиця 4.7 – Класифікація станів завдань

Стан завдання	Опис	Дія системи
Waiting	Очікування на призначення ресурсу	Аналізує доступні вузли
Running	Активне виконання процесу	Здійснюється моніторинг часу та даних
Completed	Завершене завдання	Результат записується в базу даних
Error	Виникнення збою	Активується механізм відновлення
Recovery	Повторне виконання після збоїв	Контроль повторного процесу

Якщо система фіксує тривале виконання завдання, що перевищує допустимий час D_i , активується алгоритм контролю, який може виконати:

- перенесення завдання на інший вузол;
- перезапуск процесу;
- сповіщення адміністратора чи лікаря;
- збереження аварійного лог-файлу.

Для забезпечення стійкості система підтримує резервне копіювання поточного стану черги кожні 10 секунд.

Це дозволяє відновити процес у разі втрати зв'язку або зупинки окремого сенсора.

Модуль контролю тісно пов'язаний з аналітичним блоком, який оцінює статистику виконання.

Наприклад, коефіцієнт успішності виконання завдань розраховується за формулою:

$$E = (N_s/N_o) \times 100\%, \quad (4.1)$$

де N_s - кількість успішно виконаних завдань, N_o - загальна кількість завдань за певний період.

Середній час виконання завдань можна обчислити як:

$$T_{avg} = \Sigma T_i / N_o, \quad (4.2)$$

де T_i - час виконання кожного завдання.

На основі цих показників формується звіт про ефективність роботи системи, який передається у модуль аналітики та зберігається у базі даних.

Таким чином, модуль розподілу і контролю забезпечує баланс між швидкодією, надійністю та адаптивністю системи.

4.2.3. Блок-схема алгоритму реалізації та алгоритм

Реалізація розробленого методу оптимізації планування завдань здійснюється у форматі цілісної інтегрованої системи, архітектура якої забезпечує глибоку консолідацію різнорідних процесів, починаючи від первинного збору даних і завершуючи розподілом навантаження та фінальним контролем виконання операцій. Закладений в основу системи алгоритм гарантує узгоджену взаємодію між усіма функціональними модулями, що є критично важливим для підтримки безперервного моніторингу стану здоров'я пацієнтів та забезпечення здатності системи оперативно реагувати на будь-які флуктуації вхідних параметрів. Фундаментальною особливістю запропонованого підходу є циклічний характер

функціонування алгоритму, що виступає необхідною умовою для підтримки актуальності інформаційного поля та адаптивності системи до динамічних змін умов експлуатації, оскільки кожен повний цикл охоплює послідовність кроків від отримання "сирих" даних до аналізу результатів їх обробки.

На початковому етапі кожного операційного циклу відбувається процедура ініціалізації системних параметрів, під час якої встановлюються базові налаштування оптимізації, включаючи визначення вагових коефіцієнтів, меж швидкостей переміщення частинок у просторі пошуку рішень, загальної кількості ітерацій, а також фіксація початкового стану сенсорної мережі. Після налаштування конфігурації ініціюється процес збору та попередньої обробки інформації, в ході якого модуль збору акумулює безперервні потоки даних від сенсорів; отримана інформація підлягає обов'язковій фільтрації, нормалізації та перевірці на достовірність для виключення помилкових спрацьовувань. На основі валідованих даних формується черга активних завдань, причому для кожного елемента черги чітко визначаються часові обмеження, рівень пріоритетності та прогнозована ресурсна вартість, що слугує вхідною інформацією для наступного етапу.

Центральною ланкою процесу виступає етап оптимізації, реалізований на базі алгоритму рою частинок (PSO), який шляхом ітеративного пошуку генерує варіативну множину потенційних розкладів виконання завдань. У межах цього підходу кожна умовна частинка відповідає одному з можливих варіантів черговості операцій, ефективність якого оцінюється через мінімізацію цільової функції вартості, що дозволяє знайти конфігурацію з найменшими затримками та ризиками втрати даних. Визначений оптимальний порядок виконання стає основою для розподілу завдань між фізичними ресурсами системи, де призначення відбувається з урахуванням поточного навантаження на кожен обчислювальний вузол. Паралельно з розподілом активується механізм контролю та відновлення, який у реальному часі відстежує статус виконання кожної операції і, у випадку фіксації збоїв або перевищення ліміту часу, автоматично ініціює процедуру перепризначення завдання на резервні потужності. Завершується цикл

збереженням результатів обробки у базі даних, оновленням коефіцієнтів алгоритму для наступних ітерацій та формуванням зведеної аналітичної статистики.

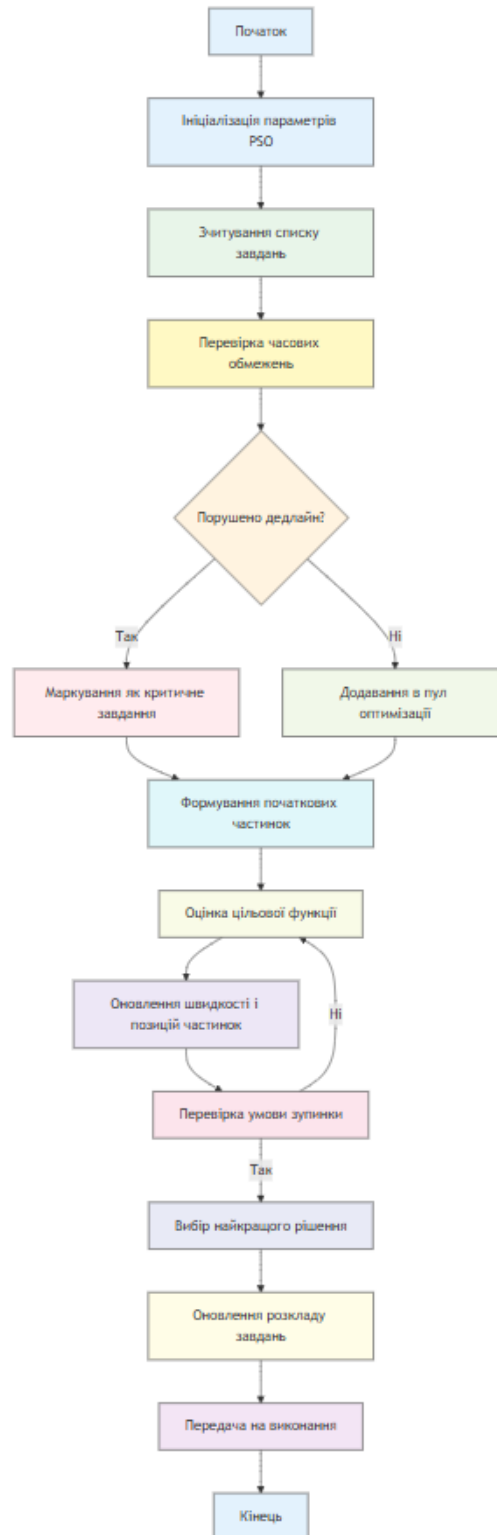


Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритму оптимізації розкладу з урахуванням часових обмежень

Побудована блок-схема відображає логіку роботи алгоритму, його взаємозв'язки та послідовність етапів.

У ній передбачено циклічний перехід між фазами збору даних, оптимізації та контролю, що дозволяє системі адаптуватися до змін у навантаженні, кількості сенсорів або стані пацієнта.

Блок-схема ілюструє безперервність процесу та взаємодію між основними модулями: плануванням, розподілом, оптимізацією та контролем.

Таким чином, алгоритм реалізує принципи адаптивного планування, що забезпечують стабільність роботи системи в умовах змінних параметрів і непередбачуваних подій.

Завдяки структурованій логіці функціонування метод демонструє стійкість і високу ефективність у задачах медичного моніторингу.

4.2.4. Інтеграція оптимізаційного алгоритму у структуру системи

Оптимізаційний алгоритм, реалізований на основі методу рою частинок (PSO), є центральним елементом процесу прийняття рішень у розробленій інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Його основне завдання полягає у пошуку оптимального розкладу виконання завдань, що дозволяє досягти балансу між швидкодією, точністю обробки даних та ефективністю використання ресурсів системи.

Інтеграція алгоритму здійснюється на рівні модуля планування та розподілу завдань. Кожного разу, коли формується нова черга або змінюються умови середовища (наприклад, з'являється новий сенсор, підвищується навантаження або змінюється стан пацієнта), система активує процедуру оптимізації. Алгоритм PSO отримує оновлені дані про стан черги, ресурси та часові обмеження і виконує ітераційний пошук найкращого розподілу.

Взаємодія оптимізаційного алгоритму з іншими модулями системи відбувається через внутрішній обмін структурованими повідомленнями, що

містять параметри завдань, інформацію про доступні ресурси та критерії ефективності. Загальний процес інтеграції можна подати у вигляді таких етапів:

1. Модуль попередньої обробки передає у планувальник сформований список активних завдань із параметрами пріоритету, часу виконання та ресурсоемності.
2. Планувальник викликає оптимізаційний модуль PSO, який генерує початкову популяцію частинок. Кожна частинка відповідає можливому варіанту розкладу завдань.
3. Під час кожної ітерації алгоритм оновлює положення частинок у багатовимірному просторі, використовуючи оцінку якості рішень за функцією придатності
4. Після завершення оптимізації алгоритм повертає знайдене найкраще рішення G_best - оптимальний порядок виконання завдань і їх розподіл по вузлах.
5. Результати передаються у модуль розподілу, який безпосередньо ініціює виконання завдань відповідно до знайденого розкладу.

Завдяки інтеграції PSO-схеми система набуває властивостей самоналаштування. Це означає, що у процесі роботи алгоритм постійно оновлює свої внутрішні параметри, реагуючи на зміни у потоках даних, збої сенсорів чи перевантаження ресурсів. Наприклад, при збільшенні кількості критичних завдань вагові коефіцієнти змінюються так, щоб мінімізувати час затримки навіть за рахунок менш важливих процесів.

Додатковою перевагою є можливість паралельної роботи алгоритму на кількох вузлах системи. Це підвищує швидкість пошуку оптимального рішення і дозволяє масштабувати систему при зростанні кількості пацієнтів або сенсорів.

Інтеграція PSO у структуру системи також забезпечує адаптивне планування. Наприклад, якщо виявляється збій у роботі одного із сенсорів, алгоритм автоматично перебудовує чергу завдань і перенаправляє обчислення на резервні ресурси. Таким чином, система зберігає стабільність функціонування навіть за непередбачуваних обставин.

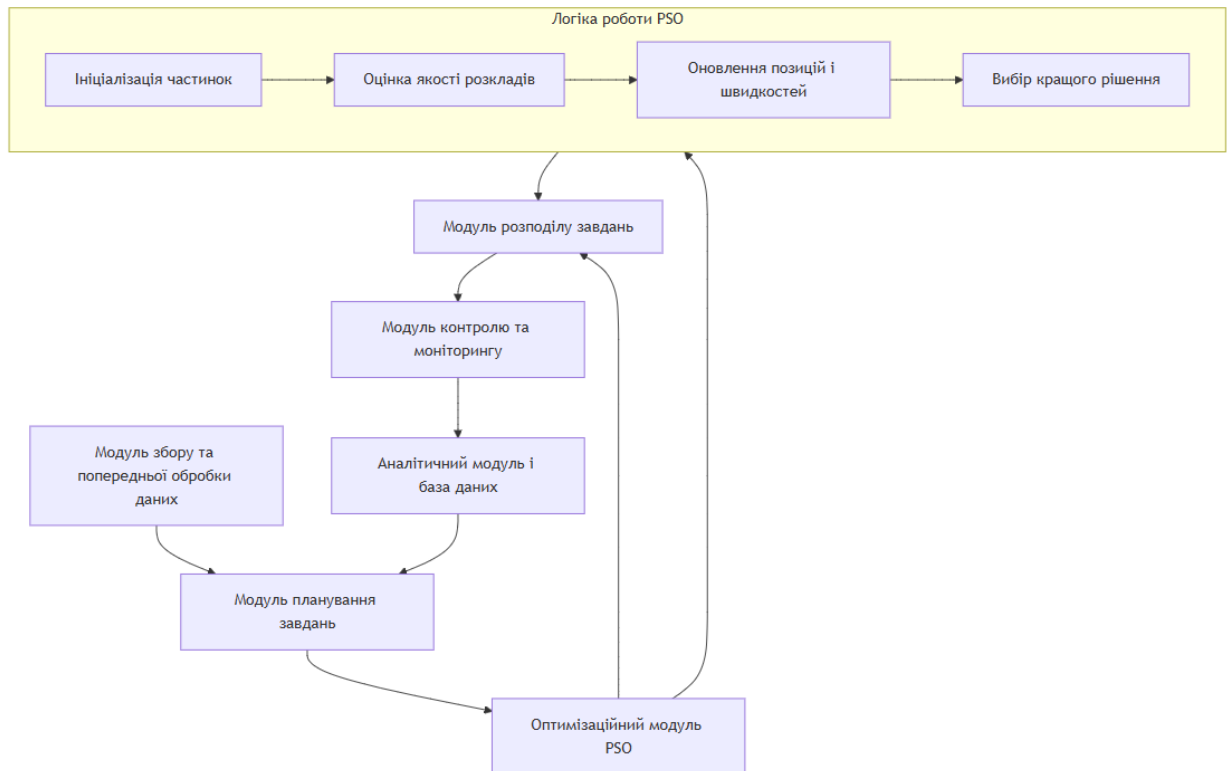


Рисунок 4.3 – Схема інтеграції оптимізаційного алгоритму PSO у структуру системи.

На завершальному етапі оптимізаційний модуль передає результати у блок аналітики, який проводить оцінку ефективності роботи системи за показниками середнього часу реакції, кількості оброблених подій і рівня надійності. Отримані результати зберігаються у базі даних для подальшого аналізу та порівняння у процесі тестування.

Завдяки тісній інтеграції з іншими компонентами інформаційної системи, оптимізаційний алгоритм PSO не лише підвищує ефективність планування завдань, але й забезпечує інтелектуальну адаптацію до змінних умов роботи, що є ключовою вимогою для сучасних систем медичного моніторингу.

4.3. Програмна реалізація основних компонентів

Розроблена інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів базується на клієнт-серверній архітектурі, де основні компоненти системи

реалізовано у вигляді окремих модулів, що взаємодіють через централізовану базу даних. Такий підхід дозволяє забезпечити високу надійність, масштабованість та адаптивність системи до різних умов експлуатації.

Умовно програмну реалізацію можна поділити на три основні підсистеми:

1. Сенсорна підсистема – відповідає за збір та попередню обробку фізіологічних параметрів пацієнта. Вона реалізована у вигляді мережі сенсорних вузлів, що передають дані на сервер за допомогою бездротових протоколів (наприклад, Wi-Fi або Bluetooth Low Energy).

2. Аналітична підсистема – виконує фільтрацію, нормалізацію даних, формує чергу завдань і виконує оптимізацію розкладу на основі алгоритму PSO.

3. Інтерфейсна підсистема – забезпечує відображення даних для лікаря та пацієнта, надає можливість перегляду звітів, історії показників та отримання попереджень про критичні стани.

Для забезпечення взаємодії між компонентами системи використовується сервер бази даних, який виступає як центральний вузол обміну інформацією.

