

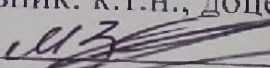
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

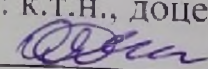
на тему:

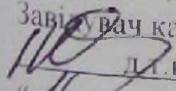
«Інтелектуальні системи та мережі інтернету медичних речей. Сервіси
IoT в мережах 5G»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи TSM-23м
спеціальності 172 – Електронні комунікації
та радіотехніка

 Данилевич Д.В.

Керівник: к.т.н., доцент каф. ІКСТ
 Васильківський М.В.
« 16 » грудня 2024 р.

Опонент: к.т.н., доцент каф. ІРТС
 Осадчук Я.О.
« 16 » 12 2024 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри ІКСТ
 д.т.н., проф. Кичак В.М.
« 16 » 12 2024 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних електронних систем

Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)

Галузь знань - 17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації

(шифр і назва)

Спеціальність - 172 – Електронні комунікації та радіотехніка

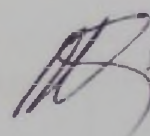
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІКСТ

д.т.н., професор В.М. Кичак



"24" 09 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Данилевичу Денису Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальні системи та мережі інтернету медичних речей. Сервіси IoMT в мережах 5G

керівник роботи Васильківський Микола Володимирович, канд. техн. наук, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, ім'я по батькові)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "17" 09 2024 року № 310

2. Строк подання студентом роботи 09 грудня 2024 року

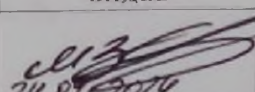
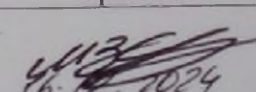
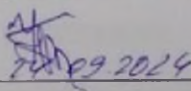
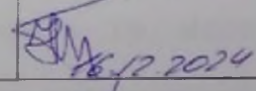
3. Вихідні дані до роботи затримка передачі даних (при моніторингу стану здоров'я в реальному часі): ≤ 10 мс; швидкість передачі даних (при моніторингу біосенсорів): 10–100 Мбіт/с; щільність підключень (персональні сенсори): 10^3 – 10^5 пристроїв/км²; доступність мережі для медичних сервісів - 99.999%; енергоефективність сенсорів IoMT (у режимі очікування) < 1 мВт; потужність сигналу в приміщеннях ≥ -95 дБм; протоколи безпеки: TLS, end-to-end шифрування; час виявлення аномалій у мережі: < 10 мс; частотний спектр медичних пристроїв з низькою швидкістю передачі даних (NB-IoT, LTE-M): частоти до 1 ГГц; параметри енергоефективності (для сенсорів): < 10 мкДж/біт; частота передачі медичних носимих пристроїв (Wearable Devices): 1-10 разів на хвилину; радіус дії 5G базової станції (в міських умовах): до 1 км.

4. Зміст текстової частини: фізичний рівень системи IoT/IoMT з підтримкою 5G; аналіз існуючих рішень для гетерогенних мереж на основі технологій 5G; інтелектуальні IoMT в мобільних мережах; економічна частина.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) архітектура сегменту мережі HetNet на основі 5G; гетерогенна мережева архітектура 5G на основі Cloud-RAN (H-CRAN); структура керування ресурсами і

віртуалізацію в мережах 5G HetNet на основі H-CRAN; архітектура мережі 5G HetNet на основі H-CRAN та TWDM-PON; топологія сегменту мережі 5G на основі технології D2D; архітектура мережі OneM2M; схема керування трафіком (2PTC) в мережі M2M; система IoT на основі WSN-MCN; алгоритм роботи персональних пристроїв IoT; алгоритм роботи носимого пристрою IoT; структурно-функціональна схема прототипу IoT пристрою; алгоритм роботи розробленого пристрою IoT.

6. Консультанти розділів роботи

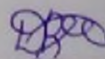
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Васильківський М.В., доцент кафедри ІКСТ	 24.09.2024	 16.12.2024
Економічна частина	Буреннікова Н.В. д.е.н., професор каф. ЕПВМ	 24.09.2024	 16.12.2024

7. Дата видачі завдання 02 вересня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

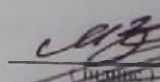
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	09.09.2024р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	16.09.2024р.	
3.	Фізичний рівень системи IoT/IoMT з підтримкою 5G	12.10.2024р.	
4.	Аналіз існуючих рішень для гетерогенних мереж на основі технологій 5G	30.10.2024р.	
5.	Інтелектуальні IoT в мобільних мережах	11.11.2024р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	22.11.2024р.	
7.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини	02.12.2024р.	
8.	Нормоконтроль МКР	06.12.2024р.	
9.	Попередній захист МКР, опонування МКР	14.12.2024р.	
10.	Захист МКР ЕК	18.12.2024р.	

Студент


(підпис)

Данилевич Д. В.

Керівник роботи


(підпис)

Васильківський М.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396

Данилевич Д.В. Інтелектуальні системи та мережі інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТ в мережах 5G. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма – телекомунікаційні системи та мережі. Вінниця: ВНТУ, 2024. 109 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 67 назв; рис.: 28; табл. 6.

У роботі досліджено концепцію інтелектуальних систем та мереж Інтернету медичних речей (ІоМТ) та їх інтеграцію в сучасні комунікаційні мережі п'ятого покоління (5G). Розглянуто основні принципи функціонування ІоМТ, а також їх застосування для покращення медичних послуг і здоров'я населення. Особлива увага приділена перевагам використання мереж 5G для забезпечення високошвидкісного, надійного і безпечного обміну медичними даними, що дозволяє оптимізувати процеси діагностики та лікування. Запропоновано нові підходи до інтеграції інтелектуальних систем у мережах 5G, які сприяють підвищенню якості медичної допомоги та розвитку персоналізованої медицини. Результати роботи мають практичне значення для вдосконалення технологій у сфері охорони здоров'я та підтримки здорового способу життя.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з чотирьох розділів, у яких досліджуються різні аспекти інтеграції інтелектуальних систем та мереж Інтернету медичних речей (ІоМТ) з підтримкою технологій 5G. У першому розділі аналізується фізичний рівень системи ІоТ/ІоМТ, зокрема можливості та особливості її роботи в мережах 5G. Другий розділ присвячений аналізу існуючих рішень для гетерогенних мереж на основі технологій 5G, з урахуванням вимог до швидкості, надійності та безпеки передачі медичних даних. У третьому розділі описано розроблення апаратного забезпечення для

інтелектуальних систем IoMT у мобільних мережах, що включає вибір та інтеграцію компонентів для забезпечення ефективної роботи таких систем. Четвертий розділ містить аналіз економічної ефективності впровадження інтелектуальних систем і мереж IoMT в медичну сферу, зокрема в контексті зниження витрат на лікування та підвищення доступності медичних послуг. Робота має важливе практичне значення для розвитку інноваційних технологій у галузі охорони здоров'я та покращення якості медичних послуг.

ABSTRACT

UDC 621.396

Danilevich D.V. Intelligent systems and networks of the Internet of Medical Things. IoMT services in 5G networks. Master's qualification work in the specialty 172 - electronic communications and radio engineering, educational program - telecommunication systems and networks. Vinnytsia: VNTU, 2024. 109 c.

In Ukrainian. Bibliography: 67 titles; Figures: 28; Table 6.

The paper investigates the concept of intelligent systems and networks of the Internet of Medical Things (IoMT) and their integration into modern fifth-generation (5G) communication networks. The basic principles of IoMT functioning and their application to improve medical services and public health are considered. Particular attention is paid to the advantages of using 5G networks to ensure high-speed, reliable and secure exchange of medical data, which allows optimizing the processes of diagnosis and treatment. New approaches to the integration of intelligent systems in 5G networks are proposed, which contribute to improving the quality of medical care and the development of personalized medicine. The results of the work are of practical importance for improving healthcare technologies and maintaining a healthy lifestyle.

The master's thesis consists of four chapters that explore various aspects of the integration of intelligent systems and Internet of Medical Things (IoMT) networks with 5G technologies. The first chapter analyzes the physical level of the IoT/IoMT system, including the capabilities and features of its operation in 5G networks. The second section is devoted to the analysis of existing solutions for heterogeneous networks based on 5G technologies, taking into account the requirements for the speed, reliability and security of medical data transmission. The third section describes the development of hardware for intelligent IoMT systems in mobile networks, including the selection and integration of components to ensure the efficient operation of such systems. The fourth section analyzes the cost-effectiveness of implementing intelligent IoMT systems and networks in the medical field, in particular in the context of reducing

treatment costs and increasing the availability of medical services. This work has important practical implications for the development of innovative technologies in the healthcare sector and improvement of the quality of medical services.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	14
1 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ СИСТЕМИ ІОТ/ІОМТ З ПІДТРИМКОЮ 5G.....	21
1.1 Архітектура системи ІоТ/ІоМТ.....	21
1.2 Система інтернету речей на основі NOMA	27
1.3 Висновки до розділу 1	29
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ 5G	31
2.1 Архітектура гетерогенної мережі 5G	31
2.2 Методи керування інформаційними ресурсами високошвидкісних мереж 5G	44
2.3 Архітектура системи ІоМТ з використанням бездротової сенсорної мережі та мобільної стільникової мережі.....	49
2.4 Висновки до розділу 2	55
3 ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ІОМТ В МОБІЛЬНИХ МЕРЕЖАХ.....	57
3.1 Особливості впровадження розумної охорони здоров'я на основі сенсорного Інтернету речей	57
3.2 Особливості застосування периферійних ІоМТ в мобільних мережах	61
3.3 Проектування інтелектуальних мобільних пристроїв ІоМТ	63
3.4 Висновки до розділу 3	71
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	73
4.1 Оцінювання наукового ефекту.....	73
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	76
4.2.1 Витрати на оплату праці.....	76
4.2.2 Відрахування на соціальні заходи	80
4.2.3 Сировина та матеріали.....	81
4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	82
4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт	83
4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	84

	9
4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень	85
4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	87
4.2.9 Службові відрядження.....	88
4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	88
4.2.11 Інші витрати.....	88
4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати.....	89
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи	90
4.4 Висновок до розділу 4.....	92
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	95
Додаток А Ілюстративна частина	103
Додаток Б Протокол перевірки магістерської кваліфікаційної роботи	111

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AE - прикладна сутність

AI - штучний інтелект

ANFIS - адаптивна нейросистема нечіткого виводу

ANN - штучна нейронна мережа

ANT – різнорідна мережа доступу

AS – автономна система

ASN - вузол обслуговування додатків

AR - авторегресія

BBU - централізований базовий блок

BCI - нейрокомп'ютерний інтерфейс

BLDA - байєсівський LDA

BMI - інтерфейс «мозок-машина

BP - смугова потужність

BTC - система комунікації між мозком і речами

CCA - канонічний кореляційний аналіз

CNN - згорткові нейронні мережі

CoMP - координована багатоточкова передача

CSE - сутність загальної послуги

CSI – інформація про стан каналу

CSP - загальний просторовий патерн

C-RAN - хмарна мережа радіодоступу

DARPA - Агентство передових оборонних дослідницьких проєктів

DBSCAN - просторова кластеризація додатків із шумом на основі щільності

D2D – зв'язок між пристроями

DL - глибоке навчання

EC – периферійні обчислення

ECoG - електрокортикографія

EH - збирання енергії

eMBB - мобільний широкосмуговий доступ

EMD - емпірична модова декомпозиція

ERP - потенціал, пов'язаний з подіями

ETSI - Європейський інститут телекомунікаційних стандартів

fMPT - функціональна магнітно-резонансна томографія

fNIRS - функціональна ближня інфрачервона спектроскопія

FFBPNN - нейронні мережі прямого поширення зі зворотним поширенням

FC - Туманні обчислення

FCN - туманні обчислювальні вузли

FPGA - польова програмована матриця вентилів

GAN - генеративна змагальна мережа

GPS - система глобального позиціонування

ICA - незалежний компонентний аналіз

IN – вузол інфраструктури

IoHT – інтернет речей в охороні здоров'я

IoMT - Інтернет медичних речей

IoT - інтернет речей

ITD - внутрішня декомпозиція шкали часу

ITR - інформаційна швидкість

HetNet – гетерогенна мережа

H-CRAN - хмарно-гетерогенна мережа радіодоступу

LAN – локальна мережа

LDA - лінійний дискримінантний аналіз

LLC - логічний контроль з'єднання

LSTM - довга короткочасна пам'ять

LVQ - квантування вектора навчання

MBS - макробазова станція

MCC - Мобільні хмарні обчислення

MCN - мобільна стільникова мережа

MEMS – мікроелектромеханічні системи

MIP - змішане цілочисельне програмування

ML – машинне навчання

MLNN - багатошарова нейронна мережа
M2M – міжмашинні комунікації
mMTC - надщільний зв'язок машинного типу
MN – середній вузол
NFV - віртуалізація мережевих функцій
NIRS - спектроскопія ближньої інфрачервоної області
NOMA - неортогональний множинний доступ
NSE - мережевий сервісний елемент
OMA - ортогональний множинний доступ
PAN – персональна мережа
PLCP - протокол конвергенції фізичного рівня
PMDP - протокол фізичної залежності від середовища
PMML - мова розмітки предиктивних моделей
PNN - імовірнісна нейронна мережа
PSD - спектральна щільність потужності
2PTC - двофазна архітектура управління трафіком
RBF - радіально-базисна функція
RRH – віддалені радіоблоки
RNN - рекурентна нейронна мережа
SDN - програмно-визначена мережа
SE – спектральна ефективність
SIC – послідовне придушення завад
SQUID - надпровідні квантові інтерференційні пристрої
SSFT - короткочасне перетворення Фур'є
STNN - просторово-часова нейронна мережа
TA – мультиплексування трафіку
TE – інженерія трафіку
UE – обладнання користувача
URLLC - наднадійний зв'язок з низькою затримкою
VR - віртуальна реальність
WBAN - Малопотужні сенсорні вузли

WIoT - Переносний Інтернет речей

WPAN - бездротова мережа персонального доступу

WPT - бездротова передача енергії

WRD - вейвлет-пакетна декомпозиція

WT - вейвлет-перетворення

БПЛА - безпілотні літальні апарати

БС – базова станція

ВМ – віртуальна машина

Гц - герц

ЕЕГ - електроенцефалографія

ІМВ - Імплантовані медичні вироби

кГц – кілогерц

МЕГ – магнітоенцефалографія

МРТ - магнітно-резонансна томографія

НДР – науково-дослідна робота

ПЕТ - позитронно-емісійна томографія

ТД – точка доступу

ХП – хмарний провайдер

ЦОД – центр обробки даних

ЦС – центр сертифікації

ШПФ - швидке перетворення Фур'є

ВСТУП

Актуальність теми. Актуальність дослідження сервісів ІоМТ (Інтернет медичних речей) у мережах 5G обумовлена значними змінами в індустрії охорони здоров'я та потребою в інноваційних рішеннях для покращення якості медичних послуг. З розвитком технологій і збільшенням попиту на медичні послуги, сучасні системи охорони здоров'я стикаються з низкою викликів, включно з підвищенням кількості хронічних захворювань, старінням населення та обмеженістю ресурсів.