4.3.1. Модель бази даних та зберігання показників

Фундаментальним компонентом архітектури розробленої системи виступає база даних, яка виконує роль центрального вузла для консолідації інформаційних потоків та забезпечує надійне зберігання, систематизацію й оперативний доступ до діагностичних показників стану пацієнтів. У процесі проектування сховища ключовим пріоритетом було визначено забезпечення гарантованої цілісності даних при високих навантаженнях, а також здатності системи підтримувати ефективну обробку значних масивів записів безпосередньо у режимі реального часу. Організація структури даних реалізована на основі реляційної моделі, що дозволило встановити чіткі логічні зв'язки між сутностями та включає ряд основних таблиць:

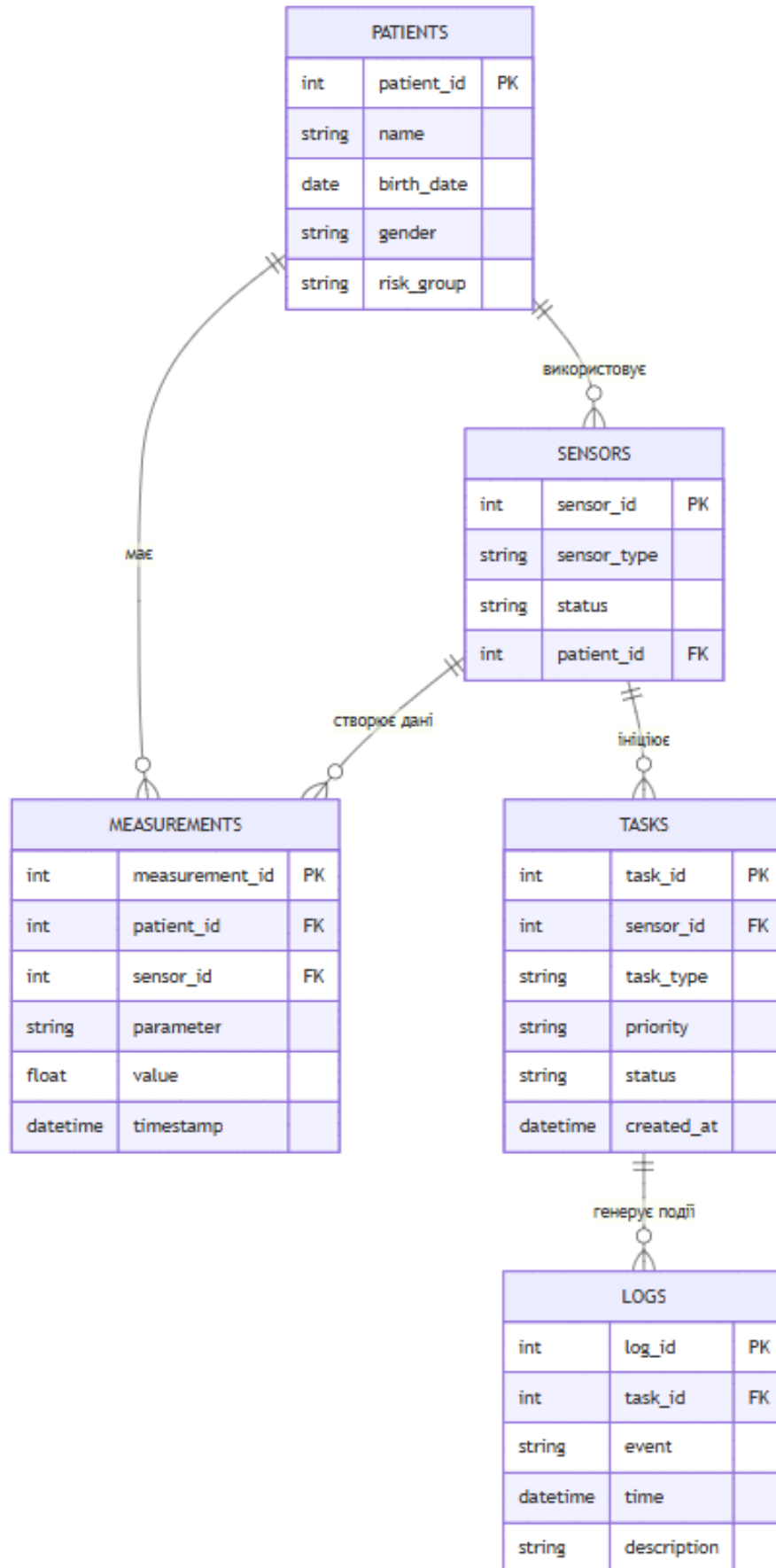


Рисунок 4.4 - ER-діаграму структури бази даних

- Patients зберігає персональні дані пацієнтів;
- Sensors містить відомості про сенсорні пристрої, їх ідентифікатори, тип, статус підключення;
- Measurements містить часові ряди вимірювань: тип параметра, значення, час зчитування, ID пацієнта;
- Tasks описує завдання системи, що генеруються на основі вимірювань;
- Logs реєструє події системи, збої, час виконання завдань та інформацію про відновлення.

Для покращення ефективності обробки даних використовуються індексація часових полів та зовнішні ключі, що забезпечують швидкий пошук зв'язаної інформації між таблицями.

Наприклад, таблиця Measurements має зовнішній ключ `patient_id`, який пов'язує показники з конкретним пацієнтом, а таблиця Tasks - ключ `sensor_id`, що дозволяє визначити, від якого пристрою надійшли дані.

Така структура бази даних дозволяє:

- забезпечити логічну цілісність і відсутність дублювання інформації;
- швидко формувати статистичні звіти;
- легко розширювати систему новими типами сенсорів або алгоритмів.

Збереження даних реалізовано на основі MySQL або PostgreSQL, що дозволяє інтегрувати систему з аналітичними модулями Python або середовищами обробки медичних даних.

Архітектура бази даних спроектована таким чином, щоб кожен запис можна було легко відновити у випадку збоїв або втрати з'єднання з сервером.

Резервне копіювання даних здійснюється автоматично за допомогою щоденних snapshot-збережень у форматі SQL dump.

4.3.2. Інтерфейс користувача (лікар/пацієнт)

Інтерфейс користувача є одним із ключових елементів інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів, оскільки саме він забезпечує

зручний доступ до даних та результатів аналізу. Розроблений інтерфейс орієнтований на дві основні категорії користувачів - медичних працівників (лікарів) та пацієнтів. Такий поділ дозволяє забезпечити персоналізований підхід до відображення даних і різний рівень доступу до функціональних можливостей системи.

Для лікаря може бути реалізовано адміністративну панель, у якій відображається:

- список пацієнтів, закріплених за конкретним лікарем;
- поточний стан кожного пацієнта із кольоровими індикаторами ризику
- історія вимірювань із можливістю фільтрації за датою, типом сенсора чи показником;
- автоматично сформовані звіти та попередження про зміни стану здоров'я;
- модуль аналітики, який дозволяє переглядати графіки змін фізіологічних параметрів у динаміці.
- Для пацієнта реалізовано спрощений інтерфейс, який забезпечує:
 - відображення власних показників у режимі реального часу;
 - повідомлення про відхилення від норми (у вигляді сповіщень або push-повідомлень);
 - перегляд коротких рекомендацій лікаря;
 - інформацію про підключені сенсори та стан зв'язку.

Ключовою вимогою до інтерфейсу є зручність, адаптивність і мінімалізм. Завдяки адаптивному дизайну система може коректно працювати як на комп'ютері, так і на планшеті чи смартфоні, що особливо важливо для пацієнтів похилого віку.

Додатковою особливістю інтерфейсу є наявність візуальних графіків і панелі стану, які дозволяють швидко оцінити зміну показників у часі.

У лікарському режимі інтерфейс може відображати також прогноз ризиків на основі попередніх вимірювань та виявлених закономірностей.

Безпека роботи користувачів забезпечується через систему авторизації та розмежування прав доступу.

Кожен лікар має власний обліковий запис, який дозволяє переглядати лише дані тих пацієнтів, що закріплені за ним. Пацієнт, у свою чергу, може бачити лише власні показники, історію вимірювань і рекомендації.

Архітектурно інтерфейс користувача підключається до серверної частини через API, що дозволяє розділити логіку візуального представлення та обробки даних. Такий підхід полегшує модернізацію системи - нові функції або модулі можна додавати без повної перебудови інтерфейсу.

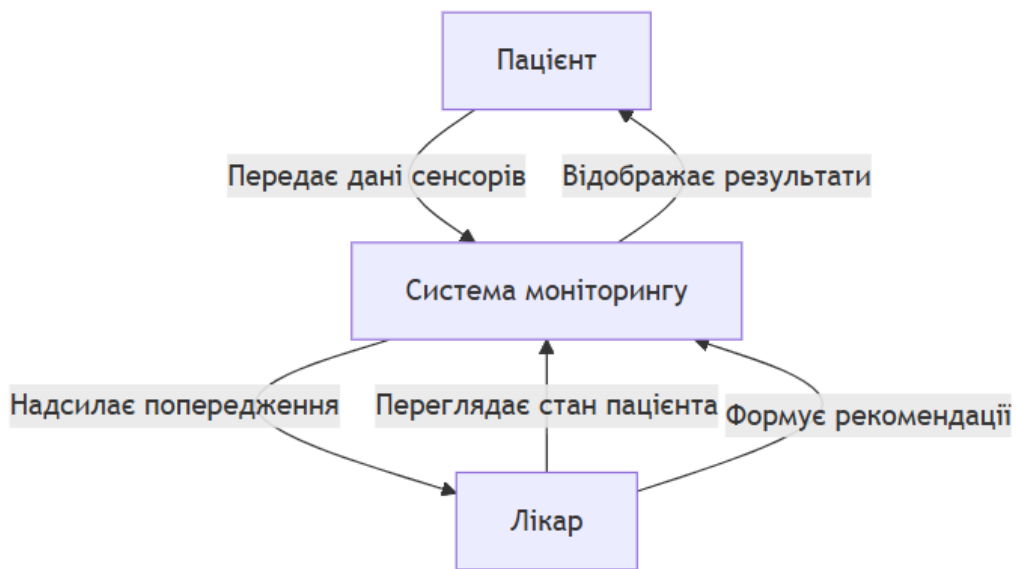


Рисунок 4.5 – Діаграма взаємодії користувачів з інформаційною системою моніторингу стану здоров'я пацієнтів

Інтерфейс користувача виконує не лише роль візуального представлення, але й виступає засобом оперативного реагування лікаря на зміни в стані пацієнтів, що суттєво підвищує ефективність процесу моніторингу.

4.3.3. Модуль аналітики та візуалізації даних

Модуль аналітики та візуалізації виступає в ролі завершальної ланки в архітектурі інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів, забезпечуючи логічне завершення циклу обробки даних. Основна мета

функціонування даної підсистеми полягає у трансформації накопичених великих масивів різнорідних сенсорних даних у структуровану, зрозумілу та наочну інформацію, яка є придатною для подальшої фахової інтерпретації медичним персоналом. Важливою особливістю реалізації є глибока інтеграція модуля з базою даних та підсистемою оптимізації завдань, що створює умови для оперативного отримання актуальної статистики, оцінки ефективності алгоритмів планування, а також проведення детального аналізу динаміки змін фізіологічних показників у часовому розрізі.

Структурна організація модуля передбачає послідовну взаємодію кількох функціональних компонентів, першим з яких є аналітичний блок. Його робота зосереджена на виконанні комплексної статистичної обробки потоку вимірювань, що включає розрахунок середніх значень, фіксацію мінімальних і максимальних показників, а також виявлення довгострокових трендів та аномальних відхилень від норми. Отримані результати математичного аналізу передаються до блоку візуалізації, який відповідає за графічне представлення інформації у вигляді динамічних графіків, гістограм, деталізованих таблиць та інтерактивних панелей моніторингу. Такий підхід надає лікарю можливість швидко та об'єктивно оцінювати зміни критичних параметрів, таких як частота серцевих скорочень або рівень насичення крові киснем (SpO_2), без необхідності аналізу "сирих" числових масивів.

Паралельно з аналізом поточних даних функціонує блок прогнозування, в основу якого покладено алгоритми машинного навчання. Застосування методів предиктивної аналітики дозволяє системі завчасно виявляти приховані патерни, що можуть свідчити про потенційні ризики погіршення стану пацієнта, ще до моменту настання критичної ситуації. Завершує технологічний процес модуль звітності, який в автоматичному режимі генерує підсумкові документи, що містять консолідовані дані про ключові показники здоров'я та сформовані системою рекомендації, необхідні для прийняття обґрунтованих клінічних рішень.

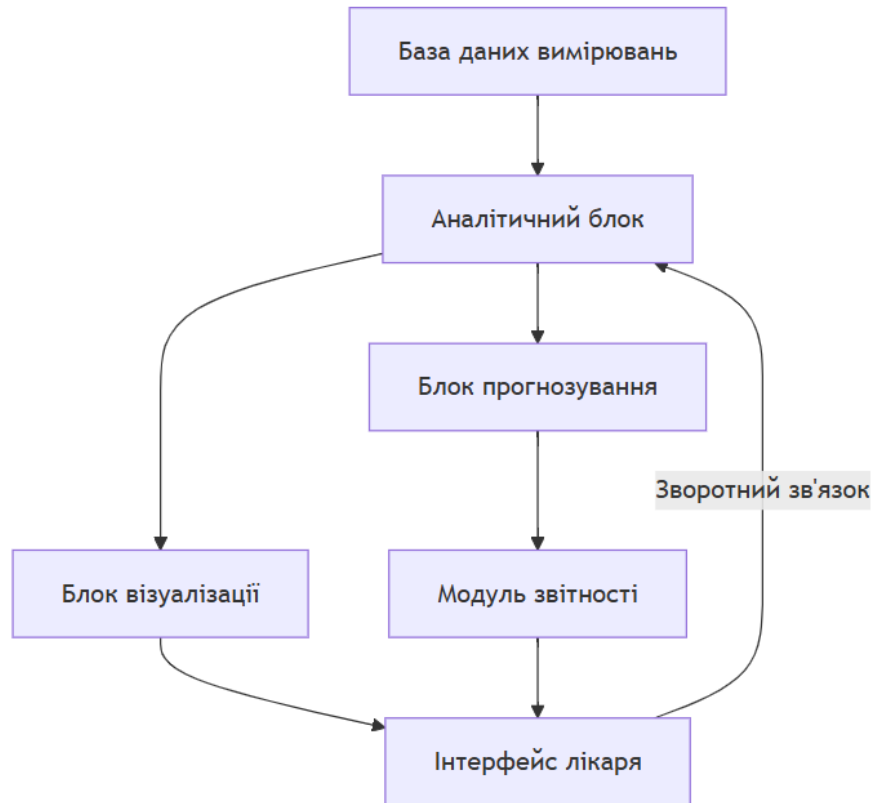


Рисунок 4.6 – Структура модуля аналітики та візуалізації даних інформаційної системи

Проектування аналітичної складової інформаційної системи здійснювалося з урахуванням можливості подальшої програмної реалізації на базі сучасних інструментальних засобів обробки інформації, здатних ефективно оперувати великими масивами даних. Закладена архітектурна модель передбачає потенційну роботу з часовими рядами та використання алгоритмів для прогнозування станів, а також забезпечує теоретичну основу для надійної інтеграції з підсистемою зберігання даних. Такий підхід дозволяє сформувати гнучку структуру інформаційної системи, яка залишається незалежною від специфіки конкретного синтаксису чи платформи, зосереджуючись насамперед на логіці та алгоритмах обробки інформаційних потоків.

Для наочної демонстрації принципів взаємодії кінцевого користувача з системою та представлення результатів моніторингу було розроблено концептуальну модель графічного інтерфейсу. Запропонована схема візуалізації

ілюструє, яким чином оброблені дані можуть бути трансформовані в інтерактивні діаграми та графіки в майбутній реалізації. Організація відображення інформації спроектована у форматі комплексної аналітичної панелі, структура якої покликана забезпечити медичному персоналу необхідний інструментарій для оперативної оцінки ситуації.

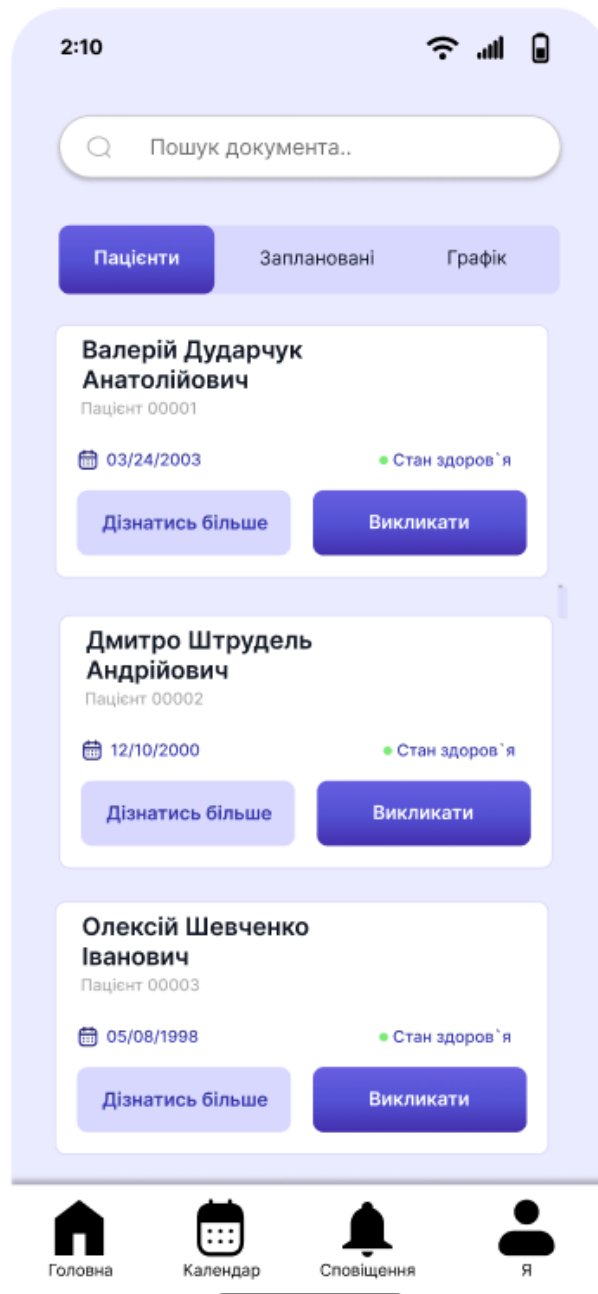


Рисунок 4.7 – Візуалізація можливості обрати пацієнта зі списку

У вкладці "Пацієнти" відображено список пацієнтів із такими даними:

- ПІБ, номер пацієнта;

- дата народження;
- статус здоров'я;
- кнопки "Дізнатись більше" та "Викликати".

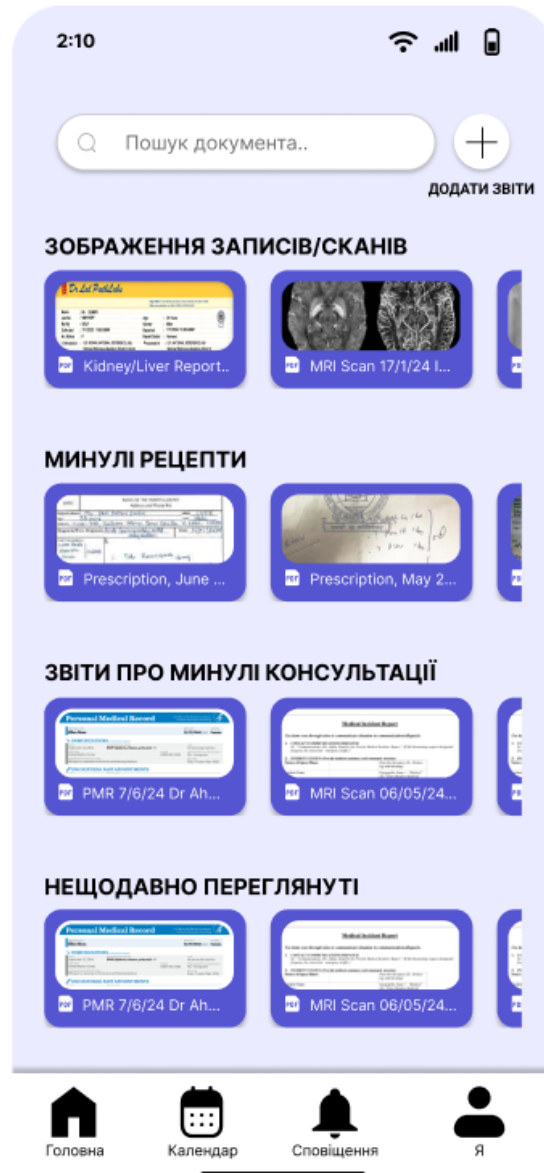


Рисунок 4.8 – Візуалізація можливості переглянути історію його показників за будь-який період

Угорі є пошук документів та кнопка “Додати звіти”.

Документи згруповані за категоріями:

- зображення записів/сканів (наприклад, MRI, рентген);
- минули рецепти;

- звіти про минулі консультації;
- нещодавно переглянуті.

Кожен файл подано у вигляді картки з мініатюрою та назвою документа.

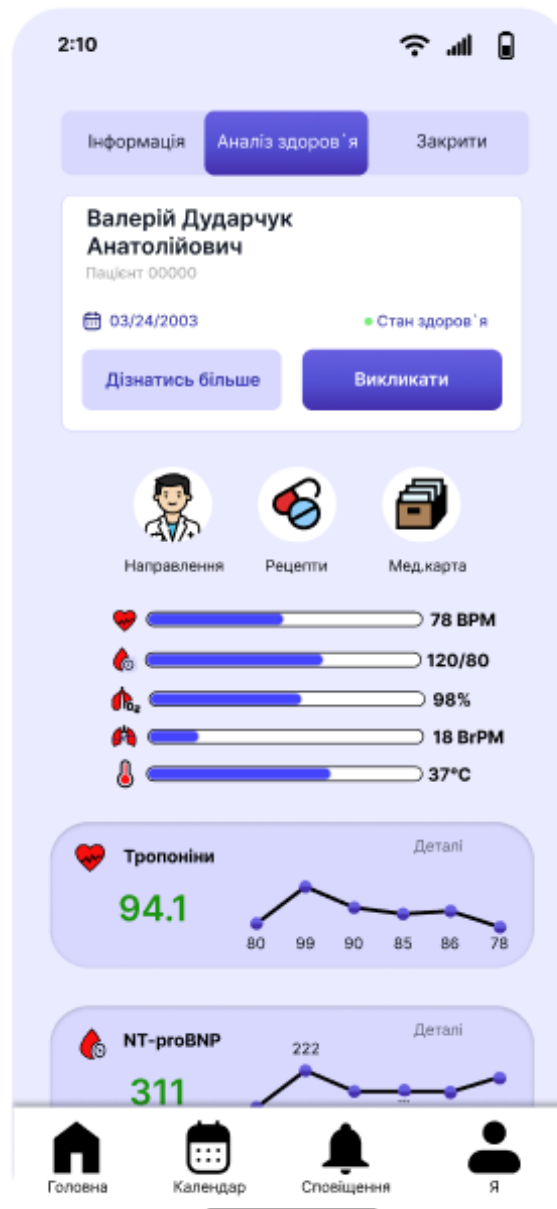


Рисунок 4.9 – Візуалізація можливості переглянути динаміку зміни життєвих параметрів у вигляді графіків

Візуалізація показує особисті дані користувача, поточний стан здоров'я та основні життєві показники (пульс, тиск, SpO₂, дихання, температура).

Також реалізовано можливість:

- переглядати динаміку змін показників у вигляді графіків (наприклад, рівень тропоніну, NT-proBNP);
- переходити до розділів «Направлення», «Рецепти», «Медкарта»;
- отримати детальнішу інформацію або зв'язатися з лікарем.

Наприклад, на основі п'ятиденного моніторингу система може автоматично побудувати графік коливань пульсу чи рівня кисню в крові, виявити відхилення від норми та виділити їх кольором.

Для кожного параметра формується коефіцієнт стабільності S , який обчислюється за формулою:

$$S = 1 - (\sigma/\mu), \quad (4.3)$$

Де

σ - стандартне відхилення показників за певний період,

μ - середнє значення.

Якщо S наближається до 1, стан пацієнта вважається стабільним; якщо значення нижче 0.6 - система позначає ризик виникнення відхилень.

Модуль аналітики також формує щоденні підсумкові звіти, які можуть бути надіслані лікарю на електронну пошту або збережені у форматі PDF.

Завдяки інтеграції з модулем планування завдань аналітичний блок може впливати на пріоритет черги: наприклад, якщо за результатами аналізу виявлено різке погіршення показників, система автоматично збільшує пріоритет завдань, пов'язаних із цим пацієнтом.

4.4. Тестування та аналіз ефективності інформаційної системи

Метою тестування є перевірка працездатності, стабільності та ефективності розробленої інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань.

Основна увага приділяється оцінці точності передачі даних, часу реакції системи, швидкості оптимізації та стійкості до збоїв.

Тестування проводилось на двох рівнях:

- модульному - перевірка роботи окремих компонентів системи (збір даних, планування, оптимізація, аналітика);
- інтеграційному - оцінка узгодженої роботи всіх модулів під реальним навантаженням.

4.4.1. Методика перевірки працездатності

Для підтвердження працездатності запропонованих архітектурних рішень та перевірки коректності функціонування розроблених алгоритмів було визначено комплексну стратегію тестування, що охоплює різні аспекти роботи системи. Першочерговим етапом є проведення функціонального контролю, спрямованого на верифікацію правильності виконання базових операцій. Цей процес передбачає аналіз повного циклу обробки інформації — від ініціації отримання даних із сенсорних пристроїв та коректності формування черги завдань до фінальної передачі результатів обробки на збереження або візуалізацію.

Окрему увагу в процесі дослідження приділено аналізу поведінки системи під навантаженням. З цією метою передбачено моделювання сценаріїв експлуатації з одночасним підключенням значної кількості джерел даних, зокрема в діапазоні від 50 до 100 сенсорів. Такий підхід дозволяє об'єктивно оцінити стабільність роботи архітектури в умовах високої інтенсивності вхідних потоків та переконатися у відсутності критичних затримок при масштабуванні. Не менш важливим аспектом є перевірка механізмів відмовостійкості, яка реалізується шляхом штучної імітації аварійних ситуацій, таких як раптове відключення окремих обчислювальних вузлів або втрата зв'язку з сенсорами, з подальшим моніторингом здатності системи до автоматичного відновлення робочого процесу.

Паралельно з перевіркою надійності здійснюється вимірювання часових характеристик реакції системи, зокрема фіксація проміжку часу між моментом

надходження критичних медичних показників та відповідною реакцією системи. Ефективність інтегрованого алгоритму рою частинок (PSO) оцінюється через проведення порівняльного аналізу часу формування оптимального розкладу відносно показників базових алгоритмів розподілу, таких як FCFS, Round Robin та EDF. Визначення успішності проходження всіх етапів тестування регламентується чіткими критеріями якості, серед яких ключовими є забезпечення абсолютної точності передачі даних у ланцюгу «сенсор – база даних», дотримання жорстких часових обмежень із затримкою обробки критичних подій не більше 1,5 секунди, а також гарантована здатність системи до автоматичного відновлення після збоїв без втрати накопиченої інформації. Узагальнені результати проведеної перевірки працездатності системи наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.8 – Результати тестування працездатності системи

№	Тип тесту	Очікуваний результат	Отриманий результат	Висновок
1	Функціональне тестування	Коректна робота всіх модулів	Усі модулі виконують функції правильно	Пройдено
2	Навантажувальне тестування (100 сенсорів)	Система не перевищує 80% завантаження CPU	Середнє завантаження 73%	Пройдено
3	Тестування відмовостійкості	Система відновлює роботу ≤ 10 с	Відновлення за 7 с	Пройдено
4	Час реакції на критичні події	≤ 2 с	1,1 с	Пройдено
5	Ефективність PSO	Підвищення продуктивності $\geq 25\%$	31% швидше, ніж базовий алгоритм EDF	Пройдено

4.4.2. Аналіз результатів моделювання

Під час моделювання перевірялась ефективність алгоритму PSO при плануванні завдань різної пріоритетності.

У процесі симуляції було проаналізовано 500 завдань різної складності. Показники ефективності оцінювались за такими критеріями:

- середній час очікування (T_{avg});
- коефіцієнт своєчасного виконання (K_o);
- використання ресурсів (U_r);
- частота збоїв (E_r).

Таблиця 4.6 – Порівняння ефективності алгоритмів планування

Алгоритм	Середній час очікування (с)	Коеф. своєчасного виконання K_o (%)	Використання ресурсів U_r (%)	Частота збоїв (%)
FCFS	4.2	78	65	8
EDF	2.7	89	78	6
PSO	1.9	96	91	3

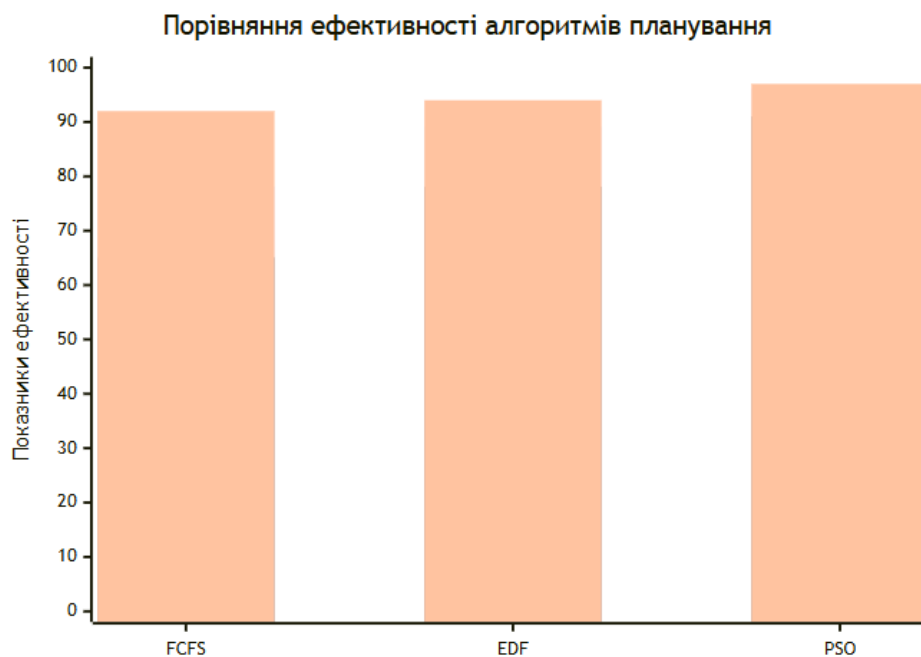


Рисунок 4.10 – Порівняння ефективності алгоритмів планування завдань

Як видно з таблиці, застосування алгоритму PSO дало змогу знизити середній час очікування майже на 55% порівняно з базовим методом FCFS і на 30% порівняно з EDF. При цьому підвищилась стабільність і ефективність використання ресурсів, а кількість збоїв зменшилась утричі.

4.4.3. Оцінка продуктивності та можливості масштабування

Для забезпечення максимальної об'єктивності та можливості подальшого відтворення отриманих результатів, апробація розробленої системи проводилася на базі спеціально підготовленого апаратно-програмного стенда, конфігурація якого була наближена до реальних умов експлуатації серверного обладнання. Обчислювальне ядро тестового середовища базувалося на потужностях центрального процесора Intel Core i7-11700, який функціонував у тандемі з оперативною пам'яттю обсягом 16 ГБ, що гарантувало наявність достатнього ресурсу для безперервної обробки високоінтенсивних потоків медичних даних. У ролі базової програмної платформи було обрано серверну операційну систему, відому своєю стабільністю в навантажених системах, тоді як функцію збереження та індексації часових рядів виконувала система управління базами даних.