Інтеграція ІоМТ з мережами 5G відкриває нові можливості для підвищення ефективності, швидкості обробки даних та доступу до медичних послуг. 5G створює умови для швидшого, масштабованого та безпечного впровадження ІоМТ, забезпечуючи більш досконалу інфраструктуру для медичних сервісів.

Актуальність дослідження сервісів ІоМТ в 5G обґрунтовується наступними факторами. Мережі 5G забезпечують дуже низькі затримки передачі даних (латентність до 1 мс), що є критично важливим для застосувань, пов'язаних з охороною здоров'я. В умовах, коли кожна секунда має значення, як, наприклад, під час екстреного реагування або операцій на відстані (телехірургія), швидка передача даних між ІоМТ-пристроями та медичними системами дозволяє миттєво отримувати й аналізувати медичну інформацію, знижуючи ризик помилок або затримок у лікуванні. ІоМТ складається з безлічі медичних сенсорів, моніторів та носимих пристроїв, кожен з яких генерує велику кількість даних. Мережі 5G здатні підтримувати підключення мільйонів ІоМТ-пристроїв на невеликій площі (до 1 мільйона пристроїв на квадратний кілометр). Це дозволяє системам охорони здоров'я масштабуватися й інтегрувати більше пристроїв у лікарнях, медичних установах та домашніх умовах пацієнтів, забезпечуючи повноцінний моніторинг здоров'я на всіх рівнях. У медичних застосуваннях надійність зв'язку має вирішальне значення, оскільки будь-яке переривання може призвести до втрати важливих даних або порушення процесу лікування. Мережі 5G забезпечують більш стабільний зв'язок із низькими затримками та меншою кількістю переривань порівняно з попередніми

поколіннями мобільних мереж (4G або LTE), що робить їх ідеальними для надання критично важливих медичних послуг. ІоМТ-пристрої збирають величезну кількість даних про стан здоров'я пацієнтів (серцевий ритм, рівень кисню в крові, глюкоза, активність тощо). Використання 5G дозволяє здійснювати аналіз цих даних у реальному часі, що відкриває можливості для передбачувальної медицини, виявлення критичних змін у стані здоров'я та миттєвого реагування на ці зміни. 5G підтримує розвиток телемедицини, де швидкість і надійність передачі даних є вирішальними. Завдяки 5G, лікарі можуть проводити віртуальні консультації з пацієнтами у високій якості відеозв'язку, а також дистанційно виконувати медичні операції через роботизовані системи, які вимагають точного та безперервного контролю. ІоМТ генерує значний обсяг медичних даних, які можуть бути використані для тренування алгоритмів штучного інтелекту (AI) для діагностики, прогнозування захворювань та рекомендацій щодо лікування. 5G дозволяє обробляти великі обсяги даних швидше і більш ефективно, що сприяє розвитку таких інноваційних напрямків, як передбачувальна аналітика та інтелектуальні системи охорони здоров'я [1].

В умовах надзвичайних ситуацій або катастроф швидкість реакції та обробка даних мають вирішальне значення для порятунку життя. 5G дозволяє швидко підключати мобільні ІоМТ-пристрої та розгортати медичні бригади з обладнанням для віддаленого моніторингу стану постраждалих, з'єднуючи їх з експертами в лікарнях для проведення дистанційної діагностики.

Передача чутливих медичних даних через мережі 5G створює виклики щодо забезпечення конфіденційності та захисту інформації від несанкціонованого доступу або атак. Впровадження мереж 5G вимагає значних інвестицій у розвиток нової інфраструктури, особливо в регіонах з низькою щільністю населення або віддалених місцях. Перехід до нових технологій потребує інтеграції з існуючими медичними інформаційними системами та ІоМТ-пристроями, що може викликати технічні труднощі [2].

Дослідження сервісів ІоМТ у мережах 5G є надзвичайно актуальним, оскільки вони мають потенціал кардинально змінити підходи до охорони

здоров'я, зробивши їх більш ефективними, швидкими та персоналізованими. Інтеграція IoMT з 5G створює нові можливості для телемедицини, дистанційного моніторингу, аналізу даних у реальному часі та передбачувальної медицини, що дозволяє краще управляти здоров'ям пацієнтів та зменшувати навантаження на медичні заклади [3].

Аналіз останніх досліджень. Аналіз останніх досліджень сервісів IoMT (Інтернет медичних речей) у мережах 5G свідчить про швидкий розвиток цієї галузі, що обумовлено перевагами, які 5G пропонує для медичних технологій. Дослідження фокусуються на декількох ключових аспектах: оптимізація медичних послуг, покращення віддаленого моніторингу та діагностики, застосування штучного інтелекту, забезпечення безпеки та конфіденційності даних, а також управління великими обсягами даних в реальному часі [4].

Останні дослідження підкреслюють, що інтеграція IoMT з мережами 5G робить можливим безперервний віддалений моніторинг стану здоров'я пацієнтів за допомогою носимих пристроїв і сенсорів, які збирають дані про життєво важливі показники в режимі реального часу. Мережі 5G, з їхньою високою пропускною здатністю та низькою затримкою, забезпечують швидку передачу цих даних до медичних закладів або платформ аналітики, що дозволяє лікарям оперативно реагувати на зміни стану пацієнтів [5-7].

Дослідники зазначають, що телемедицина стає більш ефективною завдяки технологіям 5G, які забезпечують кращу якість відеозв'язку для консультацій, підтримку роботизованої хірургії на відстані та безперебійну роботу медичних додатків [8-10].

Інтеграція IoMT з технологіями 5G значно покращує здатність обробляти великі обсяги медичних даних. Дослідження показують, що використання штучного інтелекту (AI) та машинного навчання в поєднанні з мережами 5G дозволяє автоматизувати аналіз зібраних даних від медичних пристроїв. Алгоритми AI можуть обробляти ці дані для виявлення патернів, що сигналізують про потенційні ризики для здоров'я, або пропонувати персоналізовані рекомендації для лікування. Такі дослідження показують, що це дозволяє лікарям приймати рішення на основі глибшого аналізу даних, що

неможливо було зробити без потужних можливостей 5G і сучасних алгоритмів машинного навчання.

Оскільки ІоМТ передбачає збір і передачу величезної кількості чутливих медичних даних, дослідження акцентують увагу на питаннях безпеки та конфіденційності інформації. У мережах 5G надається значний прогрес у захисті даних за допомогою технологій шифрування, а також розробки більш надійних систем автентифікації для запобігання несанкціонованому доступу до медичних даних. Останні дослідження також розглядають питання впровадження блокчейну в систему ІоМТ у мережах 5G для покращення безпеки транзакцій і надання додаткового захисту від кібератак.

У багатьох дослідженнях було доведено, що мережі 5G можуть значно змінити підходи до хірургічних операцій і лікування на відстані. Завдяки низькій затримці та високій надійності 5G можливе використання робототехніки для виконання складних медичних процедур на великій відстані під контролем лікарів. Одним із найбільш значущих досягнень у цьому напрямку є можливість телехірургії, де лікарі можуть дистанційно керувати хірургічними інструментами в реальному часі.

Дослідження з цієї тематики також підкреслюють потенціал 5G у надзвичайних ситуаціях, коли екстрені служби можуть отримувати точні дані в реальному часі з місця події або від пацієнтів для швидкого діагностування та лікування.

Мережі 5G також відкривають нові можливості для підвищення енергоефективності ІоМТ-пристроїв. Багато досліджень фокусуються на тому, як оптимізувати енергоспоживання в системах ІоМТ для тривалішої роботи пристроїв. Використання хмарних та периферійних обчислень (Edge Computing) в системах 5G дозволяє зменшити навантаження на пристрої, передаючи складні операції на більш потужні сервери.

Завдяки 5G та ІоМТ стає можливим отримання більш точної та актуальної аналітики щодо стану здоров'я пацієнтів. Дослідження демонструють, що ця технологія дозволяє передбачати загострення захворювань та реагувати до того, як стан пацієнта погіршиться. Цей напрямок досліджень має значний вплив на

управління хронічними захворюваннями, такими як діабет або серцево-судинні захворювання, завдяки безперервному моніторингу та прогнозуванню на основі реальних даних.

ІоМТ у мережах 5G має величезний потенціал для трансформації системи охорони здоров'я. Інтеграція цих технологій дозволяє покращити моніторинг стану пацієнтів, забезпечити безперервну телемедицину та впроваджувати інноваційні рішення, такі як телехірургія. Безпека залишається однією з головних проблем, оскільки обробка великої кількості конфіденційних медичних даних вимагає надійного захисту. Дослідники активно працюють над удосконаленням методів захисту та підвищенням рівня конфіденційності.

Енергоефективність та оптимізація ресурсів також є ключовими темами досліджень, оскільки ІоМТ-пристрої мають працювати тривалий час без заміни батарей, а обробка даних має відбуватися максимально швидко та економічно. Таким чином, сервіс ІоМТ у поєднанні з технологіями 5G має всі шанси значно покращити якість та доступність медичних послуг у глобальному масштабі.

Мета і завдання роботи. Метою даної кваліфікаційної роботи є дослідження та аналіз можливостей інтеграції інтелектуальних систем та сервісів ІоМТ в мережах 5G пропонуючи нові підходи та рішення для підвищення якості медичної допомоги та здоров'я населення.

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

1. Дослідження фізичного рівня системи ІоТ/ІоМТ з підтримкою 5G.
2. Аналіз існуючих рішень для гетерогенних мереж на основі технологій 5G.
3. Розроблення апаратного забезпечення інтелектуальних ІоМТ у мобільних мережах.
4. Аналіз економічної ефективності дослідження інтелектуальних систем та мереж інтернету медичних речей.

Об'єктом дослідження є інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей (ІоМТ), а також сервіси ІоМТ, що функціонують у середовищі мобільних мереж п'ятого покоління (5G).

Предметом дослідження є технології, методи та підходи до створення, функціонування та впровадження інтелектуальних систем і сервісів Інтернету

медичних речей (IoMT) у середовищі гетерогенних мереж, зокрема мобільних мереж п'ятого покоління (5G).

Методи досліджень базуються на використанні: методів збору та обробки даних для забезпечення точного та своєчасного збору інформації з датчиків і пристроїв IoMT; методів передавання та комунікації для передачі зібраних даних у мережах 5G; методів обробки та аналізу даних для роботи з великими обсягами інформації та прийняття рішень; методів забезпечення безпеки та конфіденційності для захисту персональних медичних даних; методів моделювання та симуляції для відтворення роботи систем IoMT у віртуальних середовищах; методів оцінювання ефективності та тестування для перевірки роботи IoMT-систем.

Новизна одержаних результатів:

Запропоновано методи оптимізації енергоефективності та швидкості передачі даних для IoT/IoMT пристроїв у мережах 5G. Досліджено вплив різних сценаріїв трафіку IoMT на продуктивність фізичного рівня у реальних умовах.

Проведено порівняльний аналіз інтеграційних підходів для гетерогенних мереж у середовищах 5G. Запропоновано метод керування ресурсами для підвищення продуктивності мереж, що інтегрують різні технології.

Розроблено прототипи інноваційного апаратного забезпечення для IoMT, здатного функціонувати в умовах високих вимог 5G-мереж. Впроваджено рішення, які забезпечують зменшення енергоспоживання та збільшення автономності IoMT пристроїв.

Визначено економічні переваги використання IoMT у різних сценаріях. Здійснено розрахунок окупності інтелектуальних IoMT систем з урахуванням специфіки мобільних мереж 5G.

Апробація роботи та її основні результати роботи проводилися на Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)» у 2024 році.

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи. Основні положення кваліфікаційної роботи висвітлені у 2 тезах науково-технічної конференції.

1 ФІЗИЧНИЙ РІВЕНЬ СИСТЕМИ ІОТ/ІОМТ З ПІДТРИМКОЮ 5G

1.1 Архітектура системи ІоТ/ІоМТ

Галузь охорони здоров'я дійсно переживає значні зміни через низку чинників, таких як збільшення тривалості життя та розвиток добробуту населення. Це, в свою чергу, супроводжується зростанням кількості хронічних захворювань, що чинить тиск на і без того обмежені ресурси системи охорони здоров'я. В умовах, коли кількість пацієнтів зростає, а можливості для розширення медичних закладів і кількості лікарняних ліжок обмежені, впровадження нових технологій, таких як телемедицина, стало критично важливим для збереження якості надання медичних послуг.

Телемедицина стала інноваційним підходом, що дозволяє лікарям дистанційно надавати медичну допомогу, зменшуючи навантаження на фізичні лікарні. Вона допомагає знизити кількість госпіталізацій та забезпечити більш доступний догляд, особливо для пацієнтів у віддалених районах. Однак існуючі системи телемедицини мають свої недоліки. Як зазначено, більшість цих систем спроектовані для моніторингу та лікування окремих захворювань, наприклад, для контролю за станом пацієнтів після інсульту або для лікування діабету. Це означає, що телемедицина часто зосереджена на одному діагнозі, не враховуючи багатфакторність стану здоров'я людини, що може призвести до фрагментованого підходу в лікуванні.

Основний недолік такої моделі полягає в тому, що вона не здатна ефективно впоратися з пацієнтами, які мають кілька хронічних захворювань одночасно. Через це лікарі та пацієнти стикаються з множинними системами моніторингу та лікування, що ускладнює медичну допомогу та управління нею. Крім того, збільшення кількості хворих не зменшується через це фрагментоване рішення, що продовжує тиснути на систему охорони здоров'я.

Інтернет медичних речей (ІоМТ), як зазначають автори досліджень [1], є перспективним рішенням для подолання цих викликів у системі охорони здоров'я. ІоМТ — це інтегрована система медичних пристроїв, сенсорів і

додатків, які дозволяють збирати, аналізувати та обмінюватися даними про пацієнтів у реальному часі. На відміну від телемедицини, IoMT має потенціал для універсального моніторингу багатьох показників здоров'я одночасно. Це означає, що замість моніторингу лише одного захворювання, система може стежити за кількома аспектами здоров'я пацієнта (наприклад, артеріальний тиск, рівень глюкози в крові, пульс тощо), що робить її більш адаптивною до потреб пацієнтів з багатофакторними хронічними захворюваннями.

IoMT здатний масштабуватися для моніторингу багатьох різних захворювань одночасно, що робить його універсальним рішенням для широкого спектра пацієнтів. IoMT дозволяє збирати дані в реальному часі, надаючи лікарям можливість швидко реагувати на зміни в стані пацієнта, а також надавати персоналізовані рекомендації. За рахунок збору та обробки даних у режимі реального часу, система може знизити навантаження на лікарні, оскільки багато процесів моніторингу та початкової обробки можуть виконуватися автоматично та дистанційно. IoMT-пристрої можуть безперервно відстежувати стан здоров'я пацієнтів, виявляючи навіть незначні зміни, що допомагає проводити ранню діагностику та запобігати розвитку захворювань.

Телемедицина відіграє важливу роль у сучасній системі охорони здоров'я, проте її обмежена структура потребує масштабованого підходу, здатного ефективніше реагувати на мультифакторні проблеми здоров'я. IoMT, у поєднанні з периферійними технологіями (Edge Computing), пропонує більш досконале та узагальнене рішення, яке може одночасно моніторити різні аспекти стану здоров'я пацієнта, тим самим знижуючи навантаження на систему охорони здоров'я.

Швидкий розвиток мікроелектромеханічних систем (MEMS) і міжмашинних комунікацій (M2M) призвів до появи нових концепцій Інтернету речей (IoT), застосовних до багатьох мережевих додатків. IoMT для систем охорони здоров'я є одним із застосувань, які з'явилися з появою IoT. IoMT - це нова гілка сімейства медичних IoT-пристроїв, які дозволяють здійснювати віддалений моніторинг хронічно хворих пацієнтів. Таким чином, можна

отримати швидкі результати діагностики, які можуть врятувати життя пацієнта в екстрених випадках [12].

Згідно з [13], IoMTs можна розділити на дві категорії:

1. Імплантовані медичні вироби (IMB): Пристрій, який імплантується в тіло людини для підтримки або заміни біологічного органу, визначається як ВМП. Кардіостимулятори, кохлеарні імплантати, глибокі стимулятори мозку тощо є одними з найбільш поширених IMB. Через своє розташування в тілі людини, IMB здебільшого розробляються дуже маленькими і мають дуже довгий час автономної роботи від батареї. Тому споживання енергії є важливим фактором, якщо передбачається, що IMB буде знаходитися в тілі людини протягом тривалого часу [14].

2. Переносний Інтернет речей (WIoT): Це пристрої, які відстежують біометричні дані людини, коли вона виконує свої повсякденні справи, наприклад, смарт-годинники, монітори електрокардіограми (ЕКГ) та монітори артеріального тиску. Смарт-годинники є однією з найпопулярніших некритичних форм моніторингу частоти серцевих скорочень і руху. Однак ці пристрої обмежені неточністю датчиків і низьким часом автономної роботи; отже, вони навряд чи зможуть замінити IMB для моніторингу критичних станів [15].

Багато дослідників вивчали та пропонували різні архітектури Інтернету речей, такі як «машина-машина» (M2M), «Інтернет речей», автономна архітектура та архітектура на основі датчиків. Архітектура M2M є найбільш широко використовуваною архітектурою IoT, а IoMT є найбільш поширеною в галузі медичних IoT-пристроїв [16]. Сучасні системи IoMT можна розділити на чотири рівні, як показано на рис. 1.1. Сенсорний рівень починається зі збору біометричних даних датчиками IMT, потім дані передаються через фізичний рівень зв'язку на хост-шлюз, який виконує деяку попередню обробку даних датчиків і просту аналітику. Оброблені дані датчиків потім передаються на мережевий рівень через Інтернет. Мережевий рівень відповідає за зберігання, аналіз і безпечний доступ. Нарешті, рівень візуалізації - це місце, де всі дані аналізуються лікарем. Пацієнт також може візуалізувати стан свого здоров'я

через цей рівень. Це краще, ніж постійно носити різні набори рентгенологічних знімків і аналізів крові від одного лікаря до іншого.

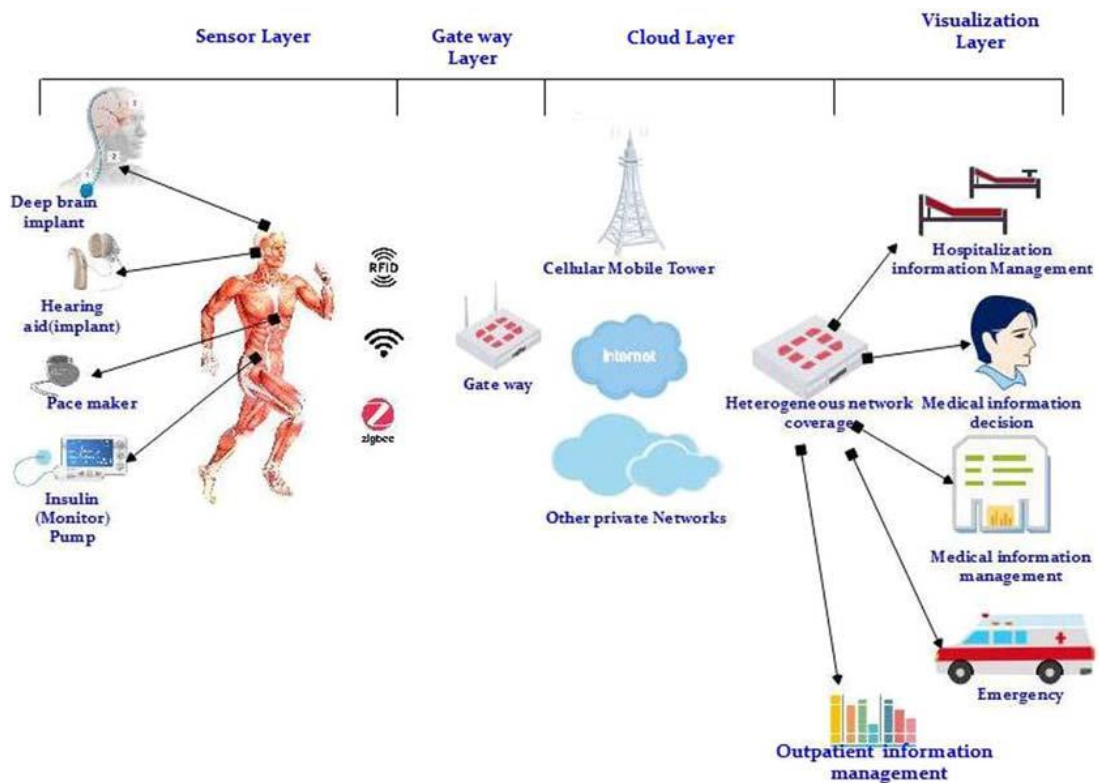


Рисунок 1.1 – Архітектура систем IoMT

Більшість IoMT мають однакову архітектуру, як показано на рис. 1.1 [17].

Сенсорний рівень складається з натільних пристроїв і невеликих імплантованих датчиків, які збирають дані про стан здоров'я пацієнта. Біометричні дані передаються на наступний рівень за допомогою бездротових технологій, таких як Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth тощо [18].

Через малий форм-фактор IoMTs обробка та зберігання даних неможлива, тому дані передаються необробленими на шлюзовий рівень. Цей рівень складається з пристроїв, які в цілому є більш потужними, ніж датчики IoMT, таких як смартфон або смарт-годинник пацієнта, спеціальні точки доступу (ТД) і мікроконтролери. Ці пристрої також можуть служити в якості периферійних вузлів в периферійних обчисленнях. Ці пристрої можуть виконувати деякі легкі в обчислювальному плані операції попередньої обробки, такі як зберігання даних, і просту обробку з використанням машинного навчання (ML) або

глибокого навчання (DL), щоб отримати уявлення про приховані шаблони даних, а також діагностувати і попереджати про критичні стани здоров'я, як показано на рис. 1.2 [19]. Після цього дані передаються в хмару через Інтернет для інтенсивної обробки та класифікації [20].

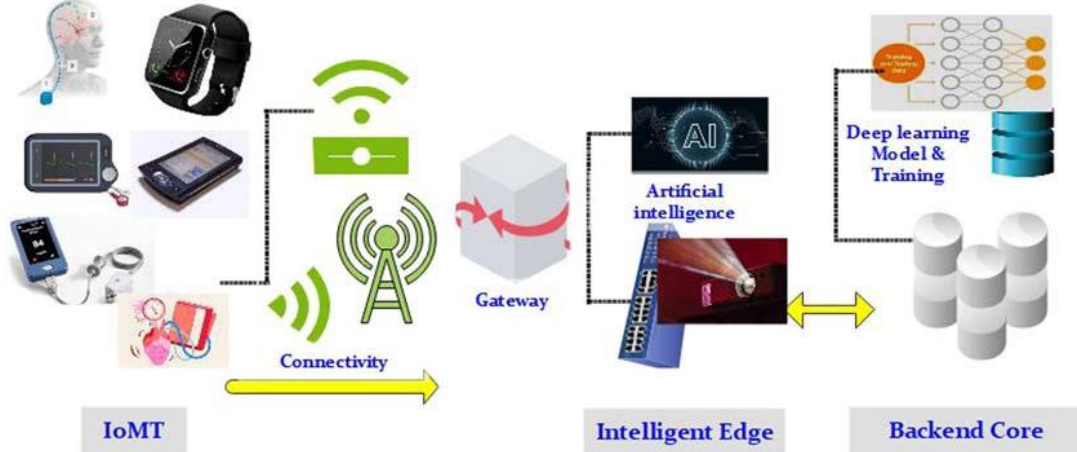


Рисунок 1.2 – Граничні обчислення інтегровані зі штучним інтелектом.

На мережевому/хмарному рівні здійснюється складне зберігання даних, аналіз великих обсягів даних та безпечний доступ до них. Для аналізу поточних даних з датчиків IoMT використовуються вдосконалені ML та DL.

Аналіз виявляє будь-які зміни в стані здоров'я пацієнта і представляє їх лікарю або пацієнту для негайних дій. Однак хмарних обчислень недостатньо для копіювання великих обсягів завантажених у хмару медичних даних, оскільки це призводить до величезних затримок через вузькі місця в пропускну здатності. Така ситуація є небажаною для моніторингу охорони здоров'я, де візуалізація та затримка повинні відповідати вимогам реального часу, щоб запобігти затримкам у реагуванні на невідкладні медичні випадки.

Крім того, передача даних призводить до високого споживання енергії. Кілька робіт вивчали рішення для розширення можливостей хмарного IoMT. Автори в [21] досліджують вплив переміщення обчислень ближче до сенсорного рівня шляхом впровадження периферійних обчислень на рівні шлюзу, як показано на рис. 1.2. Крім того, [22] визначає безпеку даних про здоров'я

пацієнтів як дуже важливу, автори обговорюють можливі рішення кіберфізичної спільноти для вирішення цієї проблеми.

Також [23] пропонують технологію Blockchain, як показано на рис. 1.3, як потенційне рішення для захисту даних пацієнтів у хмарі. У роботі [24] автори пропонують захищати медичні зображення за допомогою методів шифрування та дешифрування на основі DL. Крім того, в [25] автори пропонують використовувати нейронні мережі для прогнозування та усунення зловмисних і скомпрометованих пристроїв у двосторонньому спілкуванні між пацієнтом і лікарем.