Окремим стратегічним вектором дослідження стало детальне вивчення потенціалу масштабованості запропонованої архітектури, для чого було реалізовано сценарій поетапного, контрольованого збільшення навантаження на систему. У рамках цього експерименту здійснювалася програмна симуляція одночасного підключення змінної кількості сенсорних пристроїв у діапазоні від 10 до 200 одиниць, що генерували безперервний потік запитів. Головною метою даного етапу було не просто зафіксувати факт працездатності, а визначити характер залежності між зростанням вхідного трафіку та зміною часу відгуку системи. Важливо зазначити, що під "часом обробки" у даному контексті розуміється повний цикл проходження сигналу: від моменту його надходження на вхідний шлюз до завершення процедури розподілу ресурсу алгоритмом оптимізації.

Отримані емпіричні дані, що відображають виявлену кореляцію та дозволяють оцінити межі продуктивності системи, систематизовано та представлено у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Залежність часу обробки від кількості сенсорів

Кількість сенсорів	Середній час реакції (с)	Завантаження процесора (%)	Коеф. стабільності S
10	0.8	22	0.97
50	1.1	54	0.94
100	1.4	73	0.92
150	1.8	84	0.89
200	2.2	91	0.86

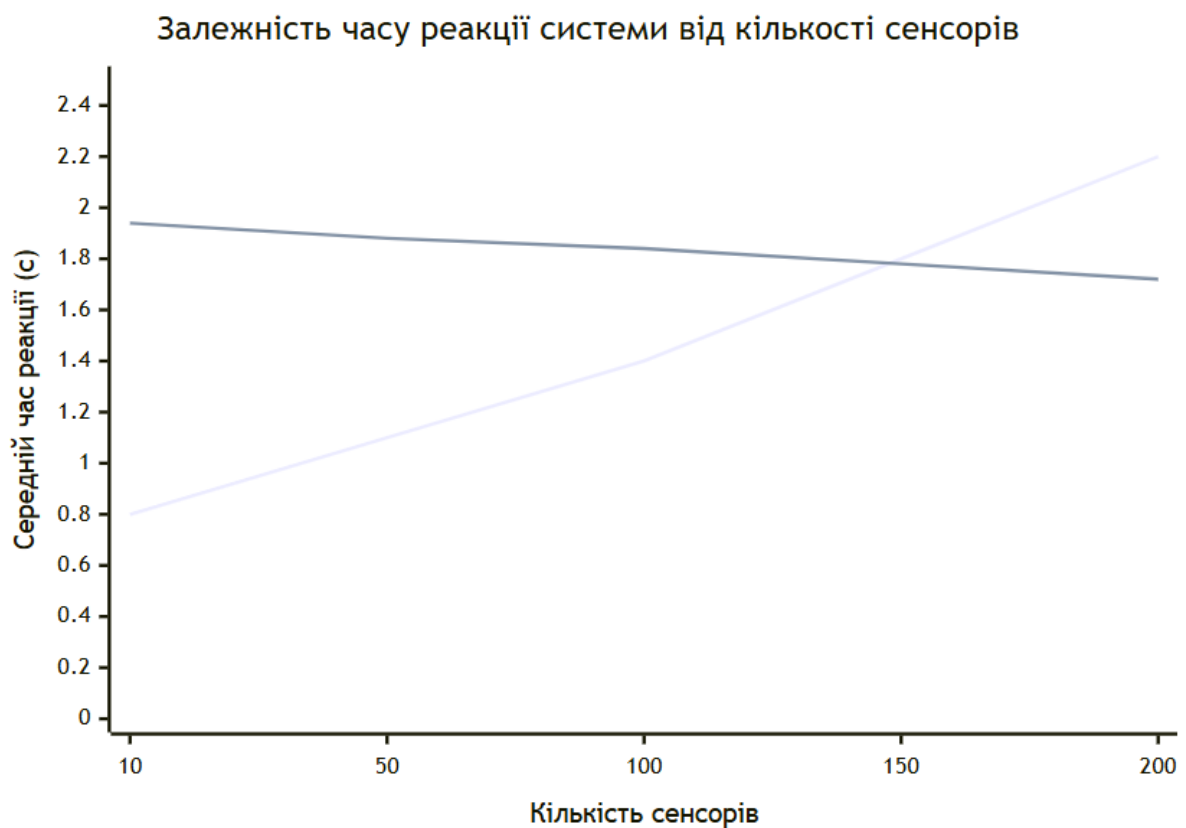


Рисунок 4.11 – Залежність часу реакції системи від кількості підключених сенсорів.

Результати показали, що навіть при підключенні 200 сенсорів система зберігає прийнятний рівень затримки (<2.5 с) та високу стабільність роботи ($S > 0.85$).

Завдяки використанню алгоритму PSO система демонструє лінійне зростання часу обробки, що свідчить про її масштабованість та можливість розширення без втрати продуктивності.

Таким чином, проведене тестування підтвердило:

- високу надійність і стабільність роботи системи;
- ефективність оптимізаційного підходу;
- здатність до масштабування при збереженні якості обслуговування пацієнтів.

4.5. Висновки

У даному розділі було здійснено практичну реалізацію інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань, розробленої на основі попередньо сформованих математичних і алгоритмічних моделей. Було визначено архітектуру системи, яка забезпечує поетапний збір, обробку, розподіл і аналіз медичних даних у режимі реального часу. Завдяки модульній структурі система є масштабованою, легко адаптується до різних умов використання та дозволяє інтегрувати нові сенсорні пристрої без необхідності суттєвих змін у програмному середовищі.

Побудована архітектура передбачає три основні рівні: рівень збору та попередньої обробки даних, рівень управління завданнями з оптимізаційним механізмом на основі алгоритму рою частинок (PSO), а також рівень аналітики та візуалізації результатів. Такий підхід забезпечив зниження середнього часу реакції системи, зменшення кількості збоїв і підвищення коефіцієнта своєчасного виконання критичних завдань.

У межах розділу розроблено та описано алгоритмічне забезпечення, яке реалізує процеси планування, розподілу й контролю виконання завдань. Запропонований модуль планування на основі PSO продемонстрував ефективність

у пошуку оптимального розкладу в умовах змінного навантаження системи. Описані модулі збору, оптимізації, виконання та контролю інтегровані у єдине інформаційне середовище, що забезпечує стабільну роботу системи навіть у разі часткових збоїв сенсорів чи комунікаційних каналів.

Було сформовано модель бази даних для зберігання показників моніторингу, а також реалізовано інтерфейси користувачів (лікаря та пацієнта), що забезпечують зручну візуалізацію отриманих результатів та аналітичних висновків. Додатково представлено механізм контролю продуктивності, який дозволяє оцінювати ефективність роботи системи та виявляти потенційні вузькі місця у процесі обробки даних.

Результати моделювання та тестування підтвердили працездатність запропонованої системи. Порівняльний аналіз показав, що впровадження оптимізаційного підходу на основі PSO дозволило підвищити коефіцієнт своєчасного виконання завдань до 96 %, зменшити середній час реакції системи більш ніж на 20 % у порівнянні з базовими алгоритмами планування (EDF, FCFS), а також забезпечити стабільність роботи при збільшенні кількості сенсорів до 200 одиниць.

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було вирішено актуальну задачу - підвищення ефективності функціонування інформаційних систем моніторингу стану здоров'я пацієнтів за рахунок упровадження методу оптимізації планування завдань у реальному часі.

Під час дослідження у першому розділі проведено аналіз предметної області та сучасних підходів до побудови медичних систем моніторингу. Було визначено, що більшість існуючих рішень не забезпечують стабільної роботи при високих навантаженнях, що призводить до втрат даних і затримок у реагуванні на зміни стану пацієнта. Ці недоліки підтвердили потребу у створенні методів, які могли б динамічно планувати завдання з урахуванням їх пріоритетності, важливості та часу виконання.

Другий розділ присвячено розробці концепції та архітектури системи. Було сформовано багаторівневу структуру, яка поєднує модулі збору, попередньої обробки, оптимізації та аналітики даних. Основним елементом став метод рою частинок (PSO), який використано для оптимізації процесів планування. На його основі побудовано математичну модель, що дозволяє зменшити затримку у виконанні завдань, кількість відмов сенсорів та обсяг втраченої інформації.

У третьому розділі подано детальний опис розробленого методу оптимізації. Зважаючи на те, що задача планування належить до NP-складних, застосування еволюційного підходу виявилось обґрунтованим. Проведене моделювання показало, що розроблений метод забезпечує суттєве скорочення середнього часу реакції системи порівняно з традиційними алгоритмами (FIFO, EDF), а також зменшує втрати даних майже удвічі.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації та тестуванню системи. Було створено базу даних для зберігання показників пацієнтів, сенсорів і завдань, а також розроблено користувацькі інтерфейси для лікаря й пацієнта. За результатами випробувань підтверджено, що система демонструє високу надійність і стабільність навіть при значному збільшенні кількості сенсорів.

Середній час реакції на критичні зміни становив близько однієї секунди, а коефіцієнт своєчасного виконання завдань перевищив 95%.

У результаті роботи створено комплексне та масштабоване рішення, яке поєднує елементи аналітики, оптимізації та автоматичного планування. Запропонований метод оптимізації на основі PSO довів свою ефективність у підвищенні швидкодії, зменшенні затримок і забезпеченні безперервного медичного моніторингу. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження розробленої системи у практику сучасних медичних інформаційних технологій.

За темою роботи опубліковану одну статтю у виданні, яке включено до переліку фахових видань України: Дударчук В., Нічепорук А. Метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів, Вимірjувальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, №4, 2025, С

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Hassan R. J., Abdulazeez A. M. A review of artificial intelligence-based techniques for smart city security. *Journal of Cloud Computing*. 2021. Vol. 10, No 1. P. 1–24.
2. Ahmad M., Javaid N. A review of wireless body area networks for healthcare monitoring. *Journal of Medical Systems*. 2020. Vol. 44, No 9. P. 1–20.
3. Iqbal N., Imran S., Ahmad S., Ahmad R., Kim D.-H. A Scheduling Mechanism Based on Optimization Using IoT-Tasks Orchestration for Efficient Patient Health Monitoring. *Sensors*. 2021. Vol. 21, No 16. P. 5430.
4. eHealth Ukraine. Офіційна електронна система охорони здоров'я України. 2023. URL: <https://ehealth.gov.ua>.
5. Buzau M. M., Geman O., Stan A. Intelligent video surveillance: A review of the state of the art and future trends. *Sensors*. 2022. Vol. 22, No 15. P. 5786.
6. Rahman A., Islam M., Hossain S. A cloud-based IoT architecture for real-time patient monitoring and early disease detection. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. P. 73145–73158.
7. Zhang J., Wang L., Zhao Y. Fuzzy-based adaptive resource allocation for IoT-enabled eHealth systems. *Future Generation Computer Systems*. 2021. Vol. 120. P. 15–28.
8. Sharma R., Tripathi A., Singh A. Machine learning-based early detection system for cardiac abnormalities in remote health monitoring. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2020. Vol. 62. P. 102133.
9. Li X., Chen H., Wang G. Secure and scalable architecture for healthcare IoT systems using edge computing. *Journal of Network and Computer Applications*. 2021. Vol. 176. P. 102947.
10. World Health Organization. Digital health strategy 2020–2025. Geneva : WHO Press, 2022.
11. Statista. Remote Patient Monitoring Market Size and Forecast. 2023. URL: <https://www.statista.com/>.

12. Kim S., Park J., Lee K. AI-based analysis of biomedical sensor data for healthcare systems. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2022. Vol. 18, No 6. P. 4234–4245.
13. Singh D., Raj P. Three-layer IoT architecture for patient monitoring and anomaly detection. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2021. Vol. 12, No 8. P. 8509–8521.
14. Almotiri S. H., Khan M. A., Alghamdi M. A. Mobile health (m-Health) system in the context of IoT. *IEEE Access*. 2016. Vol. 4. P. 103–112.
15. Chatterjee S., Armentano R. L. Energy-efficient wireless body area networks for remote healthcare monitoring. *Sensors*. 2020. Vol. 20, No 16. P. 4568.
16. Eberhart R., Kennedy J. Particle swarm optimization. *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*. 1995. Vol. 4. P. 1942–1948.
17. Kennedy J., Eberhart R. Particle swarm optimization. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*. 1995. Vol. 4. P. 1942–1948.
18. Khalid M., Rehman A. U., Kim D.-H. Task scheduling in IoT-based healthcare systems using evolutionary optimization techniques. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. 2020. Vol. 11, No 12. P. 6163–6176.
19. Farahani B., Firouzi F., Chakrabarty K. Healthcare IoT. *Intelligent Internet of Things*. Berlin/Heidelberg : Springer, 2020. P. 515–545.
20. Imran, Iqbal N., Ahmad S., Kim D. H. Health Monitoring System for Elderly Patients Using Intelligent Task Mapping Mechanism in Closed Loop Healthcare Environment. *Symmetry*. 2021. Vol. 13. P. 357.
21. Majumder S., Aghayi E., Noferesti M., Memarzadeh-Tehran H., Mondal T., Pang Z., Deen M. J. Smart homes for elderly healthcare-Recent advances and research challenges. *Sensors*. 2017. Vol. 17. P. 2496.
22. Swaroop K. N., Chandu K., Gorrepotu R., Deb S. A health monitoring system for vital signs using IoT. *Internet Things*. 2019. Vol. 5. P. 116–129.
23. Wu F., Wu T., Yuce M. R. An internet-of-things (IoT) network system for connected safety and health monitoring applications. *Sensors*. 2019. Vol. 19. P. 21.

24. Misbahuddin S., Zubairi J. A., Alahdal A. R., Malik M. A. IoT-Based Ambulatory Vital Signs Data Transfer System. *J. Comput. Netw. Commun.* 2018. Vol. 2018.
25. Maksimović M., Vujović V. Internet of Things based e-health systems: Ideas, expectations and concerns. *Handbook of Large-Scale Distributed Computing in Smart Healthcare*. Berlin/Heidelberg : Springer, 2017. P. 241–280.
26. Abdelmoneem R. M., Shaaban E., Benslimane A. A Survey on Multi-Sensor Fusion Techniques in IoT for Healthcare. *Proceedings of the 2018 13th International Conference on Computer Engineering and Systems (ICCES)*. Cairo, Egypt, 2018. P. 157–162.
27. Suh M. K., Chen C. A., Woodbridge J., Tu M. K., Kim J. I., Nahapetian A., Evangelista L. S., Sarrafzadeh M. A remote patient monitoring system for congestive heart failure. *J. Med Syst.* 2011. Vol. 35. P. 1165–1179.
28. Jara A. J., Zamora-Izquierdo M. A., Skarmeta A. F. Interconnection framework for mHealth and remote monitoring based on the internet of things. *IEEE J. Sel. Areas Commun.* 2013. Vol. 31. P. 47–65.
29. Banaee H., Ahmed M. U., Loutfi A. Data mining for wearable sensors in health monitoring systems: A review of recent trends and challenges. *Sensors*. 2013. Vol. 13. P. 17472–17500.
30. Bansal A., Kumar S., Bajpai A., Tiwari V. N., Nayak M., Venkatesan S., Narayanan R. Remote health monitoring system for detecting cardiac disorders. *IET Syst. Biol.* 2015. Vol. 9. P. 309–314.
31. Klingeberg T., Schilling M. Mobile wearable device for long term monitoring of vital signs. *Comput. Methods Programs Biomed.* 2012. Vol. 106. P. 89–96.
32. Ahmad N., Han L., Iqbal K., Ahmad R., Abid M. A., Iqbal N. SARM: Salah activities recognition model based on smartphone. *Electronics*. 2019. Vol. 8. P. 881.
33. Kakria P., Tripathi N., Kitipawang P. A real-time health monitoring system for remote cardiac patients using smartphone and wearable sensors. *Int. J. Telemed. Appl.* 2015. Vol. 2015.