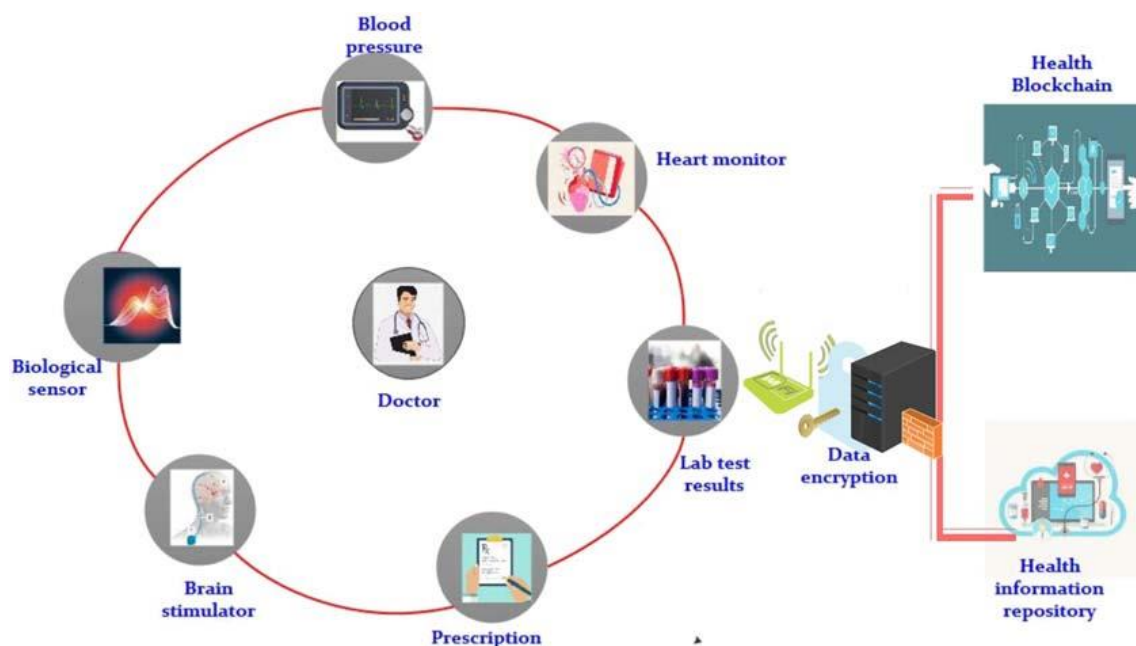


Рисунок 1.3 – Інформаційний захист мережі IoMT на основі блокчейну

На рівні візуалізації, також відомому як прикладний рівень, лікар і пацієнт отримують доступ до даних для відстеження стану свого здоров'я. Лікар може надавати рекомендації та завантажувати дії, які повинен виконати пацієнт, виходячи зі стану його здоров'я. Ці дії можуть включати призначення ліків або направлення до інших спеціалізованих лікарів, якщо захворювання потребує спеціалізованої допомоги [26].

1.2 Система інтернету речей на основі NOMA

Однією з найбільш перспективних технологій для підвищення масової спектральної ефективності є неортогональний множинний доступ (NOMA), оскільки він може обслуговувати декілька користувачів, що використовують подібні ресурси в один момент часу. На відміну від традиційної технології ортогонального множинного доступу (OMA), яка використовує для зв'язку частоту, час і кодове розділення каналів, NOMA використовує методи множинного доступу з розділенням каналів. NOMA передає накладені сигнали, використовуючи подібні ресурси, такі як частота, час і код, за рахунок різниці коефіцієнтів ефективної потужності кожного користувача [1-5]. NOMA використовує процедуру послідовного придушення завад (SIC) для виявлення вихідного сигналу на приймачі, оскільки передані сигнали накладаються один на одного. Канали з більшим коефіцієнтом підсилення менш схильні до обмеження шуму, тоді як канали з меншим коефіцієнтом підсилення більш схильні до обмеження шуму. Дослідження NOMA показали, що скорочення затримки передачі дозволить досягти масового підключення користувачів, а час очікування користувачів може скоротитися [2-6]. Автори в [7] провели оглядовий аналіз NOMA в мережах 5G з метою дослідження можливостей, тактики розподілу потужності, справедливості для користувачів і систем сполучення між користувачами. Автори в [8] обговорили методи розподілу ресурсів для NOMA низхідної лінії зв'язку з точки зору оптимізації розподілу потужності, низької складності та розподілу ресурсів безпеки. Автори в [9] використовують масивні багатоканальні антени з множинним входом і виходом (MIMO) і методи зв'язку, щоб замінити традиційні антени NOMA, які є масовими за кількістю. У той час як автори в [27] розглянули перевірку ефективності секретності NOMA при використанні однієї антени і декількох антен, було показано, що вона працює краще в порівнянні з традиційною схемою OMA. Автори в [10] обговорюють систему NOMA низхідної лінії MIMO з метою вивчення розподілу продуктивності ресурсів, а також розробляють схему

NOMA, яка може досягти приблизної оптимальної сумарної продуктивності як в ідеальному, так і в недосконалому сценарії інформації про стан каналу (CSI).

Різні властивості систем зв'язку 5G вимагають вивчення систем NOMA за наявності зв'язку «пристрій-пристрій» (D2D), в якому законним користувачам дозволено спілкуватися безпосередньо без необхідності використання базової станції (БС) [3-5]. Автори в [28] пояснили, що користувачі D2D можуть повторно використовувати смугу спектра, незважаючи на взаємні перешкоди між стільниковим і D2D зв'язком. Поєднання D2D зі стільниковими системами призведе до створення перешкод для каналів мовлення. Автори в [7] зазначають, що продуктивність SIC в цьому сценарії повинна бути вивчена більш детально, оскільки схеми досягнення пропускної здатності не є досконало відомими. Автори в [8] вивчали використання D2D в комунікаціях NOMA, де D2D-зв'язок використовується з протоколом NOMA для передачі даних.

На основі нещодавнього дослідження [9] представлено систему охорони здоров'я на основі Інтернету речей, яка містить декілька медичних пристроїв, реле та точки доступу. Ми розглядаємо аналітичний вираз ймовірності відмов та ергодичної пропускної здатності для висхідної лінії зв'язку (UL) системи IoT.

Розглянемо UL NOMA, яка складається з точки доступу (A) та двох IoT-пристроїв $D_i (i \in \{1, 2\})$ для надання медичної допомоги, як показано на рис. 1.4. Крім того, ми припускаємо, що канал між D_i і A є h_i і слідує каналу Накагамі-м із завмираннями, а d_i - це відстань між D_i і A [29]. Крім того, для виявлення сигналу доступна ідеальна інформація про стан каналу (CSI).

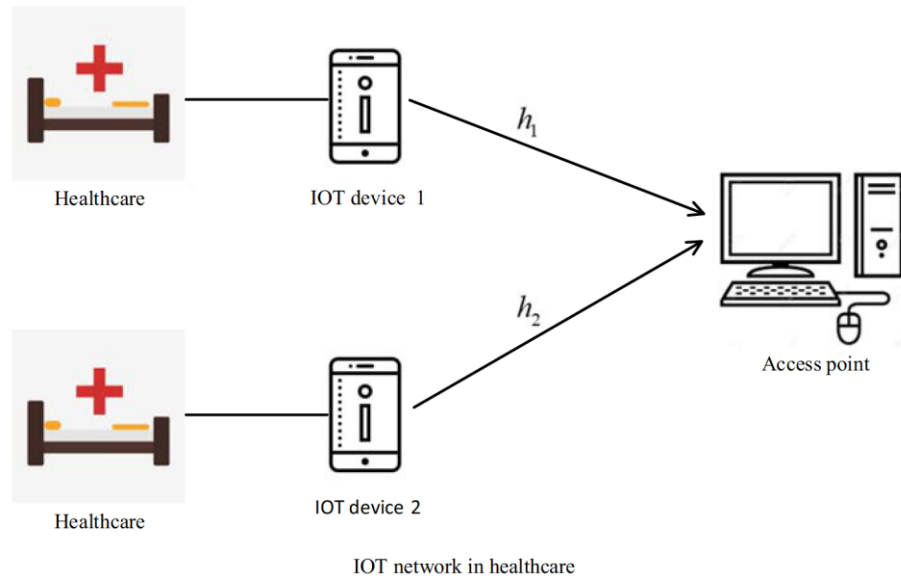


Рисунок 1.4 – Модель системи IoMT

1.3 Висновки до розділу 1

Проведено дослідження впливу якості каналів зв'язку на продуктивність системи IoT в охороні здоров'я при висхідній лінії зв'язку (UL, uplink). Оцінка продуктивності проводилася за допомогою двох ключових метрик:

1. Ймовірність виходу з ладу (outage probability) визначає, наскільки ймовірним є те, що сигнал не буде правильно переданий через канал внаслідок низької якості зв'язку або перешкод. Чим нижча ймовірність виходу з ладу, тим надійніший зв'язок у системі IoT.

Ергодична пропускна здатність (ergodic capacity) визначає середню пропускну здатність каналу за наявності випадкових змін у якості зв'язку. Вона описує середню швидкість передачі даних у системі за довгий час, враховуючи флуктуації каналів.

Математичні вирази, що описують дві основні метрики ефективності системи — ймовірність виходу з ладу та ергодичну пропускну здатність дозволяють проводити точні розрахунки продуктивності системи IoT в охороні здоров'я при різних параметрах каналів та архітектури мережі.

Показано, що покращення якості каналів призводить до значного зниження ймовірності виходу з ладу та підвищення ергодичної пропускну здатності. Це

підтверджує, що надійніші канали можуть значно підвищити ефективність систем IoT у медичних застосуваннях, що є критично важливим для збереження здоров'я пацієнтів, де втрата даних або затримки можуть мати серйозні наслідки.

Крім оцінки метрик продуктивності, в роботі були надані рекомендації щодо використання системи NOMA (Non-Orthogonal Multiple Access) для висхідної лінії IoT-зв'язку в охороні здоров'я. NOMA — це сучасна технологія, яка дозволяє декільком користувачам одночасно використовувати один і той самий канал, що підвищує ефективність використання спектра і, відповідно, загальну продуктивність системи.

Використання NOMA може значно покращити продуктивність IoT-систем при висхідній лінії зв'язку, оскільки ця технологія дозволяє передавати дані декількох пристроїв одночасно без втрат якості зв'язку.

Системи IoT, особливо в сфері охорони здоров'я, вимагають надійних і високошвидкісних каналів зв'язку, і дослідження показало, що поліпшення якості каналів сприяє значному підвищенню їхньої ефективності.

Отримані результати та рекомендації є корисними для розробників IoT-систем у сфері охорони здоров'я, оскільки вони вказують на шляхи підвищення ефективності за рахунок використання сучасних технологій зв'язку, таких як NOMA, та оптимізації каналів передачі даних.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ 5G

2.1 Архітектура гетерогенної мережі 5G

Гетерогенні мережі (HetNet) представляють собою складний набір інфраструктур, які дозволяють пристроям взаємодіяти через різні технології, протоколи та стандарти. Ця гетерогенність, з одного боку, створює значні виклики для проектування, розгортання та обслуговування мереж, але з іншого боку, вона є ключем до інтеграції різних середовищ передачі даних і забезпечення універсальної сумісності [30].

Основні аспекти HetNet:

1. Фізичний і каналний рівень (PHY-MAC): Гетерогенність починається з відмінностей у фізичному рівні (PHY) і керуванні доступом до середовища (MAC). Наприклад, Zigbee (IEEE 802.15.4) добре підходить для WPAN і додатків сенсорних мереж, тоді як Wi-Fi (IEEE 802.11) краще працює в локальних мережах (WLAN). Ці відмінності створюють потребу в спеціальних механізмах для конвергенції.

2. Роль протоколів PMDP та PLCP: Протоколи фізичної залежності від середовища (PMDP) та протоколи конвергенції фізичного рівня (PLCP) вирішують завдання взаємодії між різними специфікаціями фізичного рівня, забезпечуючи узгодженість в гетерогенних середовищах.

3. IEEE 802.1 LLC: Логічний контроль з'єднання (LLC) дозволяє забезпечити сумісність між різними технологіями нижчого рівня, допомагаючи інтегрувати MAC-рівень із мережевим рівнем (IP). Це критично для ефективного функціонування гетерогенних мереж.

4. Еволюція мобільних мереж: Мобільні стільникові мережі (MCN), наприклад, LTE (4G), демонструють перехід від комутації каналів у 3G до комутації пакетів. Це дозволяє ефективніше інтегрувати мобільний зв'язок у гетерогенні інфраструктури.

5. Гетерогенність в мережах не є простим вибором, а часто необхідністю для адаптації до різних стандартів і вимог середовищ доступу. Вона забезпечує можливість розгортання мереж із широким спектром специфічних характеристик і підвищує гнучкість інфраструктури. Розвиток HetNet дозволяє сучасним мережам залишатися ефективними та адаптованими до зростаючої різноманітності додатків і технологій. Проте це потребує значних зусиль у сфері стандартизації, розробки протоколів та інженерії для забезпечення безперебійної роботи таких мереж. Сучасний стандарт мобільного зв'язку п'ятого покоління (5G-NR) є важливим кроком уперед у розвитку гетерогенних мереж (HetNet). Він надає нові можливості завдяки своїй архітектурі, яка враховує сумісність із різними мережевими технологіями та підтримує передові методи інтеграції [31].

Основні аспекти 5G-NR у контексті HetNet:

1. 5G-NR є мережею передачі даних із комутацією пакетів, що усуває обмеження попередніх поколінь. Це дозволяє інтегрувати різноманітні мережі доступу (ANT), такі як WPAN, WLAN і WAN, забезпечуючи їхню взаємодію через граничні шлюзи.

2. C-RAN дозволяє централізоване управління радіоресурсами, підвищуючи ефективність роботи HetNet. Це забезпечує більш гнучке управління ресурсами і зниження витрат на інфраструктуру.

3. Віртуалізація мережеских функцій (NFV): Віртуалізація дозволяє розгорнути мережескі функції у віртуальному середовищі, що забезпечує масштабованість та адаптивність. Програмно-визначена мережа (SDN) забезпечує динамічне управління потоками даних і спрощує інтеграцію різних технологій.

4. Граничні шлюзи є ключовими елементами для інтеграції та забезпечення сумісності між різноманітними мережами. Основні стратегії, які використовуються для цього, включають:

- Подвійний стек: Пристрій підтримує обидва стеки протоколів підключених мереж, що дозволяє обробляти PDU обох кластерів.

- Трансляція заголовків: GW змінює заголовки PDU однієї мережі відповідно до вимог іншої, але ця стратегія вимагає значних обчислювальних ресурсів.

- Тунелювання: Інкапсуляція кадрів однієї мережі в PDU іншої мережі, що є ефективним для багатошарових середовищ.

5. Поділ мережі на автономні системи (AS) дозволяє ефективно управляти різними сегментами мережі. Граничні вузли між кластерами виконують роль шлюзів, які забезпечують функціональну сумісність і підтримують оперативну модель зв'язку. Незважаючи на технологічний прогрес, забезпечення сумісності між різними протоколами та архітектурами залишається викликом. Для успішної інтеграції HetNet потрібні значні обчислювальні ресурси, стандартизація та оптимізація механізмів управління. 5G-NR та гетерогенні мережі представляють нову еру в інфраструктурі передачі даних. Вони забезпечують масштабованість, адаптивність і високу ефективність, але потребують продуманого підходу до інтеграції та управління. Інноваційні рішення, такі як SDN, NFV і стратегії шлюзів, відіграють ключову роль у забезпеченні функціональності цих систем [32].

Розумна система охорони здоров'я як приклад використання гетерогенних мереж (HetNet) і технологій 5G демонструє, як різноманітні мережі можуть забезпечувати надійний зв'язок і обробку даних у критично важливих додатках, таких як Інтернет речей в охороні здоров'я (IoHT).

Основні аспекти IoHT у HetNet:

1. Інтеграція бездротових мереж персонального доступу (WPAN):

- WBAN (Wireless Body Area Network): Малопотужні сенсорні вузли, оснащені біомедичними датчиками, використовують WPAN технології, такі як Bluetooth Low Energy (BLE) або Zigbee (IEEE 802.15.4), для передачі даних. Ці вузли мають обмежені обчислювальні ресурси, тому виконують лише базову попередню обробку сигналу перед передачею.

- WPAN підходить для низькошвидкісних і енергоефективних сценаріїв, необхідних для IoHT.

2. 5G HetNet і H-CRAN:

IoT інтегрується в хмарно-гетерогенну мережу радіодоступу (H-CRAN), що базується на 5G.

- SDN (Software-Defined Networking): Забезпечує динамічне управління потоком даних і ефективне використання мережевих ресурсів.

- NFV (Network Function Virtualization): Дозволяє розгорнути віртуальні мережеві функції для аналізу і маршрутизації даних сенсорних вузлів.

3. Агрегація даних: У середовищі IoT виникає потреба в об'єднанні даних від численних сенсорних вузлів (mMTC – massive Machine Type Communications):

- Сенсорні вузли збирають дані (наприклад, про частоту серцевих скорочень, рівень кисню в крові тощо) і передають їх до вузлів агрегації.

- Вузли агрегації: Об'єднують трафік з декількох сенсорів і передають його до централізованого сервера або хмарного сховища.

4. Хмарні сервіси і аналітика:

Централізована хмара отримує дані для:

- Зберігання: Великі обсяги медичних даних можуть зберігатися для довгострокового аналізу.

- Обробки: Використання аналітичних інструментів, машинного навчання або штучного інтелекту (AI) для прогнозування стану пацієнтів або виявлення аномалій.

5. Вимоги до гетерогенних мереж:

- Забезпечення безперервності зв'язку між різними мережевими технологіями, такими як WPAN, WLAN і WAN, через шлюзові пристрої.

- Використання методів тунелювання, трансляції заголовків і подвійного стеку для підтримки сумісності.

Приклад використання IoT: Уявімо, що пацієнт із хронічним захворюванням використовує носимі пристрої, що відстежують життєво важливі показники. Дані з цих пристроїв передаються через BLE до вузла агрегації. Далі вузол, використовуючи mMTC у 5G HetNet, пересилає зібрані дані до хмарного сервера. У хмарі аналізуються тренди, і в разі виявлення аномалії (наприклад, раптового підвищення серцевого ритму) лікар отримує сповіщення. IoT у

HetNet створює можливості для реалізації розумних систем охорони здоров'я, які забезпечують високий рівень персоналізації та точності. Використання технологій 5G, SDN та NFV дозволяє ефективно об'єднувати і обробляти дані з різних сенсорних пристроїв, підвищуючи якість медичних послуг [33].

На рисунку 2.1 зображено типову архітектуру гетерогенної мережі (HetNet), що демонструє взаємодію між різними технологіями мереж доступу, такими як 5G, Wi-Fi, WSN/Zigbee, супутникові мережі та оптичні системи (SONET/SDN).

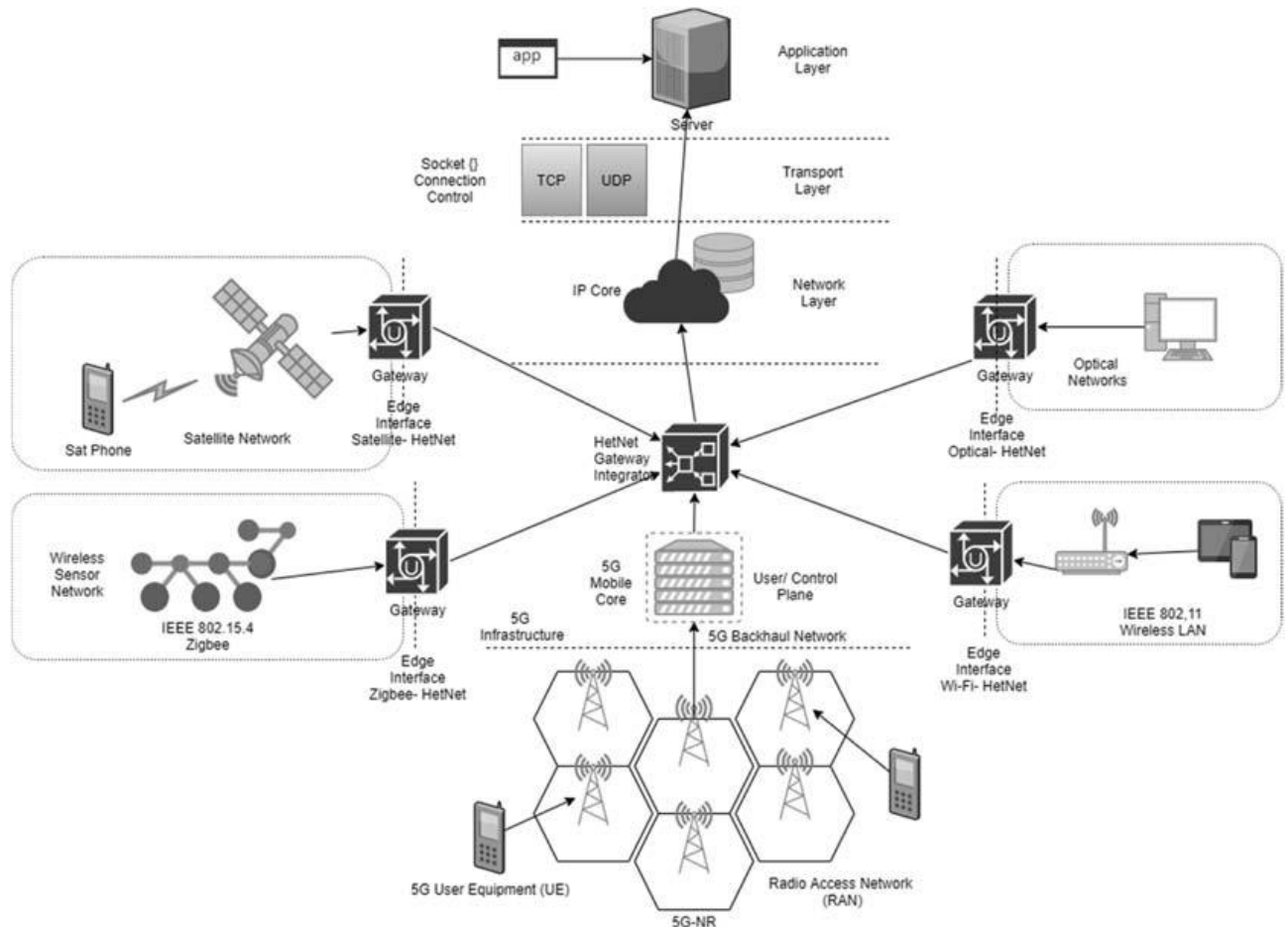


Рисунок 2.1 – Архітектура сегменту мережі HetNet на основі 5G

Основна мета HetNet — забезпечення безшовної інтеграції різнорідних мережевих кластерів для надання високоякісних послуг. Ключові компоненти HetNet. Мережеві кластери:

- 5G забезпечує високошвидкісний доступ і підтримує різноманітні сценарії використання, зокрема масові IoT (mMTC), наднадійний зв'язок з низькою затримкою (URLLC) та мобільний широкосмуговий доступ (eMBB).

- Wi-Fi (IEEE 802.11) підходить для локальних мереж з високою пропускну здатністю.

- WSN/Zigbee (IEEE 802.15.4) використовується для енергоефективного збору даних від сенсорів.

- Супутникові мережі надають глобальне покриття, зокрема для віддалених або важкодоступних регіонів.

- Оптичні мережі (SONET/SDN) забезпечують високу пропускну здатність для магістральних мереж.

Інтеграція кластерів через шлюзові пристрої:

- Шлюзові пристрої HetNet використовуються для взаємодії між різними мережевими кластерами. Залежно від вимог, шлюз може використовувати:

- Подвійний стек для підтримки протоколів обох кластерів.
- Трансляцію заголовків для забезпечення сумісності PDU.
- Тунелювання для інкапсуляції та передачі кадрів між різними мережами.

Інтегратор HetNet відповідає за конвергенцію мереж доступу та передачу даних до ядра IP, забезпечує уніфікацію адресації на транспортному рівні (IP-адреса:порт) для зручного управління підключеннями.

Транспортний і прикладний рівні:

- на транспортному рівні використовуються TCP для надійної передачі з підтвердженням і UDP для передачі без встановлення з'єднання.

- Прикладний рівень реалізується через API для підтримки протоколів:

- Загального призначення: HTTP, FTP, Telnet, DNS.
- Специфічних для IoT: MQTT і CoAP для енергоефективного обміну даними в IoT-системах. Основні переваги HetNet:

- Можливість інтеграції різнорідних технологій для задоволення специфічних потреб.

- Підтримка численних пристроїв і датчиків в межах різних кластерів.

- Легкість адаптації до різних сценаріїв розгортання.

Архітектура HetNet у контексті 5G та суміжних технологій забезпечує ефективну і надійну взаємодію між різними мережами, дозволяючи об'єднувати їх у єдину інфраструктуру для надання сучасних цифрових послуг. Це відкриває широкі можливості для реалізації інноваційних рішень, зокрема в галузі IoT, "розумних" міст та індустрії 4.0 [34].

Архітектура мережі 5G демонструє високу гнучкість і ефективність завдяки інтеграції сучасних технологій, які дозволяють підтримувати гетерогенний радіозв'язок. Наведемо основні аспекти цієї архітектури:

1. Гетерогенний радіозв'язок через H-CRAN передбачає використання фреймворку Heterogeneous Cloud Radio Access Network (H-CRAN) дозволяє безперебійно інтегрувати різні технології радіодоступу (Wi-Fi, LTE, 5G-NR тощо) і ефективно управляти ними.

2. Розділення планів користувача та управління: План користувача обробляє великий обсяг даних за допомогою віддалених радіоголовок (RRH), які використовують гнучке транспортування через SDN. План управління функціонує окремо, забезпечуючи контрольні сигнали через макробазові станції (MBS), що охоплюють більші радіуси дії.

3. Координована багатоточкова передача (CoMP) забезпечує ефективну взаємодію між площинами, оптимізуючи передачу та прийом сигналів.

4. Використання SDN та NFV: Програмно-визначена мережа (SDN) полегшує управління радіоресурсами та інтеграцію різних базових технологій. Віртуалізація мережевих функцій (NFV) надає можливість динамічного управління ресурсами на вимогу.

5. Хмарні обчислення в C-RAN: Управління обчислювальними та радіоресурсами відбувається через моделі SaaS і PaaS, забезпечуючи масштабованість та гнучкість.

6. Структура eMBB: Віддалені радіоголовки (RRH) забезпечують високошвидкісну передачу даних користувацьким пристроям (UE), що відповідає вимогам Enhanced Mobile Broadband (eMBB).

7. Інтеграція мультистандартного обладнання: RRH можуть належати до різних технологій базового рівня, але управляються через централізовану платформу Cloud-RAN, що базується на SDN. Запропонований підхід дозволяє забезпечувати високу швидкість, масштабованість, зниження затримок та ефективне використання ресурсів. Завдяки розділенню площин та централізованому управлінню, мережа 5G може адаптуватися до різних сценаріїв і потреб користувачів [35].