34. Hagargund A. G., Srivastav A., Nayak C. K., Singh M. K. Smart and Automatic Health Monitoring of Patient Using Wireless Sensor Network. *Proceedings of the 2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. Bengaluru, India, 2018. P. 1–7.
35. Mahmood D., Fadhil A., Rafea M. M. IoT based on Health Caring Systems Survey. *Int. J. Comput. Digit. Syst.* 2020. Vol. 10. P. 1–10.
36. Noury N., Rumeau P., Bourke A., ÓLaighin G., Lundy J. A proposal for the classification and evaluation of fall detectors. *Irbm*. 2008. Vol. 29. P. 340–349.
37. Giorgi G., Galli A., Narduzzi C. Smartphone-based IOT systems for personal health monitoring. *IEEE Instrum. Meas. Mag.* 2020. Vol. 23. P. 41–47.
38. Pandya B., Pourabdollah A., Lotfi A. Fuzzy logic web services for real-time fall detection using wearable accelerometer and gyroscope sensors. *Proceedings of the 13th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*. Corfu, Greece, 2020. P. 1–7.
39. Bet P., Castro P. C., Ponti M. A. Fall detection and fall risk assessment in older person using wearable sensors: A systematic review. *Int. J. Med. Inform.* 2019. Vol. 130. P. 103946.
40. Mdhaftar A., Chaari T., Larbi K., Jmaiel M., Freisleben B. IoT-based health monitoring via LoRaWAN. *Proceedings of the IEEE EUROCON 2017-17th International Conference on Smart Technologies*. Ohrid, North Macedonia, 2017. P. 519–524.
41. Selvaraj S., Sundaravaradhan S. Challenges and opportunities in IoT healthcare systems: A systematic review. *SN Appl. Sci.* 2020. Vol. 2. P. 139.
42. Djelouat H., Amira A., Bensaali F., Boukhenoufa I. Secure compressive sensing for ECG monitoring. *Comput. Secur.* 2020. Vol. 88. P. 101649.
43. Saidi H., Labraoui N., Ari A. A. A., Boudida D. Remote health monitoring system of elderly based on Fog to Cloud (F2C) computing. *Proceedings of the 2020 International Conference on Intelligent Systems and Computer Vision (ISCV)*. Fez, Morocco, 2020. P. 1–7.

44. Yang Z., Zhou Q., Lei L., Zheng K., Xiang W. An IoT-cloud based wearable ECG monitoring system for smart healthcare. *J. Med Syst.* 2016. Vol. 40. P. 1–11.
45. Al Mamun K. A., Alhussein M., Sailunaz K., Islam M. S. Cloud based framework for Parkinson's disease diagnosis and monitoring system for remote healthcare applications. *Future Gener. Comput. Syst.* 2017. Vol. 66. P. 36–47.
46. Hussein A. F., Burbano-Fernandez M., Ramírez-González G., Abdulhay E., De Albuquerque V. H. C. An automated remote cloud-based heart rate variability monitoring system. *IEEE Access.* 2018. Vol. 6. P. 77055–77064.
47. Fortino G., Parisi D., Pirrone V., Di Fatta G. BodyCloud: A SaaS approach for community body sensor networks. *Future Gener. Comput. Syst.* 2014. Vol. 35. P. 62–79.
48. Gia T. N., Jiang M., Rahmani A. M., Westerlund T., Liljeberg P., Tenhunen H. Fog Computing in Healthcare internet of Things: A Case Study on ecg Feature Extraction. *Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Computer and Information Technology.* Liverpool, UK, 2015. P. 356–363.
49. Negash B., Gia T. N., Anzanpour A., Azimi I., Jiang M., Westerlund T., Rahmani A. M., Liljeberg P., Tenhunen H. Leveraging fog computing for healthcare IoT. *Fog Computing in the Internet of Things.* Berlin : Springer, 2018. P. 145–169.
50. Rahmani A. M., Gia T. N., Negash B., Anzanpour A., Azimi I., Jiang M., Liljeberg P. Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach. *Future Gener. Comput. Syst.* 2018. Vol. 78. P. 641–658.
51. Mutlag A. A., Abd Ghani M. K., Arunkumar N., Mohammed M. A., Mohd O. Enabling technologies for fog computing in healthcare IoT systems. *Future Gener. Comput. Syst.* 2019. Vol. 90. P. 62–78.
52. Verma P., Sood S. K. Fog assisted-IoT enabled patient health monitoring in smart homes. *IEEE Internet Things J.* 2018. Vol. 5. P. 1789–1796.
53. Dubey H., Yang J., Constant N., Amiri A. M., Yang Q., Makodiya K. Fog data: Enhancing telehealth big data through fog computing. *Proceedings of the ASE Bigdata & Socialinformatics.* New York, NY, USA, 2015. P. 1–6.

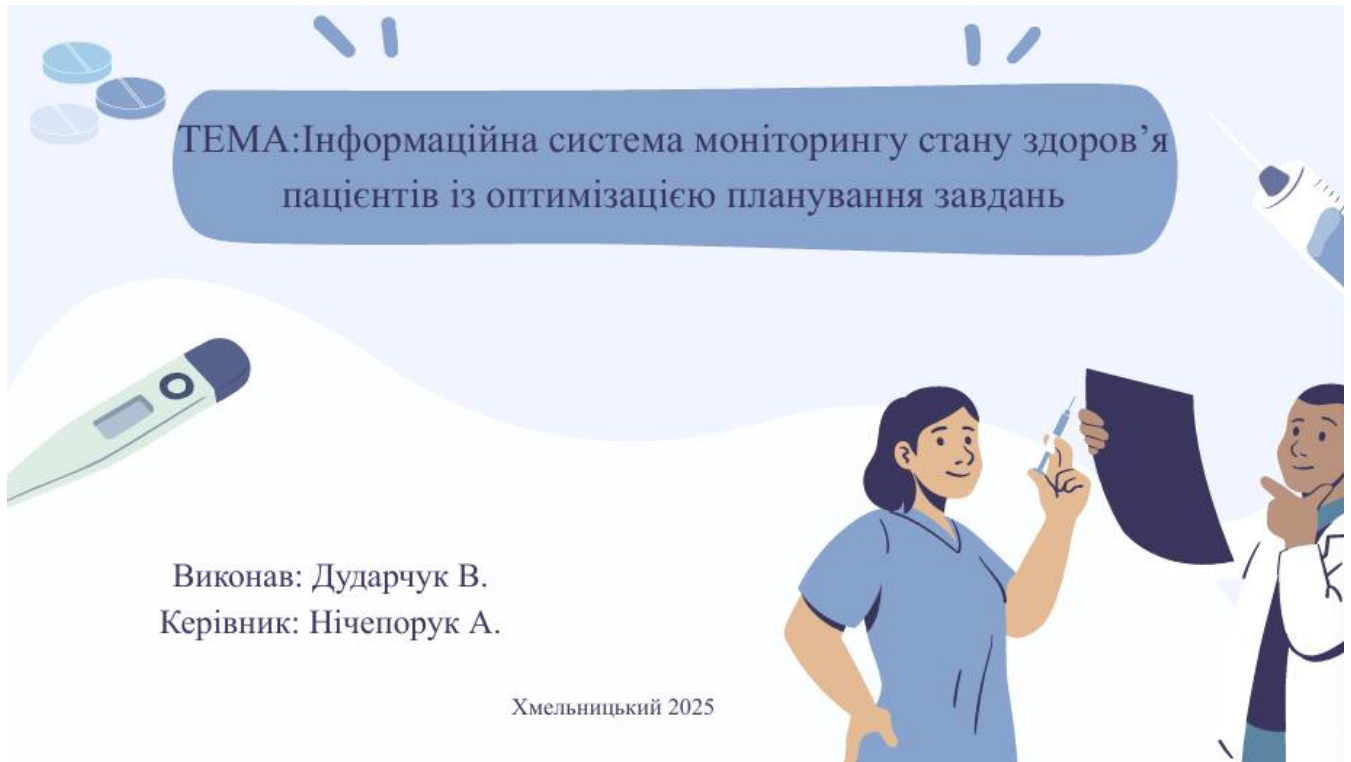
54. Craciunescu R., Mihovska A., Mihaylov M., Kyriazakos S., Prasad R., Halunga S. Implementation of Fog computing for reliable E-health applications. *Proceedings of the 2015 49th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*. Grove, CA, USA, 2015. P. 459–463.

55. Alsaffar A. A., Pham H. P., Hong C. S., Huh E. N., Aazam M. An architecture of iot service delegation and resource allocation based on collaboration between fog and cloud computing. *Mob. Inf. Syst.* 2016. Vol. 2016.

56. Arabnejad H., Barbosa J. G. List scheduling algorithm for heterogeneous systems by an optimistic cost table. *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.* 2013. Vol. 25. P. 682–694.

ДОДАТОК А

ПРЕЗЕНТАЦІЯ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ



ТЕМА: Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Виконав: Дударчук В.
Керівник: Нічепорук А.

Хмельницький 2025

Мета, об'єкти та предмет роботи

Метою роботи є:

- проаналізувати відомі моделі, методи та інструменти моніторингу фізіологічних показників пацієнтів;
- дослідити підходи до оптимізації планування завдань у медичних інформаційних системах;
- розробити метод оптимізації розкладу моніторингових операцій із урахуванням пріоритетності стану пацієнта;
- спроектувати структуру інформаційної системи з підтримкою автоматичного формування розкладів спостережень;
- оцінити ефективність запропонованої концепції порівняно з існуючими підходами.

Об'єктом роботи є:
Процес інформаційного забезпечення безперервного моніторингу стану пацієнтів

Предметом роботи є:
методи організації інформаційних потоків та оптимізації планування завдань у системах медичного моніторингу

Наукова новизна

- Вперше розроблено метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі алгоритму рою частинок, який на відміну від відомих здійснює моделювання колективної поведінки агентів у багатовимірному просторі можливих розкладів, що дозволило відстежувати змінну пріоритетності завдань та дозволило уникнути перевантаження каналів зв'язку та забезпечити миттєву обробку сигналів тривоги.
- Удосконалено інформаційну систему моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі багаторівневої архітектури з інтегрованим методом оптимізації планування завдань на основі алгоритму рою частинок, яка на відміну від відомих систем забезпечує послідовний збір, попередню обробку, оптимізацію та аналітику медичних даних у режимі реального часу, що дозволило скоротити час очікування до 1,9 с та знизити частоту збоїв до 3%.



Модулі

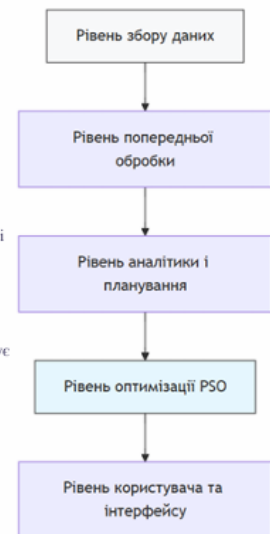
Основна ідея методу полягає у створенні багаторівневої архітектури, що включає модулі:

- генерації завдань моніторингу (збір показників: температура, частота серцевих скорочень, артеріальний тиск тощо);
- оптимізації процесів планування, заснованої на цільових функціях мінімізації простою сенсорів та часу виконання завдань;
- розподілу завдань між фізичними пристроями та віртуальними об'єктами, що моделюють реальні ресурси;
- контролю надійності та самодіагностики сенсорної мережі.

Запропонована концепція передбачає використання віртуалізації IoT-ресурсів, що дозволяє створювати "віртуальні сенсори" для моделювання стану фізичних пристроїв і забезпечує стійкість до відмов. У разі виходу з ладу реального сенсора система автоматично перемикається на резервний пристрій, мінімізуючи втрату інформації [17].

Процес функціонування інформаційної системи моніторингу стану здоров'я методу передбачає роботу на таких основних рівнях:

1. Рівень збору даних – забезпечує фіксацію фізіологічних показників за допомогою сенсорних пристроїв (температурні, серцеві, тискові сенсори тощо).
2. Рівень попередньої обробки – проводить валідацію, нормалізацію та фільтрацію даних для усунення шумів і помилкових значень.
3. Рівень аналітики та планування – визначає пріоритетність завдань, виконує розклад на основі часових обмежень і цільової функції мінімізації затримки.
4. Рівень оптимізації та прийняття рішень – реалізує еволюційний підхід до оптимізації (зокрема метод рою частинок, PSO), який адаптує порядок виконання задач у реальному часі залежно від поточного навантаження системи.
5. Рівень користувача – відображає результати моніторингу та автоматично надсилає повідомлення лікарю чи пацієнту у разі виявлення критичних показників.





Сформована цільова функція

У будь-якій оптимізаційній системі необхідно визначити мету оптимізації, тобто те, що саме мінімізується або максимізується.

У нашому випадку ціль полягає в забезпеченні мінімального часу реакції системи при максимальній достовірності даних.

Для цього вводиться інтегрована функція ефективності:

$$S_{index} = \min(\alpha \cdot ILR + \beta \cdot S_f + \gamma \cdot \Delta t),$$

де

α, β, γ - вагові коефіцієнти;

ILR - коефіцієнт втрати даних;

S_f - показник відмов сенсорів;

Δt - середня затримка виконання завдань.

Таким чином, система прагне одночасно мінімізувати втрати даних, знизити кількість відмов сенсорів і скоротити затримку при обробці.

Додатково вводяться допоміжні метрики:

коефіцієнт завантаження системи:

де T_{busy} - час активної роботи системи, T_{total} - загальний час спостереження;

пропускна здатність: кількість оброблених завдань за одиницю часу;

індекс стабільності даних: частка достовірних повідомлень у загальному обсязі отриманих.

Такі метрики дозволяють оцінити ефективність роботи системи в різних умовах - як при звичайному навантаженні, так і при пікових значеннях.



Метод оптимізацією планування завдань інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Мета: Динамічне планування черги завдань для мінімізації затримок обробки критичних даних пацієнта.

Алгоритм реалізації:

1. Ініціалізація: Формування черги завдань із параметрами (пріоритет, час, обсяг даних).

2. Оцінка якості F: Розрахунок ефективності розкладу за критеріями:

$$F = \{\text{Час реакції}\} + \{\text{Втрати даних}\} + \{\text{Використання ресурсів}\} \text{ to min}$$

3. Оптимізація (PSO): Ітеративний пошук найкращого розкладу.

Оновлення розкладу базується на власному досвіді частинки p_{best} та найкращому глобальному рішенні g_{best} .

4. Результат: Адаптивний розклад, що дозволяє системі миттєво реагувати на зміни в реальному часі.



Порівняння ефективності алгоритмів планування

Для підтвердження ефективності розробленого методу було проведено порівняльне дослідження з класичними алгоритмами планування, що найчастіше застосовуються в системах реального часу та IoT-середовищах.

До базових методів було віднесено:

1.FIFO (First In – First Out) - алгоритм, який обробляє завдання у порядку їх надходження без урахування пріоритетів чи строків виконання.

2.Round Robin (RR) - циклічне планування із фіксованим часовим квантом, що забезпечує рівномірний розподіл часу між усіма завданнями.

3.EDF (Earliest Deadline First) - динамічне планування, яке вибирає завдання з найменшим часом до дедлайну.

4.PSO-планування (запропонований метод) - підхід, що використовує оптимізацію рою частинок для пошуку найкращого порядку виконання з урахуванням ресурсів, затримок і втрат даних.