Архітектура 5G із використанням гетерогенної хмарно-ретрансляційної мережі (H-CRAN) включає кілька ключових компонентів і механізмів, що забезпечують її ефективність. Основні аспекти включають:

1. Пристрої шлюзу (Gateway, GW) відіграють центральну роль у забезпеченні безперебійної взаємодії між різними кластерами H-CRAN. Шлюзи виконують функції маршрутизації та обробки трафіку, підтримуючи високу продуктивність мережі.

2. Software Defined RAN (SD-RAN) дозволяє управляти розподілом ресурсів на вимогу, враховуючи мінливі умови та специфічні потреби користувачів. Вона забезпечує гнучке налаштування радіоресурсів у реальному часі.

3. Управління трафіком на основі QoS: Трафік форматується відповідно до специфічних вимог до якості обслуговування (Quality of Service, QoS). Це досягається завдяки використанню протоколів OpenFlow і SNMP у площині "Користувач/Дані". Такий підхід гарантує, що кожен тип трафіку отримує необхідний пріоритет і ресурси.

4. В управлінні цією площиною бере участь спеціалізований мережевий контролер (Network Controller, NC). Він оснащений інструментами для моніторингу, аналізу та налаштування мережі, забезпечуючи високу точність і швидкість реагування на зміни.

5. Функціональні компоненти:

- Віддалені радіоголовки (RRH), інтегровані у хмару через SDN.
- Макробазові станції (MBS), що надають сигнали управління на великі відстані.

- Централізовані базові блоки (BBU), які обробляють сигнали та інтегрують ресурси через хмарні платформи. Архітектура забезпечує високу масштабованість і гнучкість мережі. Інтеграція компонентів, таких як SD-RAN і QoS, робить можливим ефективне управління ресурсами та підтримання вимог користувачів навіть у сценаріях високого навантаження [36].

На схемі (рис. 2.2) відображено ці елементи, їх взаємодію та загальну структуру H-CRAN у контексті 5G [37].

Архітектура 5G на основі H-CRAN пропонує інноваційні рішення для управління ресурсами, збільшення пропускної здатності, зниження перешкод та покращення спектральної і енергетичної ефективності. Нижче виділено ключові аспекти [38]:

1. Гетерогенні HetNet із ультрамалими комірками:

- Використання Pico/Femto-комірок забезпечує обробку даних у площині користувача через RRH із високою пропускною здатністю для невеликих зон покриття.

- RRH з'єднані з пулом BBU через фронт-холл для централізованої обробки даних.

- Близькість до UE (вузли малої потужності, LPN) сприяє зниженню затримок і підвищенню пропускної здатності.

2. Централізована обробка сигналів через BBU:

- Спільна обробка та статистичне мультиплексування дозволяють зменшувати перешкоди.

- Розподіл ресурсів здійснюється на основі запитів через хмарну інфраструктуру.

3. Розділення площин даних і управління:

- RRH (площина даних) обробляють великий обсяг трафіку.
- MBS (площина управління) керують сигналами з низькою швидкістю передачі для мобільності та управління ресурсами.

- CoMP (координована багатоточкова передача) зменшує перешкоди між комірками.

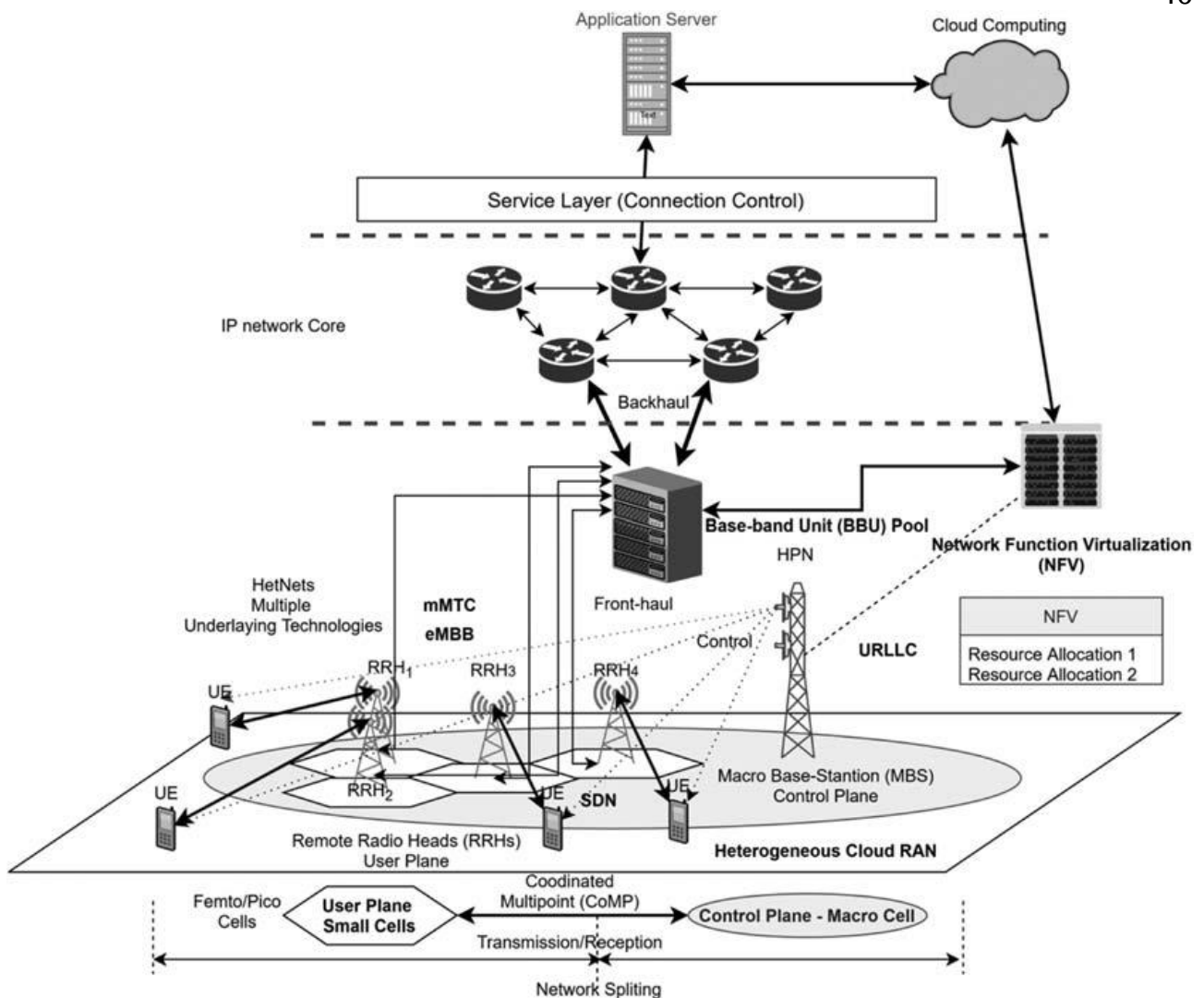


Рисунок 2.2 – Гетерогенна мережева архітектура 5G на основі Cloud-RAN (H-CRAN)

4. Node-C: Хмарний центр обчислень:

- Вузол об'єднує комунікаційні сутності (MBS, мікро, піко базові станції).
- Підтримує масштабовані обчислення для PHY, MAC та функцій верхнього рівня.
- Покращує ефективність порівняно з архітектурами попередніх поколінь (3GPP).

5. Програмно-визначені мережі (SDN) і NFV:

- Управління ресурсами на основі SDN дозволяє адаптивно налаштовувати мережу.
- NFV забезпечує віртуалізацію функцій управління та обробки.

6. Енергетична та спектральна ефективність:

- HetNet дозволяє в 10 разів покращити спектральну ефективність (SE) та у 25 разів підвищити пропускну здатність порівняно з 4G/LTE.

7. Самоорганізація і надійність:

- Функції самооптимізації, самоконфігурації та самовідновлення підвищують надійність мережі.

- Надщільний зв'язок машинного типу (mMTC) забезпечує підключення до великої кількості пристроїв [39].

Роль ключових компонентів:

- RRH забезпечують передачу даних з високою швидкістю для невеликих зон покриття.

- BBU виконують централізовану обробку сигналів, підтримуючи зниження витрат.

- Node-C інтегрує обчислювальні ресурси для гнучкого управління, використовуючи SDN і NFV.

- MBS фокусуються на управлінні сигналами та координації комірок.

Переваги H-CRAN на основі SDN-NFV:

1. Використання віртуалізації ресурсів знижує витрати на обладнання.
2. Кооперативна обробка сигналів та управління радіоресурсами покращують продуктивність.
3. Моделі управління на основі запитів адаптуються до різних умов навантаження.
4. Інтеграція IP-мереж через SDN та Node-C сприяє створенню ефективної та динамічної інфраструктури.

На рисунку 2.3 відображено структуру NFV, яка використовується в H-CRAN для мереж 5G HetNet, з акцентом на управління ресурсами і віртуалізацію мережевих функцій [40].

Ця архітектура забезпечує високу продуктивність, адаптивність та енергоефективність, роблячи H-CRAN життєздатним рішенням для майбутнього розвитку мереж 5G HetNet.

Фреймворк NFV в H-CRAN для 5G HetNet є основним компонентом, який забезпечує ефективне управління ресурсами, віртуалізацію функцій і гнучкість мережі. Нижче наведемо детальний опис чотирьох функціональних шарів цього фреймворку [41].

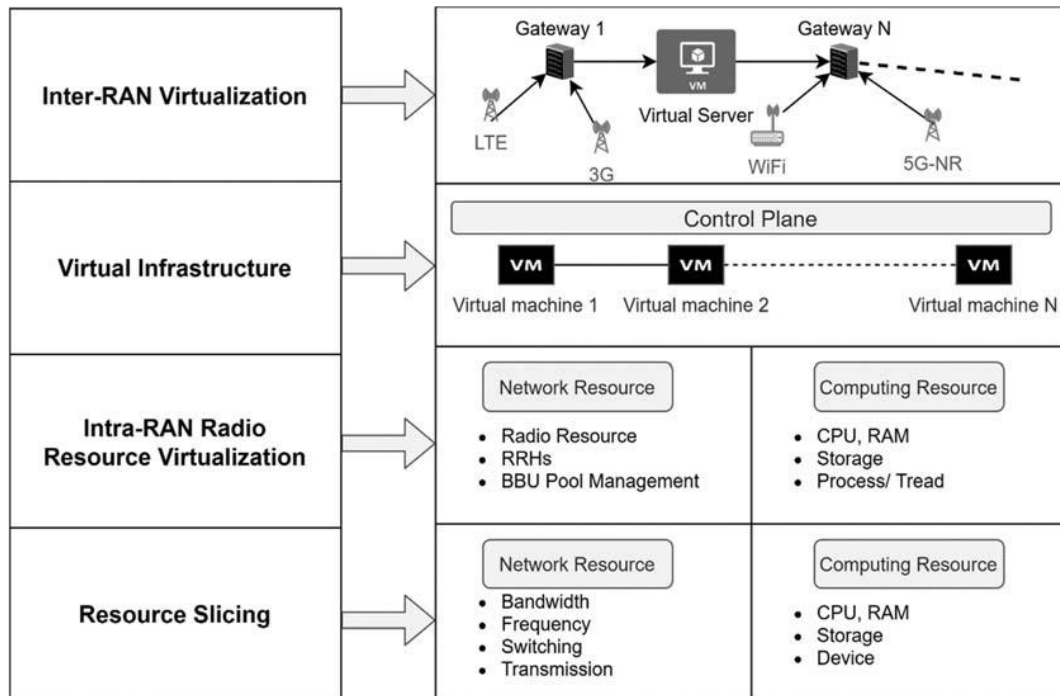


Рисунок 2.3 – Структура керування ресурсами і віртуалізацію в мережах 5G HetNet на основі H-CRAN

Віртуалізація міжрегіональної мережі забезпечує зв'язок між різними сегментами HetNet, включаючи технології 3G, LTE, Wi-Fi, та 5G-NR:

- Шлюзові пристрої відіграють ключову роль у забезпеченні безшовної інтеграції між цими мережами.

- Віртуальні сервери виконують функції NFV для підтримки взаємодії між гетерогенними сегментами. Така віртуалізація дозволяє створювати мережі, які гнучко реагують на змінні вимоги до трафіку і QoS.

На рівні віртуальної інфраструктури використовується підхід хмарних обчислень із застосуванням Node-C для підтримки масштабованої та динамічної інфраструктури:

- Віртуальні машини (ВМ) забезпечують розгортання мережевих функцій без необхідності фізичних вузлів.

- Площина управління є конвергентною та підтримує централізоване управління, що дозволяє розподіляти функції на вимогу.

- Хмарна інфраструктура сприяє зниженню витрат і забезпечує гнучкість при розгортанні нових функцій.

Рівень віртуалізації радіоресурсів всередині мережі відповідає за управління радіоресурсами RAN шляхом їхньої віртуалізації:

- Мережеві ресурси включають управління RRH, пулом BBU та радіоресурсами.

- Обчислювальні ресурси містять процесори, оперативну пам'ять, сховище, процеси та потоки.

- Розподіл радіоресурсів базується на динамічних запитах від різних частин мережі, що забезпечує оптимальне використання доступних ресурсів.

Рівень розподілу ресурсів працює з фізичними ресурсами, які діляться на дві категорії:

1. Мережеві ресурси: Пропускна здатність, частота, канали комутації, передача даних.

2. Обчислювальні ресурси:

- Фізичне обладнання, зокрема процесори, оперативна пам'ять і сховища.

- Забезпечує інфраструктуру для виконання всіх функцій на рівнях вище.

Переваги фреймворку NFV у H-CRAN:

1. Використання віртуальних машин дозволяє масштабувати мережеві функції відповідно до вимог.

2. Node-C забезпечує ефективний контроль над розподілом ресурсів.

3. Віртуалізація замінює потребу в дорогому обладнанні, знижуючи витрати.

4. Динамічний розподіл ресурсів дозволяє знижувати затримки та підвищувати пропускну здатність. Фреймворк NFV у H-CRAN допомагає забезпечити адаптивність мережі, необхідну для складної архітектури 5G HetNet,

використовуючи хмарну інфраструктуру і віртуалізацію для задоволення вимог сучасного мобільного зв'язку [42].

2.2 Методи керування інформаційними ресурсами високошвидкісних мереж 5G

Оптимальний метод управління ресурсами з використанням віртуалізації та забезпеченням QoS в H-CRAN для 5G-HetNet запропоновано в роботі [43]. Автори представили алгоритм відображення QoS, заснований на оптимізації рою частинок (PSO), для мультиплексування з часовим поділом по довжині хвилі (TWDM-PON), що використовується в магістральній мережі 5G-HetNet.

Основною метою дослідження є оптимізація управління ресурсами через покращення QoS. Запропонований механізм віртуалізації мережі та балансування навантаження для 5G-HetNet, заснований на алгоритмі відображення QoS, забезпечує підвищення ефективності роботи H-CRAN та магістральних мереж.

H-CRAN використовує широкомасштабну спільну обробку сигналів та віртуалізацію мережевих функцій, які включають RRH (Remote Radio Heads) та MBS (Macro Base Stations). Проте магістральна частина 5G-HetNet, що складається з пулів BBU (Baseband Unit), виявляється вузьким місцем для розподілу ресурсів. Це зумовлено необхідністю відповідності магістралі високим вимогам H-CRAN, таким як висока пропускна здатність, низька затримка, надійна доступність мережі, оптимізоване енергоспоживання та економічна ефективність.

Запропонований алгоритм вирішує ці проблеми, покращуючи QoS та зменшуючи вузькі місця в магістралі. Продуктивність магістралі, побудованої на основі TWDM-PON, оптимізується завдяки віртуалізації мережі (NV) та стратегії балансування навантаження із застосуванням PSO для QoS-орієнтованого надання послуг (SP). Крім того, технологія кооперативного багатоточкового зв'язку (CoMP) допомагає зменшити завади, що сприяє підвищенню QoS.

Втім, автори звертають увагу на дві практичні проблеми розгортання:

1. Використання декількох постачальників послуг (SP) через одну магістраль, що ускладнює управління ресурсами.

2. Невідповідність у розгортанні черг пріоритетів (PQ), заснованих на QoS, між TWDM-PON (магістраль) та H-CRAN (фронтальна частина мережі).

Для вирішення цих технічних викликів запропонована архітектура управління ресурсами, яка базується на NV та включає два функціональні підходи [44]:

1. Розподіл довжин хвиль з урахуванням балансування навантаження.

2. Алгоритм відображення QoS для усунення невідповідностей QoS між TWDM-PON та H-CRAN.

На рисунку 2.4 представлено архітектуру 5G HetNet, що поєднує TWDM-PON (магістраль) та H-CRAN (фронтальна частина), розроблену для оптимального управління ресурсами [45].

Стандарт 3GPP для мобільного зв'язку 5G забезпечує спеціальну комунікаційну структуру для прямого D2D-зв'язку (Device-to-Device) між терміналами користувача (UE), яка не залежить від базової станції gNodeB (gNB). Ця функція дозволяє здійснювати обмін даними без залучення RRH (Remote Radio Heads) у площині даних та MBS (Macro Base Stations) у площині управління.

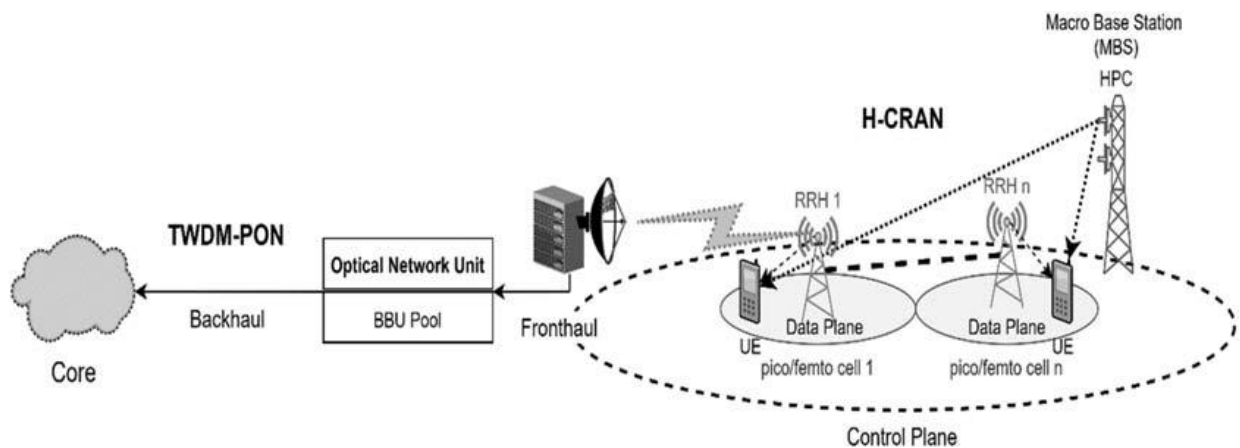


Рисунок 2.4 – Архітектура мережі 5G HetNet на основі H-CRAN та TWDM-PON

D2D-зв'язок, призначений для локального трафіку (тобто обмін даними між UE у межах однієї зони радіопокриття), суттєво знижує навантаження на

прямий та зворотний зв'язок у 5G RAN (Radio Access Network). Особливо це покращує продуктивність мережі в сценаріях масового машинного зв'язку (mMTC), де висока концентрація UE у географічно обмеженій зоні призводить до значного зростання обсягу трафіку. Архітектура 5G здатна підтримувати мільйони UE у зоні радіопокриття завдяки mMTC. Однак це створює значні накладні витрати на розподіл ресурсів в інфраструктурі 5G RAN [46].

Більша частина трафіку mMTC формується через велику кількість невеликих блоків даних, що генеруються мільйонами вбудованих пристроїв із обмеженими ресурсами, зокрема IoT-пристроями та компонентами M2M (Machine-to-Machine) зв'язку. Це висуває складні вимоги до ефективного управління ресурсами. Реалізація D2D-зв'язку дозволяє UE взаємодіяти безпосередньо з іншими локальними пристроями, суттєво зменшуючи навантаження на інфраструктуру 5G RAN. Це сприяє підвищенню загальної якості обслуговування (QoS) у мережі.

На рисунку 2.5 показано функціонування D2D-зв'язку в мережах 5G HetNet. Близько розташовані UE можуть взаємодіяти з сусідніми пристроями через спеціальний радіоканал D2D, не залучаючи інфраструктуру 5G. Лише трафік віддалених вузлів (зовнішній трафік) передається через gNB з використанням традиційної інфраструктури 5G RAN. Таким чином, формується гібридна архітектура зв'язку, яка поєднує D2D-зв'язок (UE-UE) та інфраструктурний зв'язок (UE-gNB).

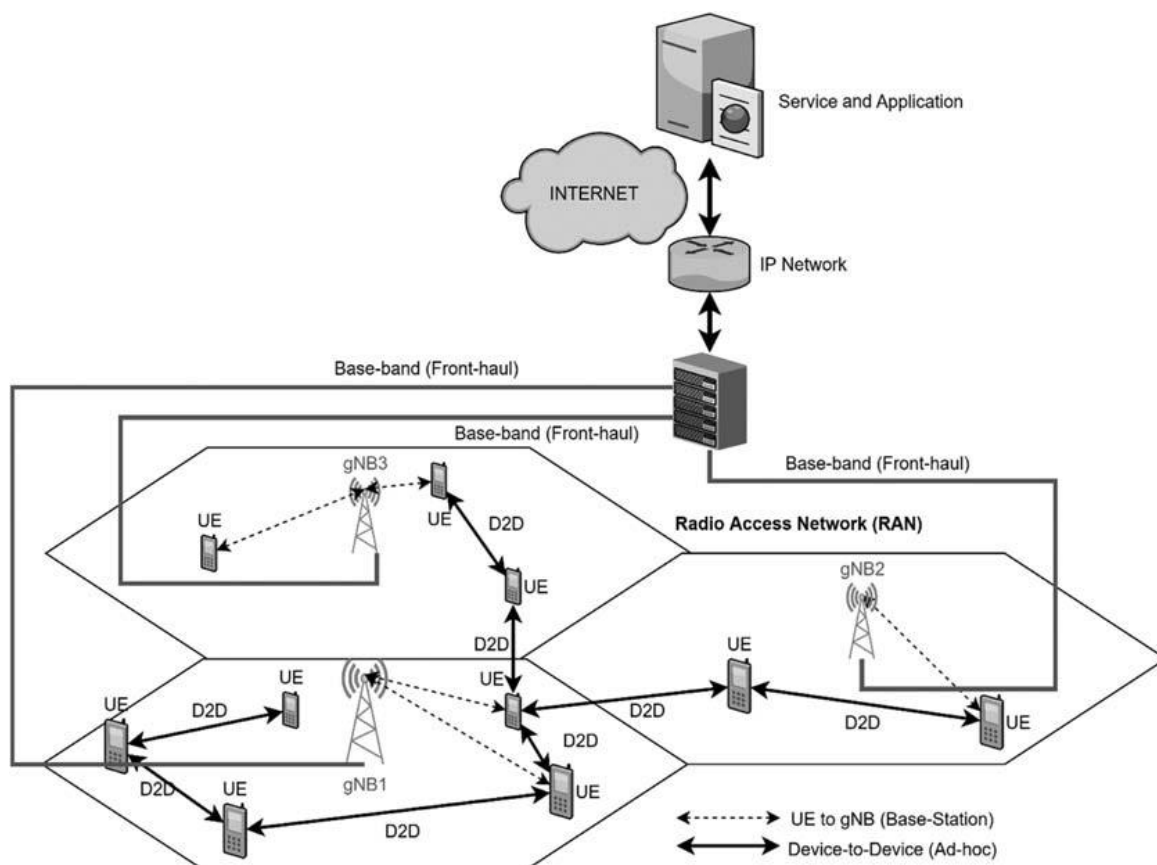


Рисунок 2.5 – Топологія сегменту мережі 5G на основі технології D2D

Механізм роботи з локальним трафіком (обмін даними між користувацькими пристроями в зоні радіозв'язку безпосередньої близькості) у 5G RAN, який здійснюється шляхом прямого з'єднання UE-UE через спеціальний канал D2D, без залучення gNodeB (gNB), суттєво зменшує загальне навантаження на прямий і зворотний зв'язок 5G-NR. Це сприяє зменшенню «вузьких місць» у gNB через велику кількість UE, особливо для сценаріїв mMTC.

Однак розгортання D2D-зв'язку в комірці має низку технічних викликів, зокрема [47]:

1. Кілька бездротових стрибків: складність передачі даних між кількома вузлами.
2. Висока затримка у порівнянні з прямим зв'язком через інфраструктуру.
3. Висока складність управління ресурсами, особливо в гібридних сценаріях, де одночасно функціонують спеціальний D2D-зв'язок (UE-UE) і інфраструктурний зв'язок (UE-gNB).

4. Обчислювальні накладні витрати: значна потреба у потужностях для обробки даних.

5. Послаблення потенційних перешкод: можливість взаємного впливу між двома типами радіоліній (UE-UE для D2D і UE-gNB для інфраструктурного зв'язку). Хоча стандарт 5G-NR пропонує методи формування променя для боротьби з цими перешкодами, вони створюють додаткові обчислювальні витрати для UE.

6. Проблеми безпеки: підвищена вразливість до підслуховування через використання кількох бездротових каналів мовлення без централізованого управління мережею.

Управління ресурсами в 5G HetNet з підтримкою D2D-зв'язку розглянуто в роботі [48]. Автори запропонували захищену архітектуру зв'язку з оптимальною стратегією управління ресурсами для D2D-зв'язку в мережах 5G HetNet і поза їх межами. Ця система враховує два типи сценаріїв зв'язку:

1. Зв'язок на основі інфраструктури для стільникових користувачів (CUs).
2. Спеціальний D2D-зв'язок для користувачів D2D (DUs).

Запропонований підхід базується на змішаному цілочисельному нелінійному програмуванні (MINLP), що дозволяє досягти оптимізації таких параметрів [49]:

- Рівень секретності зв'язку.
- Пропускна здатність каналів.
- Енергетична ефективність (ЕЕ) для окремих каналів CU та DU.

Моделювання фізичного рівня мережі за допомогою MINLP продемонструвало багатообіцяючі результати, зокрема досягнення максимального рівня секретності зв'язку.

Технологія D2D-зв'язку (Device-to-Device) у 5G HetNet забезпечує можливість значного розвантаження локального трафіку як від фронтального зв'язку 5G H-CRAN, так і від оптичного транзитного зв'язку завдяки оптимізації розподілу ресурсів. Вона дозволяє обробляти локальний трафік окремо через спеціальні бездротові канали, що значно зменшує навантаження на H-CRAN, особливо в умовах масового машинного зв'язку (mMTC). Це підвищує загальну

продуктивність мережі та пом'якшує проблеми, пов'язані із вузькими місцями в H-CRAN, створюваними великим обсягом локального трафіку [50].