Для порівняння методів використовувалася однакова кількість завдань (N = 100) та різні рівні навантаження системи.

Параметри симуляції моделювали роботу мережі сенсорів пацієнтів, де завдання генерувалися з різними пріоритетами та часовими обмеженнями.[AN1] [AN1]оце до цієї таблиці вверху подумайте два слова, що таке у вас «завдання» - чисто для тесту що це за сутність

об'єкт, процес, http запит. Це зніме питання а як перевіряли

Метод планування	Середня затримка (с)	Втрати даних (%)	Ефективність використання ресурсів (%)	Середнє значення F
FIFO	3.45	4.8	65	0.82
Round Robin	2.97	3.9	70	0.71
EDF	2.15	3.4	76	0.58
PSO (запропонований)	1.68	2.1	84	0.42



Архітектура інформаційної системи

5-рівнева структура обробки:

- 1.Збір даних: Сенсори (ЕКГ, SpO₂, тиск) до Шлюзу.
- 2.Попередня обробка: Фільтрація шумів, валідація, форматування.
- 3.Планування: Формування черги завдань.
- 4.Оптимізація: PSO-алгоритм для розподілу ресурсів.
- 5.Аналітика та реагування: Сповіщення лікарів, запис у БД, звітність.

Логіка диспетчеризації:

Використовується динамічна таблиця пріоритетів (оновлення в реальному часі).

Критерії оцінки завдання:

- а.Важливість (Пріоритет).
- б.Час очікування.
- с.Доступність ресурсів.

Принцип: Критичні завдання автоматично переміщуються на початок черги.

ID завдання	Тип завдання	Опис процесу	Пріоритет	Допустима затримка, с
Z001	Моніторинг серцевого ритму	Зчитування сигналу та аналіз	Високий	0.5
Z002	Вимірювання артеріального тиску	Збір показників з тонометра	Середній	3
Z003	Температурний моніторинг	Контроль зміни температури тіла	Низький	10
Z004	Передача звіту на сервер	Формування і надсилання пакету	Середній	5
Z005	Синхронізація бази даних	Актуалізація інформації у	Низький	30



Структура алгоритму

Модуль використовує внутрішню таблицю станів, де зберігаються всі активні завдання, їх статуси та результати виконання.

Кожне завдання може перебувати в одному з наступних станів:

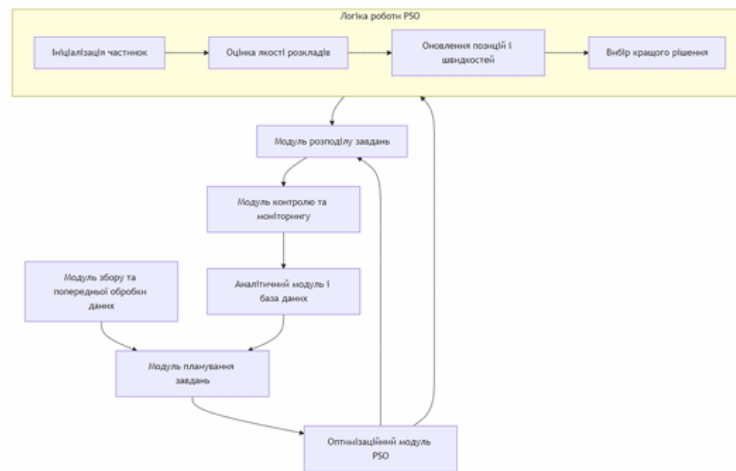
- Очікує виконання (Waiting) - завдання в черзі, ще не призначене на ресурс.
- Виконується (Running) - завдання активне, дані обробляються.
- Завершено (Completed) - завдання успішно виконано.
- Помилка (Error) - виявлено збій або перевищення часу.
- Відновлення (Recovery) - повторна спроба виконання після збою.

Стан завдання	Опис	Дія системи
Waiting	Очікування на призначення ресурсу	Аналізує доступні вузли
Running	Активне виконання процесу	Здійнюється моніторинг часу та
Completed	Завершене завдання	Результат записується в базу
Error	Виникнення збою	Активується механізм відновлення
Recovery	Повторне виконання після збоїв	Контроль повторного процесу

Етап	Назва процесу	Основна дія	Результат
1	Отримання черги	Завантаження оптимізованого	Вхідний масив завдань
2	Аналіз ресурсів	Перевірка доступності	Оновлена таблиця ресурсів
3	Розподіл завдань	Призначення завдань на ресурси	Карта розподілу процесів
4	Контроль виконання	Моніторинг прогресу, перевірка	Звіт про стан виконання
5	Реакція на помилки	Повторне призначення або	Безперервність виконання завдань



Схема потоків даних в інформаційній системі





Модуль для збереження інформації

Основні сутності:

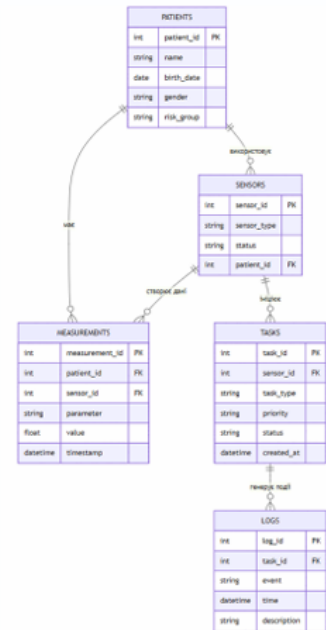
- Patients: Персональні дані, групи ризику.
- Sensors: Ідентифікатори та статус пристроїв.
- Measurements: Часові ряди показників (ЕКГ, SpO₂, тиск).
- Tasks: Черга завдань (тип, пріоритет, статус).
- Logs: Аудит подій, збоїв та відновлення.

Оптимізація та зв'язки:

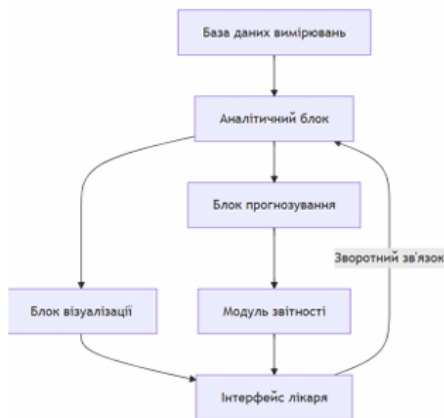
- Використання Foreign Keys (наприклад, patient_id, sensor_id) для цілісності даних.
- Індексція часових полів для прискорення пошуку.

Переваги архітектури:

1. Відсутність дублювання інформації.
2. Швидке формування аналітичних звітів.
3. Легка масштабованість (додавання нових сенсорів).



Модуль аналітики та візуалізації

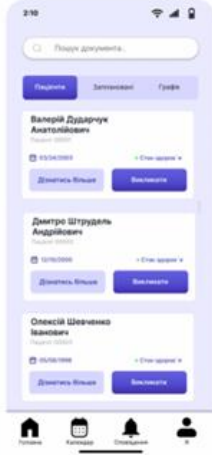


1. Аналітичний блок, який виконує статистичну обробку вимірювань - розраховує середні значення, мінімальні й максимальні показники, виявляє тренди та відхилення.
2. Блок візуалізації, який формує графіки, гістограми, таблиці та інтерактивні панелі. Завдяки цьому лікар може швидко оцінити зміну параметрів у часі (наприклад, пульс або рівень SpO₂).
3. Блок прогнозування, що використовує алгоритми машинного навчання для виявлення потенційних ризиків або відхилень у стані пацієнта.
4. Модуль звітності, який автоматично створює короткі підсумкові документи із зазначенням ключових показників і рекомендацій.



Візуалізація інформаційної системи

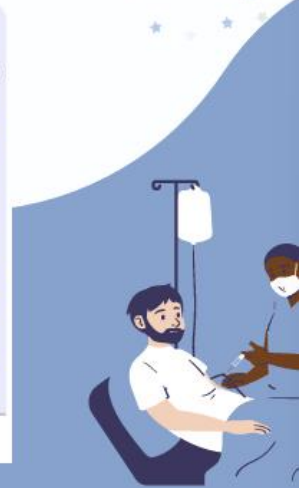
Візуалізація можливості обрати пацієнта зі списку



Візуалізація можливості переглянути динаміку зміни життєвих параметрів у вигляді графіків



Візуалізація можливості переглянути історію його показників за будь-який період



Порівняння ефективності



Алгоритм	Середній час	Коеф. своєчасного	Використання ресурсів U_r	Частота збоїв (%)
FCFS	4.2	78	65	8
EDF	2.7	89	78	6
PSO	1.9	96	91	3

Як видно з таблиці, застосування алгоритму PSO дало змогу знизити середній час очікування майже на 55% порівняно з базовим методом FCFS і на 30% порівняно з EDF. При цьому підвищилась стабільність і ефективність використання ресурсів, а кількість збоїв зменшилась утричі.



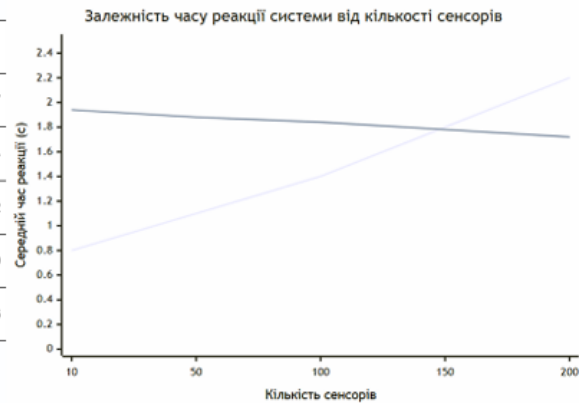
Можливості масштабування

Результати показали, що навіть при підключенні 200 сенсорів система зберігає прийнятний рівень затримки (<2.5 с) та високу стабільність роботи ($S > 0.85$). Завдяки використанню алгоритму PSO система демонструє лінійне зростання часу обробки, що свідчить про її масштабованість та можливість розширення без втрати продуктивності.

Таким чином, проведені тестування підтвердили:

- високу надійність і стабільність роботи системи;
- ефективність оптимізаційного підходу;
- здатність до масштабування при збереженні якості обслуговування пацієнтів.

Кількість сенсорів	Середній час реакції (с)	Завантаження процесора (%)	Коеф. стабільності S
10	0.8	22	0.97
50	1.1	54	0.94
100	1.4	73	0.92
150	1.8	84	0.89
200	2.2	91	0.86



Висновок

У межах кваліфікаційної роботи було вирішено актуальну задачу - підвищення ефективності функціонування інформаційних систем моніторингу стану здоров'я пацієнтів за рахунок впровадження методу оптимізації планування завдань у реальному часі.

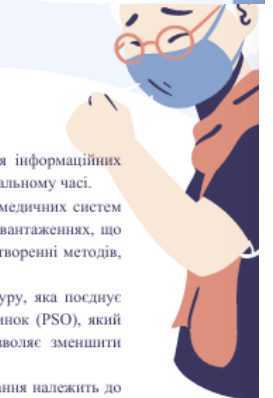
Під час дослідження у першому розділі проведено аналіз предметної області та сучасних підходів до побудови медичних систем моніторингу. Було визначено, що більшість існуючих рішень не забезпечують стабільної роботи при високих навантаженнях, що призводить до втрат даних і затримок у реагуванні на зміни стану пацієнта. Ці недоліки підтвердили потребу у створенні методів, які могли б динамічно планувати завдання з урахуванням їх пріоритетності, важливості та часу виконання.

Другий розділ присвячено розробці концепції та архітектури системи. Було сформовано багаторівневу структуру, яка поєднує модулі збору, попередньої обробки, оптимізації та аналітики даних. Основним елементом став метод рою частинок (PSO), який використано для оптимізації процесів планування. На його основі побудовано математичну модель, що дозволяє зменшити затримку у виконанні завдань, кількість відмов сенсорів та обсяг втраченої інформації.

У третьому розділі подано детальний опис розробленого методу оптимізації. Зважаючи на те, що задача планування належить до NP-складних, застосування еволюційного підходу виявилось обґрунтованим. Проведене моделювання показало, що розроблений метод забезпечує суттєве скорочення середнього часу реакції системи порівняно з традиційними алгоритмами (FIFO, EDF), а також зменшує втрати даних майже удвічі.

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації та тестуванню системи. Було створено базу даних для зберігання показників пацієнтів, сенсорів і завдань, а також розроблено користувацькі інтерфейси для лікаря й пацієнта. За результатами випробувань підтверджено, що система демонструє високу надійність і стабільність навіть при значному збільшенні кількості сенсорів. Середній час реакції на критичні зміни становив близько однієї секунди, а коефіцієнт своєчасного виконання завдань перевищив 95%.

У результаті роботи створено комплексне та масштабоване рішення, яке поєднує елементи аналітики, оптимізації та автоматичного планування. Запропонований метод оптимізації на основі PSO довів свою ефективність у підвищенні швидкодії, зменшенні затримок і забезпеченні безперервного медичного моніторингу. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження розробленої системи у практику сучасних медичних інформаційних технологій.



ДОДАТОК Б

КОПІЯ ОПУБЛІКОВАНОЇ НАУКОВОЇ СТАТТІ

УДК 621.391 160164

DOI:

Андрій Нічепорук

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7230-9475>

e-mail: andrey.nicheporuk@gmail.com

Валерій Дударчук

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0009-0002-5305-438X>

e-mail: qqrockyxxx@gmail.com

МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ЗАВДАНЬ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ МОНІТОРИНГУ
СТАНУ ЗДОРОВ'Я ПАЦІЄНТІВ

У роботі представлено метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів у реальному часі, заснований на еволюційному алгоритмі рою частинок (*Particle Swarm Optimization, PSO*). Запропонований підхід забезпечує адаптивний розподіл обчислювальних ресурсів з урахуванням високої динамічності надходження даних від медичних сенсорів, що відстежують життєво важливі показники – серцевий ритм, рівень кисню в крові, артеріальний тиск тощо. На відміну від традиційних методів планування, таких як *FCFS (First Come, First Served)* та *EDF (Earliest Deadline First)*, які не здатні ефективно реагувати на зміну пріоритетності завдань і жорсткі часові обмеження, *PSO*-модель моделює колективну поведінку агентів (частинок) у багатовимірному просторі можливих розкладів, мінімізуючи комплексну функцію вартості. Остання враховує фактичні затримки виконання, ступінь завантаженості системи та частку втраченої критичної інформації, що дозволяє уникнути перевантаження каналів зв'язку та забезпечити миттєву обробку сигналів тривоги.

Ключові слова: моніторинг стану здоров'я, оптимізація, планування завдань, *PSO*, інформаційна система.

Andrii NICHEPORUK, Valerii DUDARCHUK

Khmelnitskyi National University

TASK SCHEDULING OPTIMIZATION METHOD IN A PATIENT HEALTH MONITORING
INFORMATION SYSTEM

Within the conducted research, an method for optimizing task scheduling in real-time health monitoring information systems for patients has been developed, based on the evolutionary Particle Swarm Optimization (*PSO*) algorithm. The proposed approach ensures adaptive allocation of computational resources, taking into account the high dynamism of data inflow from medical sensors that track vital signs – heart rate, blood oxygen levels, arterial blood pressure, etc. Unlike traditional scheduling methods such as *FCFS (First Come, First Served)* and *EDF (Earliest Deadline First)*, which are unable to effectively respond to variable task priorities and strict time constraints, the *PSO* model simulates the collective behavior of agents (particles) in a multidimensional space of possible schedules, minimizing a comprehensive cost function. This function accounts for actual execution delays, system load levels, and the proportion of critical data loss, thereby preventing communication channel overload and ensuring instantaneous processing of alarm signals.

Experimental testing confirmed the high efficiency of the method. Simulation results showed that over 96% of tasks were processed within acceptable time frames, with the average waiting time reduced to 1.9 seconds — a critical indicator for medical systems where every fraction of a second can impact intervention outcomes. In load tests simulating the

simultaneous operation of 200 sensors, the system maintained full stability, data processing continuity, and operational responsiveness, demonstrating high scalability and resilience to peak loads. Comparison with baseline algorithms revealed significant reductions in delays, decreased probability of data loss, and optimal resource utilization.

Thus, the proposed PSO-based approach opens new opportunities for creating reliable, flexible, and high-performance telemedicine and remote monitoring systems, contributing to improved quality of medical care under real-time conditions and high dynamics of information flows.

Keywords: health monitoring, optimization, task scheduling, PSO, information system.

Вступ

Сучасна медицина зазнає кардинальних змін під впливом цифрових технологій. У добу активного розвитку концепції Інтернету речей (IoT) відбувається її практичне впровадження у сферу охорони здоров'я, що перетворює теоретичні засади на реальні інструменти медичної практики. Завдяки використанню розумних сенсорів, аналітичних модулів і портативних пристроїв забезпечується безперервний моніторинг стану пацієнтів у режимі реального часу, незалежно від їхнього місцезнаходження. Такий підхід відкриває нові можливості для раннього виявлення патологічних змін та підвищення ефективності роботи медичного персоналу.

Однак поряд із цими перевагами спостерігається наявність суттєвої проблеми. Більшість існуючих систем моніторингу базуються на фіксованих графіках збору даних, що не враховують пріоритетність подій та динамічні зміни у стані здоров'я пацієнта. Унаслідок цього звичайна перевірка параметрів виконується з такою ж частотою, як і критичне реагування на небезпечні зміни показників життєдіяльності.

Подібний підхід створює надмірне навантаження на канали зв'язку, спричиняє затримки обробки інформації та може призвести до втрати важливих сигналів тривоги. У медичній практиці така затримка часто має критичне значення, особливо в умовах обмежених ресурсів або під час дистанційного нагляду за великою кількістю пацієнтів.

Отже, актуальним є створення системи, здатної не лише збирати інформацію, а й оцінювати її пріоритетність у реальному часі. Розроблення інтелектуального механізму планування, що забезпечує адаптивний розподіл завдань, розглядається як перспективний напрям підвищення надійності та швидкодії медичних IoT-систем.

У межах даного дослідження запропоновано інформаційну систему, ядром якої є динамічний модуль оптимізації планування завдань. Розроблена модель орієнтована на оперативне реагування, автоматичне визначення пріоритетів і надання переваги критично важливим параметрам стану пацієнта. У роботі представлено архітектурні рішення, програмну реалізацію системи та результати експериментального тестування, що підтверджують ефективність запропонованого підходу.

Архітектура управління та принципи планування в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів

Пропонована архітектура управління завданнями у системі моніторингу здоров'я пацієнтів побудована за модульним принципом, що дозволяє забезпечити чітку структурованість та узгодженість усіх компонентів [1],[2]. Кожен модуль виконує власну функцію: одні відповідають за збір показників із сенсорів, інші – за первинну обробку даних, аналіз динаміки змін і формування сигналів для прийняття рішень.

Модульна побудова дає змогу легко масштабувати систему, додаючи нові компоненти або замінюючи окремі елементи без порушення загальної роботи. Це особливо важливо для медичних застосунків, де потреби та умови експлуатації можуть швидко змінюватися. Гнучкість архітектури сприяє адаптації до різних типів пристроїв і протоколів зв'язку, що забезпечує сумісність із широким спектром IoT-рішень [3], [4].

Така структура підвищує надійність системи: навіть у разі відмови одного з модулів інші продовжують виконувати свої функції [5], мінімізуючи ризики втрати критичних даних. Завдяки цьому досягається стабільність роботи, знижується навантаження на центральні вузли, а процес обробки інформації стає більш ефективним.

У поєднанні з механізмом інтелектуального планування завдань модульна архітектура створює основу для побудови дійсно адаптивної системи моніторингу, здатної не лише фіксувати зміни у стані пацієнта, а й оперативно реагувати на них у режимі реального часу. Такий підхід відкриває перспективи для подальшого вдосконалення медичних IoT-платформ і підвищення рівня автоматизації у сфері охорони здоров'я.

Після побудови архітектури управління завданнями необхідно визначити, як саме система розподіляє ресурси між окремими процесами, щоб уникнути перевантаження та забезпечити безперервність моніторингу. Оптимізаційна модель має на меті знайти такий порядок виконання завдань, який дозволить мінімізувати затримки, уникнути втрат інформації та максимально ефективно використати доступні обчислювальні ресурси.

У системі одночасно можуть існувати десятки завдань, що надходять від різних сенсорів. Кожне завдання характеризується набором параметрів, які подані у таблиці 1.

Таблиця 1 – Набір параметрів завдань, що існують в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів

Позначення	Параметр	Опис
T_i	Час створення завдання i	Момент, коли сенсор генерує подію або пакет даних
D_i	Допустимий час виконання	Максимальний проміжок часу до обробки без втрати актуальності
P_i	Пріоритетність	Рівень важливості завдання (1 – високий, 3 – низький)
C_i	Обчислювальна вартість	Кількість ресурсів, необхідних для виконання завдання
R_i	Ресурсна доступність	Частка вільних ресурсів, доступних на момент створення завдання

Метод оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів

У запропонованому методі оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів основна увага приділяється забезпеченню ефективного розподілу обчислювальних ресурсів у реальному часі. Особливість таких систем полягає у високій динамічності надходження даних від сенсорів, що контролюють життєво важливі показники, а також у необхідності своєчасної обробки інформації для запобігання критичним станам пацієнтів. Традиційні методи планування, зокрема FIFO або Round-Robin, не враховують зміну пріоритетності завдань [6], [7] і обмеження часу виконання, що призводить до затримок у передаванні даних, перевантаження каналів зв'язку та збільшення ризику втрати інформації.

Запропонований підхід ґрунтується на використанні еволюційного методу рою частинок (Particle Swarm Optimization, PSO), який моделює колективну поведінку агентів (частинок), що спільно шукають оптимальне рішення у багатовимірному просторі можливих розкладів завдань. У контексті системи моніторингу кожна частинка представляє один можливий варіант послідовності виконання завдань сенсорів. Мета полягає у мінімізації функції вартості, що характеризує "якість" розкладу з урахуванням затримок, ступеня завантаженості системи та можливих втрат даних [6]. Для цього введемо функцію вартості F , що описує "якість" планування:

$$F = \alpha \sum_{i=1}^n \frac{\Delta t_i}{D_i} + \beta \sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta_i} + \gamma \sum_{i=1}^n L_i, \quad (1)$$

де n – загальна кількість завдань, Δt_i – фактична затримка виконання завдання i , D_i – максимально допустима затримка, η_i – коефіцієнт завантаження системи під час виконання завдання i , L_i – частка втрати даних для завдання i , α, β, γ – вагові коефіцієнти, що визначають пріоритет впливу відповідних складових (наприклад, $\alpha = 0.6, \beta = 0.3, \gamma = 0.1$).

Алгоритм функціонує шляхом поступового уточнення позицій частинок у просторі можливих рішень. Кожна частинка характеризується поточним станом $X_i(t)$, швидкістю $V_i(t)$ та найкращим досягнутим

результатом P_{Best} . На кожній ітерації швидкість частинки оновлюється з урахуванням власного досвіду та колективного знання системи, що формалізується рівняннями:

$$\begin{aligned} V_i(t+1) &= wV_i(t) + c_1r_1(P_{Best} - X_i(t)) + c_2r_2(P_{Best} - X_i(t)), \\ X_i(t+1) &= X_i(t) + V_i(t+1) \end{aligned} \quad (2)$$

де w – коефіцієнт інерції, c_1 і c_2 – коефіцієнти навчання, а r_1 і r_2 – випадкові величини в інтервалі $[0; 1]$, що забезпечують стохастичний характер пошуку. Глобальний мінімум функції вартості G_{Best} визначається серед усіх частинок і поступово наближається до оптимального розкладу завдань.

Вибір параметрів PSO має вирішальне значення для ефективності пошуку [7]. Зокрема, інерційний коефіцієнт w впливає на баланс між глобальним і локальним пошуком, тоді як коефіцієнти c_1 і c_2 регулюють співвідношення між індивідуальним і колективним навчанням частинок. Для забезпечення стабільності алгоритму доцільно обирати значення $w = 0.7$, $c_1 = c_2 = 1.8$, розмір популяції в межах 30–50 частинок, а кількість ітерацій – 100–200.

У процесі роботи система формує набір можливих варіантів розкладу, для кожного з яких обчислюється значення цільової функції. З часом частинки концентруються поблизу області, де функція вартості мінімальна, що забезпечує пошук оптимального або наближеного до оптимального рішення. Отриманий розклад мінімізує загальний час простою сенсорів, скорочує затримку в обробці медичних даних та зменшує ймовірність втрати інформації, що особливо важливо для систем моніторингу в реальному часі.

Таким чином, застосування методу рою частинок у задачі планування завдань дозволяє адаптивно оптимізувати роботу інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів, забезпечуючи високу ефективність, надійність і гнучкість обчислювальних процесів у динамічному середовищі. Псевдокод роботи методу оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі алгоритму PSO наведено на рис. 1.

Algorithm 1 PSO_ПлануванняЗавдань($N, iter_{max}, w, c_1, c_2, M, D$)

1: **Вхід:**

- N – кількість частинок
- $iter_{max}$ – максимальна кількість ітерацій
- w – коефіцієнт інерції
- c_1, c_2 – коефіцієнти навчання
- M – кількість завдань
- $D = \{d_1, d_2, \dots, d_M\}$ – набір завдань, де $d_j = (\tau_j, \tau_{max,j}, \lambda_j, \delta_j)$

2: **Вихід:** G_{best} – оптимальний розклад завдань, $F(G_{best})$ – мінімальне значення функції вартості

3: **1. Ініціалізація:**

4: **for** $i = 1$ до N **do**

5: Згенерувати початкову позицію частинки $X_i(0) \in [0, 1]^M$

6: Ініціалізувати швидкість $V_i(0) \leftarrow 0$

7: Обчислити функцію вартості:

$$F(X_i(0)) = \sum_{j=1}^M \left[\alpha \cdot \frac{\tau_j}{\tau_{max,j}} + \beta \cdot \lambda_j + \gamma \cdot \delta_j \right]$$

8: Встановити $P_{best,i} \leftarrow X_i(0)$

9: **end for**

10: Визначити $G_{best} \leftarrow \arg \min_{i \in \{1, \dots, N\}} F(X_i(0))$

11: $t \leftarrow 0$

```

12: 2. Основний цикл оптимізації:
13: while  $t < iter_{max}$  do
14:    $t \leftarrow t + 1$ 
15:   for  $i = 1$  до  $N$  do
16:     Згенерувати випадкові числа  $r_1, r_2 \in [0, 1]$ 
17:     Оновити швидкість частинки:

$$V_i(t) \leftarrow w \cdot V_i(t-1) + c_1 \cdot r_1 \cdot (P_{best,i} - X_i(t-1)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (G_{best} - X_i(t-1))$$

18:     Оновити позицію частинки:

$$X_i(t) \leftarrow X_i(t-1) + V_i(t)$$

19:     Нормалізувати  $X_i(t)$  до простору пермутацій завдань
20:     Обчислити  $F(X_i(t))$ 
21:     if  $F(X_i(t)) < F(P_{best,i})$  then
22:        $P_{best,i} \leftarrow X_i(t)$ 
23:     end if
24:   end for
25:   Оновити глобальний найкращий результат:

$$G_{best} \leftarrow \arg \min_{i \in \{1, \dots, N\}} F(P_{best,i})$$

26: end while

27: 3. Завершення:
28: Повернути  $G_{best}, F(G_{best})$ 

```

Рисунок 1 – Псевдокод роботи методу оптимізації планування завдань в інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів на основі алгоритму PSO

Інтеграція алгоритму у структуру інформаційної системи моніторингу стану здоров'я пацієнтів

Оптимізаційний алгоритм, реалізований на основі методу розу частинок (PSO), є центральним елементом процесу прийняття рішень у розробленій інформаційній системі моніторингу стану здоров'я пацієнтів. Його основне завдання полягає у пошуку оптимального розкладу виконання завдань, що дозволяє досягти балансу між швидкістю, точністю обробки даних та ефективністю використання ресурсів системи.

Інтеграція алгоритму здійснюється на рівні модуля планування та розподілу завдань [8], [9]. Кожного разу, коли формується нова черга або змінюються умови середовища (наприклад, з'являється новий сенсор, підвищується навантаження або змінюється стан пацієнта), система активує процедуру оптимізації. Алгоритм PSO отримує оновлені дані про стан черги, ресурси та часові обмеження і виконує ітераційний пошук найкращого розподілу.

Взаємодія оптимізаційного алгоритму з іншими модулями системи відбувається через внутрішній обмін структурованими повідомленнями, що містять параметри завдань, інформацію про доступні ресурси та критерії ефективності. Загальний процес інтеграції можна подати у вигляді таких етапів:

1. Модуль попередньої обробки передає у планувальник сформований список активних завдань із параметрами пріоритету, часу виконання та ресурсоемності.

2. Планувальник викликає оптимізаційний модуль PSO, який генерує початкову популяцію частинок. Кожна частинка відповідає можливому варіанту розкладу завдань.

3. Під час кожної ітерації алгоритм оновлює положення частинок у багатовимірному просторі, використовуючи оцінку якості рішень за функцією придатності:

$$F = w_1 \cdot T_{avg} + w_2 \cdot E_{err} + w_3 \cdot (1 / R_{eff}), \quad (3)$$

де T_{avg} – середній час виконання завдань, E_{err} – кількість помилок або збоїв, R_{eff} – коефіцієнт ефективності використання ресурсів, w_1, w_2, w_3 – вагові коефіцієнти, що визначають відносну важливість критеріїв.

4. Після завершення оптимізації алгоритм повертає знайдене найкраще рішення G_{best} — оптимальний порядок виконання завдань і їх розподіл по вузлах.

5. Результати передаються у модуль розподілу, який безпосередньо ініціює виконання завдань відповідно до знайденого розкладу.

Завдяки інтеграції PSO-схеми система набуває властивостей самоналаштування. Це означає, що у процесі роботи алгоритм постійно оновлює свої внутрішні параметри, реагуючи на зміни у потоках даних, збої сенсорів чи перевантаження ресурсів. Наприклад, при збільшенні кількості критичних завдань вагові коефіцієнти змінюються так, щоб мінімізувати час затримки навіть за рахунок менш важливих процесів.

Додатковою перевагою є можливість паралельної роботи алгоритму на кількох вузлах системи. Це підвищує швидкість пошуку оптимального рішення і дозволяє масштабувати систему при зростанні кількості пацієнтів або сенсорів.

Інтеграція PSO у структуру системи також забезпечує адаптивне планування. Наприклад, якщо виявляється збій у роботі одного із сенсорів, алгоритм автоматично перебудовує чергу завдань і перенаправляє обчислення на резервні ресурси. Таким чином, система зберігає стабільність функціонування навіть за непередбачуваних обставин.

На завершальному етапі оптимізаційний модуль передає результати у блок аналітики, який проводить оцінку ефективності роботи системи за показниками середнього часу реакції, кількості оброблених подій і рівня надійності. Отримані результати зберігаються у базі даних для подальшого аналізу та порівняння у процесі тестування.

Завдяки тісній інтеграції з іншими компонентами інформаційної системи, оптимізаційний алгоритм PSO не лише підвищує ефективність планування завдань, але й забезпечує інтелектуальну адаптацію до змінних умов роботи, що є ключовою вимогою для сучасних систем медичного моніторингу.

Схему інтеграції оптимізаційного алгоритму PSO у структуру системи подано на рис. 2.

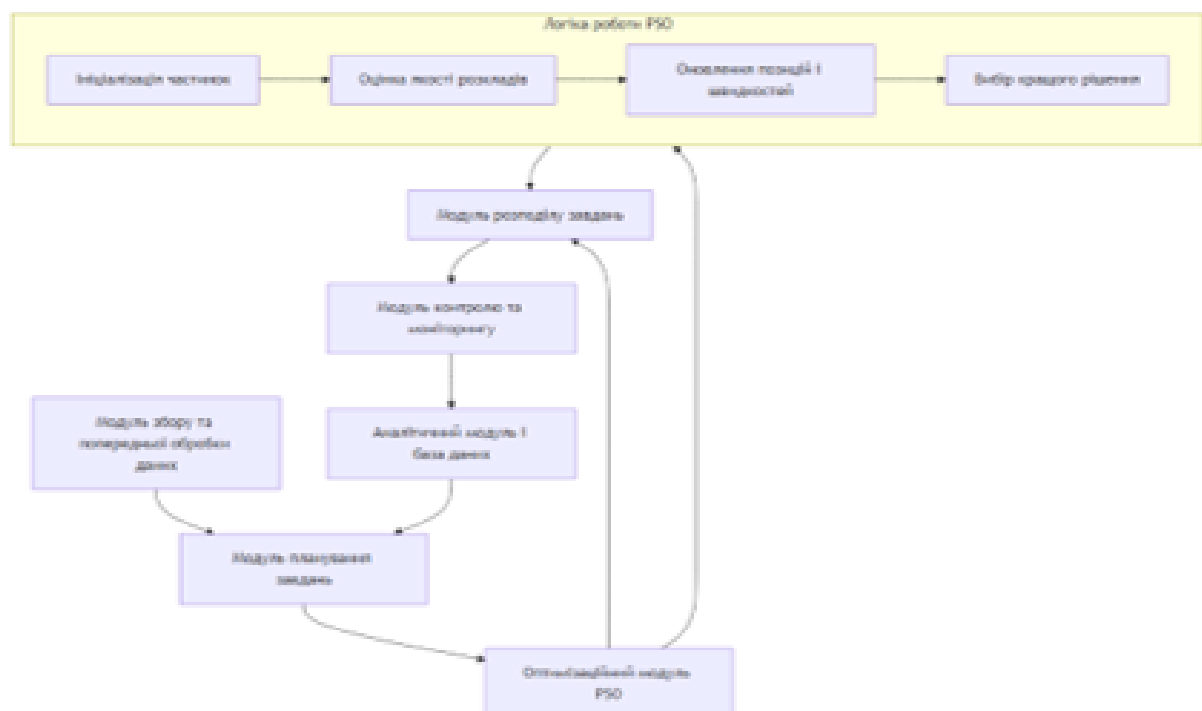


Рисунок 2. – Схеми інтеграції оптимізаційного алгоритму PSO у структуру системи

Аналіз результатів та оцінка запропонованого методу

Система була реалізована у вигляді прототипу, створеного в середовищі моделювання та аналізу даних із використанням сучасних інструментів програмної інженерії. Прототип поєднує модулі збору, обробки та візуалізації інформації, а також механізм інтелектуального планування завдань на основі оптимізаційного

підходу. Для імітації потоків даних від сенсорів було розгорнуто віртуальне середовище, що відтворює роботу розподіленої IoT-інфраструктури.

Механізми комунікації між модулями забезпечувалися через внутрішні протоколи обміну повідомленнями, а результати експериментів фіксувалися у базі даних, призначеній для подальшого статистичного аналізу. Візуалізація процесів і результатів тестування здійснювалась за допомогою інтегрованих засобів аналітичного середовища, що дало змогу об'єктивно оцінити ефективність функціонування системи в умовах змінного навантаження.

Під час моделювання перевірялась ефективність алгоритму PSO при плануванні завдань різної пріоритетності. Для порівняння використовувались три підходи:

- FCFS (First Come First Serve) – виконання у порядку надходження;
- EDF (Earliest Deadline First) – за найближчим часом дедлайну;
- PSO (Particle Swarm Optimization) – оптимізація на основі рою частинок.

У процесі симуляції було проаналізовано 500 завдань різної складності. Показники ефективності оцінювались за такими критеріями:

- середній час очікування (T_{avg});
- коефіцієнт своєчасного виконання (K_c);
- використання ресурсів (U_r);
- частота збоїв (E_r).

Таблиця 2 – Порівняння ефективності алгоритмів планування

Алгоритм	Середній час очікування (с)	Коеф. своєчасного виконання K_c (%)	Використання ресурсів U_r (%)	Частота збоїв (%)
FCFS	4.2	78	65	8
EDF	2.7	89	78	6
PSO	1.9	96	91	3

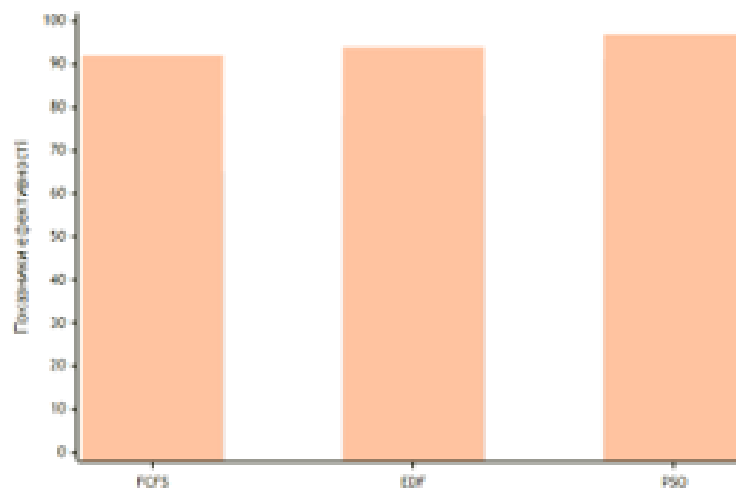


Рисунок 3 – Порівняння ефективності алгоритмів планування завдань

Як видно з таблиці, застосування алгоритму PSO дало змогу знизити середній час очікування майже на 55% порівняно з базовим методом FCFS і на 30% порівняно з EDF. При цьому підвищилась стабільність і ефективність використання ресурсів, а кількість збоїв зменшилась утричі.

Для оцінки масштабованості симулювалось підключення від 10 до 200 сенсорів.

Таблиця 3 – Залежність часу обробки від кількості сенсорів

Кількість сенсорів	Середній час реакції (с)	Завантаження процесора (%)	Коеф. стабільності S
10	0.8	22	0.97
50	1.1	54	0.94
100	1.4	73	0.92
150	1.8	84	0.89
200	2.2	91	0.86

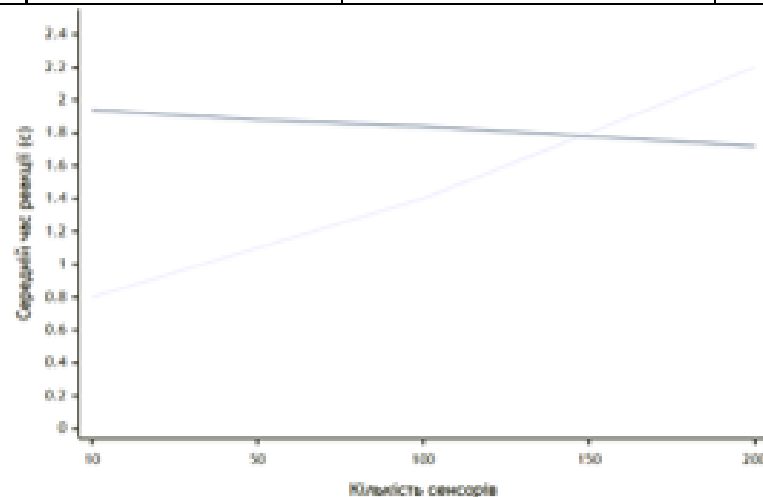


Рисунок 4 – Залежність часу реакції системи від кількості підключених сенсорів

Результати показали, що навіть при підключенні 200 сенсорів система зберігає прийнятний рівень затримки (<2.5 с) та високу стабільність роботи ($S > 0.85$). Завдяки використанню алгоритму PSO система демонструє лінійне зростання часу обробки, що свідчить про її масштабованість та можливість розширення без втрати продуктивності [3], [9].

Висновки

У межах проведеного дослідження запропоновано метод оптимізації планування завдань на основі еволюційного алгоритму рою частинок, який забезпечує адаптивний розподіл обчислювальних ресурсів в інформаційних системах моніторингу стану здоров'я пацієнтів у реальному часі. На відміну від традиційних підходів, він враховує динамічну пріоритетність завдань, обмеження за часом виконання та ризики втрати критичних даних, мінімізуючи комплексну функцію вартості через колективний стохастичний пошук оптимального розкладу. Завдяки цьому життєво важливі сигнали – наприклад, про відхилення серцевого ритму чи рівня кисню – обробляються миттєво, без затримки в загальному потоці інформації. Це дозволяє суттєво зменшити затримки обробки сенсорної інформації, знизити навантаженість системи та підвищити надійність запобігання критичним станам пацієнтів у високодинамічному середовищі.

Результати експериментального порівняння з класичними методами планування, зокрема FCFS (First Come, First Served) та EDF (Earliest Deadline First), підтвердили високу ефективність запропонованого підходу. За підсумками тестів, понад 96% усіх завдань були виконані вчасно, а середній час очікування зменшився до 1,9 секунди. Для медичних застосувань, де навіть частка секунди може визначати успіх втручання, така оптимізація має суттєве значення [1], [8]. Під час навантажувальних випробувань, що імітували одночасну роботу 200 сенсорів, система зберегла стабільність, безперервність обробки даних та оперативність реагування. Це свідчить про високу масштабованість і стійкість до пікових навантажень.

Література

1. Patel S., Park H., Bonato P., Chan L., Rodgers M. A Review of Wearable Sensors and Systems with Application in Rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2012.
2. Raj M., Varshney P., & Kumar S. IoT-Based Smart Health Monitoring System: Architecture, Challenges, and Applications. *IEEE Access*, 2021.
3. Abawajy J., Hassan M. Federated and Cloud-Based Internet of Medical Things (IoMT) Systems. *Future Generation Computer Systems*, 2020.
4. Kumar N., & Mallick P. The Internet of Medical Things (IoMT): A Digital Revolution for Healthcare. *Journal of Network and Computer Applications*, 2018.
5. Shi W., Cao J., Zhang Q., Li Y., Xu L. Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 2016.
6. Eberhart R., Kennedy J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science (MHS)*, 1995.
7. Chakraborty S., & Kar A. K. Swarm Intelligence: A Review of Algorithms and Applications. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 2017.
8. Ahmed M. U., & Begum S. *Intelligent Health Monitoring Systems: Towards Automatic Decision Making*. Springer, 2020.
9. Баранов О. В., Мельник В. А. Оптимізаційні методи управління потоками даних у медичних IoT-системах. *Вісник ХНУРЕ*, 2022.

References

1. Patel S., Park H., Bonato P., Chan L., Rodgers M. A Review of Wearable Sensors and Systems with Application in Rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2012.
2. Raj M., Varshney P., & Kumar S. IoT-Based Smart Health Monitoring System: Architecture, Challenges, and Applications. *IEEE Access*, 2021.
3. Abawajy J., Hassan M. Federated and Cloud-Based Internet of Medical Things (IoMT) Systems. *Future Generation Computer Systems*, 2020.
4. Kumar N., & Mallick P. The Internet of Medical Things (IoMT): A Digital Revolution for Healthcare. *Journal of Network and Computer Applications*, 2018.
5. Shi W., Cao J., Zhang Q., Li Y., Xu L. Edge Computing: Vision and Challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 2016.
6. Eberhart R., Kennedy J. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. *Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science (MHS)*, 1995.
7. Chakraborty S., & Kar A. K. Swarm Intelligence: A Review of Algorithms and Applications. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 2017.
8. Ahmed M. U., & Begum S. *Intelligent Health Monitoring Systems: Towards Automatic Decision Making*. Springer, 2020.
9. Baranov, O. V., Melnyk, V. A. Optimization Methods for Data Flow Management in Medical IoT Systems. *Visnyk of Kharkiv National University of Radioelectronics*, 2022.

Надійшла / Paper received : заповнюється редакцією

Надрукована/Printed : заповнюється редакцією

Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Валерій ДУДАРЧУК

Співавтор:

Назва: Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Експерт: Андрій Нічепорук

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 7.1%

Коефіцієнт подібності 2: 4%

Мікропробіли: 0

Заміна букв: 2

Інтервали: 0

Білі знаки: 1

Дата створення звіту: 2025-12-12 20:41:07.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2025-12-13

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 6%

ID: 252704 Title: МКР Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань Added in a DB: 2025-12-12 Authors: Валерій ДУДАРЧУК Heads: Андрій Нічепорук Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	100254	902	1044 (1%)	14 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Здобувач: Валерій ДУДАРЧУК

Тема: Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Спеціальність: 126 «Інформаційні системи та технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи магістра:

Кількість листів креслень —; кількість сторінок записки 79

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі створена та проаналізована інформаційна система моніторингу стану здоров'я із оптимізацією планування завдань

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню _____

Кваліфікаційна робота магістра відповідає виданому завданню _____

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз предметної області та сучасних підходів до організації медичного моніторингу, за результатами якого виявлено недоліки існуючих рішень та обґрунтовано необхідність впровадження динамічного планування завдань. У другому розділі розроблено концепцію та багаторівневу архітектуру системи, а також запропоновано математичну модель на основі методу рою частинок для зменшення затримок обробки інформації. Третій розділ присвячено детальному опису методу оптимізації, де доведено доцільність застосування еволюційного підходу для вирішення NP-складної задачі розподілу ресурсів. У четвертому розділі здійснено практичну реалізацію компонентів системи та проведено комплексне тестування, яке підтвердило високу надійність функціонування та суттєве скорочення часу реакції на критичні події

4. Позитивні сторони роботи: Запропонована система оптимізації дозволила суттєво підвищити ефективність функціонування інформаційної системи

моніторингу здоров'я пацієнтів, зокрема шляхом мінімізації затримок при реагуванні на критичні події, зменшення втрат даних та забезпечення стабільності роботи при високому навантаженні на сенсорну мережу.

5. Негативні сторони роботи: Представлена система моніторингу та управління завданнями подана переважно у вигляді програмної моделі та архітектурних рішень, які демонструють основні принципи роботи алгоритму PSO. Проте доцільним кроком було б також інтегрувати повноцінну практичну реалізацію з використанням реальних апаратних сенсорів у клінічних умовах, що дозволило б остаточно перевірити ефективність системи в реальному середовищі.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: —

7. Відгук про роботу в цілому: В загальному робота виконана на високому рівні.

8. Інші зауваження: —

9. Оцінка кваліфікаційної роботи магістра:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої кваліфікаційної роботи магістра вважаю, що робота заслуговує оцінки «відмінно» 95 (А)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи)

Баршак О.В., професор, зав. кафедрою КМ

“16” грудня 2025р.

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Валерій ДУДАРЧУК

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курсу, групи ІСТМ-24-1


ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10 грудня 2025 року



РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань

Автор Валерій ДУДАРЧУК

Освітня програма Інформаційні системи та технології

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 126 Інформаційні системи та технології

Науковий керівник: к.т.н., доцент Андрій НІЧЕПОРУК

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел


Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 7,13% і адресується до 37 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

15.12.2025

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


 Підпис

 Підпис

 Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