Однак для ефективного розгортання D2D-зв'язку необхідно вирішити низку технічних викликів. Основні технічні рішення, необхідні для оптимізації розгортання D2D-зв'язку в 5G HetNet, можна підсумувати таким чином:

1. Пристрої повинні бути достатньо продуктивними в обчислювальному плані, щоб впоратися зі складністю багатьох спеціалізованих бездротових каналів, які відповідають вимогам динамічного локального трафіку. Для цього необхідно забезпечити мінімальні ресурси для комутації та обробки сигналів, необхідних для реалізації D2D-зв'язку.

2. Для зменшення потенційних перешкод у гібридних сценаріях (поєднання спеціального бездротового каналу D2D і інфраструктурного каналу UE-gNB) пристрої повинні підтримувати інтелектуальні антени та методи формування променя. Це дозволить знизити перешкоди між окремими каналами зв'язку та забезпечити ефективність роботи мережі.

3. Розподіл ресурсів має враховувати складну гібридну парадигму зв'язку, а також специфічні вимоги сценаріїв з масивними локальними трафіками типу mMTC або M2M. У таких сценаріях, де кількість пристроїв перевищує мільйон, стратегія розподілу повинна забезпечувати ефективне управління виділеними бездротовими каналами для локального трафіку.

Загалом, успішне впровадження D2D-зв'язку в 5G HetNet потребує інноваційних підходів до управління ресурсами, обробки сигналів та інтеграції сучасних антенних технологій, що дозволить забезпечити високу ефективність та якість обслуговування навіть у складних сценаріях [51].

2.3 Архітектура системи IoMT з використанням бездротової сенсорної мережі та мобільної стільникової мережі

В епоху Інтернету речей (IoT) комунікаційна структура на основі масового зв'язку машинного типу (mMTC) є критично важливою для інтеграції мільйонів розумних пристроїв, таких як датчики та приводи, у мережі 5G HetNet H-CRAN,

забезпечуючи роботу різних постачальників послуг (SP). Ефективне розгортання IoT-мереж вимагає уніфікованої конвергентної платформи, яка дозволяє забезпечити інтеграцію та взаємодію різномірних технологій бездротового доступу, що використовуються для специфічних сценаріїв масового зв'язку типу M2M.

oneM2M — це уніфікована платформа для комунікацій M2M, яка забезпечує взаємодію між пристроями та мережами в умовах 5G HetNet і гетерогенних середовищ. Ця платформа надає стандартизований багаторівневий підхід, що полегшує інтеграцію різномірних пристроїв і підтримує безшовну інтероперабельність.

Фреймворки oneM2M на основі IoT та mMTC забезпечують семантично збагачену архітектуру, яка дозволяє пристроям різних виробників взаємодіяти через загальну архітектуру M2M. Це досягається завдяки стандартизованим специфікаціям oneM2M, які забезпечують уніфіковану інтерпретацію та обмін даними між гетерогенними пристроями.

Архітектура oneM2M складається з трьох функціональних рівнів [52]:

1. Прикладна сутність (AE) — прикладний рівень, що відповідає за реалізацію бізнес-логіки та взаємодію з користувачами.
2. Сутність загальної послуги (CSE) — сервісний рівень, що надає базові функції для підтримки взаємодії пристроїв. Він містить 12 ключових функцій, включно з управлінням ресурсами, безпекою та аналітикою.
3. Мережевий сервісний елемент (NSE) — мережевий рівень, відповідальний за інтеграцію з базовими мережевими функціями, такими як маршрутизація та транспортні послуги.

Для забезпечення міжрівневої комунікації використовуються три основні інтерфейси:

- Msa — між AE та CSE.
- Msp — між CSE та NSE.
- Msc — між кількома CSE.

Архітектура oneM2M включає три основні типи вузлів:

1. Вузол обслуговування додатків (ASN): кінцеві пристрої M2M, такі як датчики та пристрої IoT.

2. Середній вузол (MN): шлюзи, які забезпечують зв'язок між кінцевими пристроями та серверними компонентами.

3. Вузол інфраструктури (IN): сервери M2M, що підтримують аналітику великих даних і хмарні сервіси.

Уніфікована функціональна архітектура M2M надає сервісно-орієнтовану архітектуру, що сприяє інтеграції та інтероперабельності в умовах 5G HetNet. Ця модель є еталонною для побудови IoT-рішень, що відповідають вимогам масового зв'язку типу M2M.

На рисунку 2.6 представлена архітектура oneM2M із її ключовими функціональними компонентами, які забезпечують єдність і гнучкість для різномірних пристроїв у мережах 5G [53].

Трафік M2M складається з пакетів малого розміру, низької швидкості передачі даних і кореляційної передачі, що потребує спеціалізованого підходу до управління. Запропонована двофазна архітектура управління трафіком (2PTC) оптимізує обробку такого трафіку в 5G HetNets.

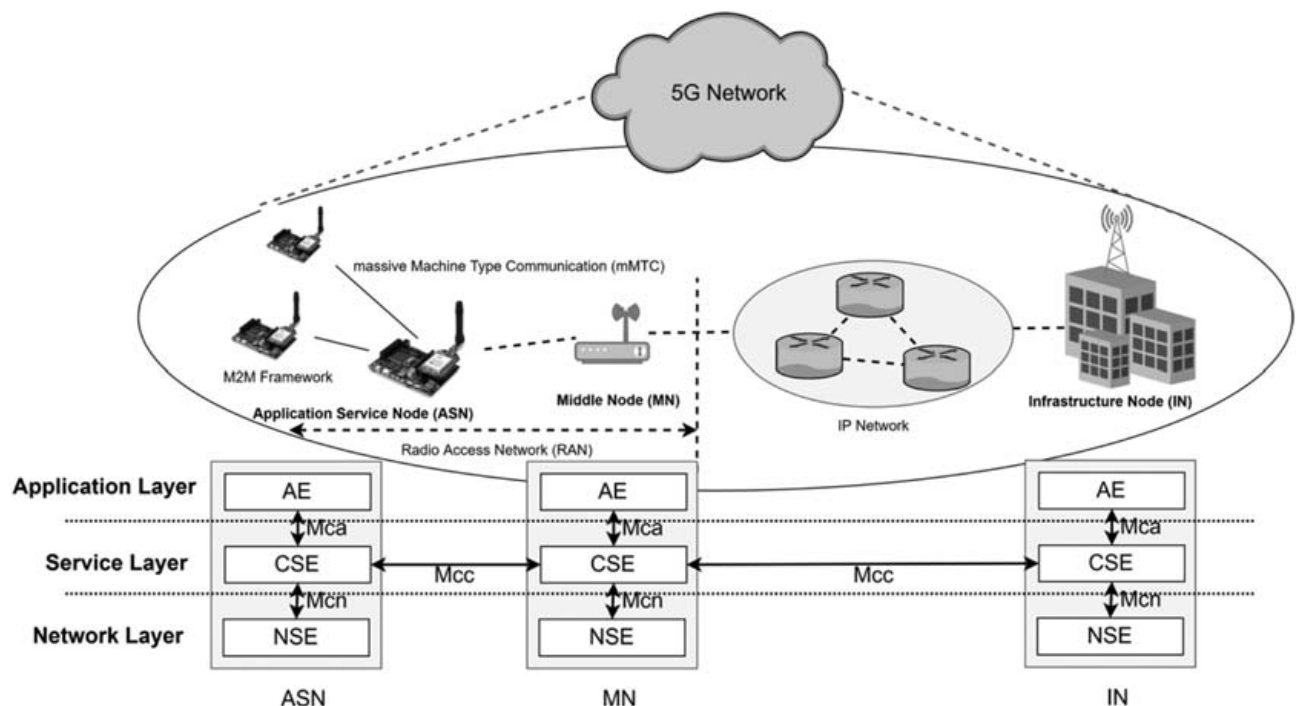


Рисунок 2.6 - Архітектура мережі OneM2M

Модель інженерії трафіку (TE) у 2PTC використовує віртуальний шлюз послуг (V-SGW), який агрегує трафік від численних кінцевих пристроїв (ADN/ASN) і передає дані до вузла призначення. Для оптимізації використання ресурсів використовується механізм мультиплексування трафіку (TA) на V-SGW, що забезпечує агрегування малих пакетів у більші логічні блоки даних.

Етапи 2PTC:

1. Фаза-1: Трафік «машина-шлюз» (M2GW):

- Дані від кінцевих вузлів (машин, ADN/ASN) передаються через бездротові точки доступу і маршрутизатори до V-SGW.

- Цей етап спрямований на організацію каналу передачі між пристроями IoT і віртуальним шлюзом.

2. Фаза-2: Трафік «шлюз-поглинач» (GW2S)

- На V-SGW відбувається мультиплексування малих пакетів за допомогою TA.

- Сукупний трафік передається до вузла призначення або поглинача.

Запропонована двофазна архітектура базується на змішаному цілочисельному програмуванні (MIP), що вирішує такі задачі:

- Оптимальна асоціація машина-шлюз: зменшення затримок і оптимізація маршрутизації.

- Мінімізація вартості асоціації: забезпечення економічної ефективності в масштабних системах.

- Мінімізація кількості TA/шлюз: зменшення обчислювального навантаження на шлюзи.

Переваги 2PTC у 5G HetNets:

1. Гнучке управління ресурсами:

- H-CRAN з підтримкою програмно-конфігурованих мереж (SDN) дозволяє ефективно розподіляти ресурси між різними рівнями.

- Відокремлення площин управління (з макростільниками MBS) і площини даних (з піко/фемтостільниками RRH) покращує продуктивність.

2. Масштабована архітектура:

- Використання хмарних вузлів (Node-C) і SDN-контролерів (SDN-C) для динамічного управління потоками даних через OpenFlow.

- Гнучкість дозволяє оптимізувати ресурси для покращення параметрів якості обслуговування (QoS) навіть за обмежених ресурсів.

3. Підвищена ефективність мультиплексування - ТА на V-SGW дозволяє агрегувати великий обсяг трафіку mMTC (малі пакети), знижуючи навантаження на ресурсні блоки в H-CRAN.

Двофазна архітектура 2PTC демонструє значні технічні переваги, забезпечуючи гнучкість, масштабованість і ефективне використання ресурсів у середовищах з масовим зв'язком машинного типу (рис. 2.7) [54].

Запропонована інтелектуальна система охорони здоров'я на основі конвергентної мережі WSN-MCN, як показано на рис. 2.8 має на меті створення ефективної та інтегрованої платформи для моніторингу стану здоров'я пацієнтів як у лікарняних умовах, так і за їх межами [55].

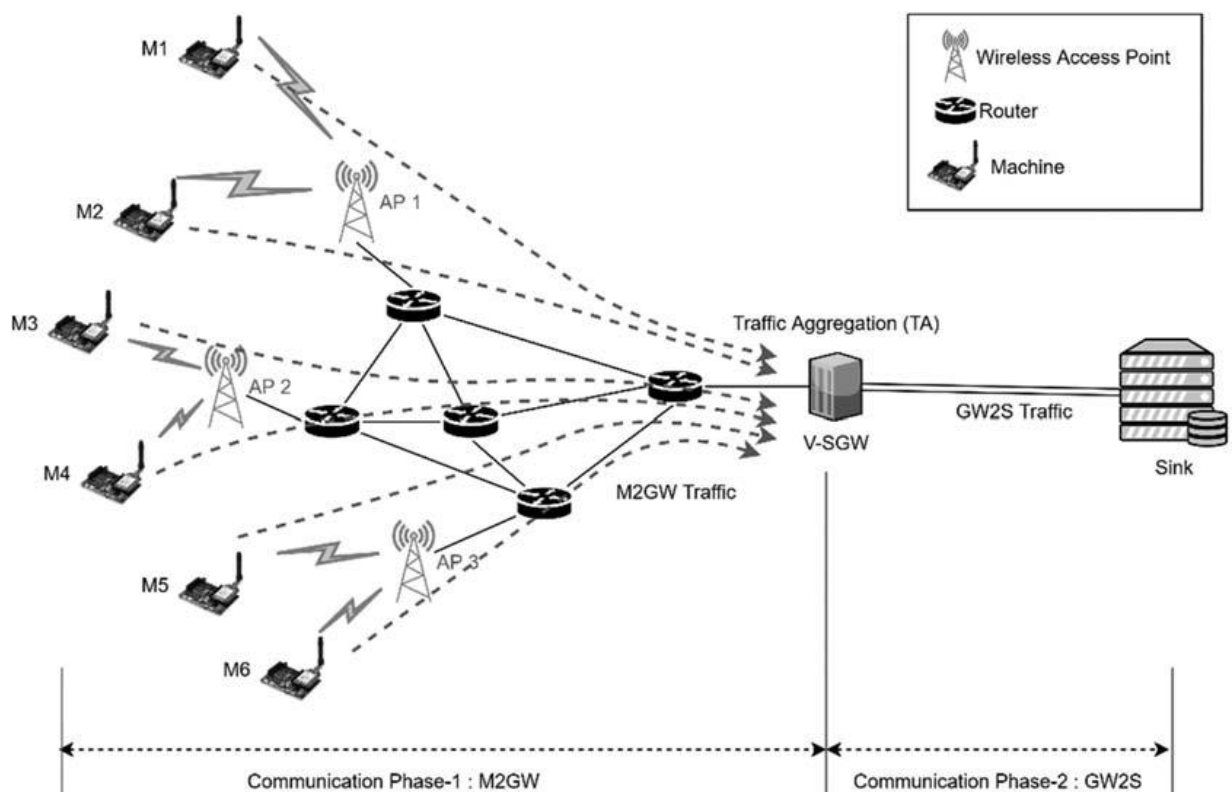


Рисунок 2.7 – Схема керування трафіком (2PTC) в мережі M2M

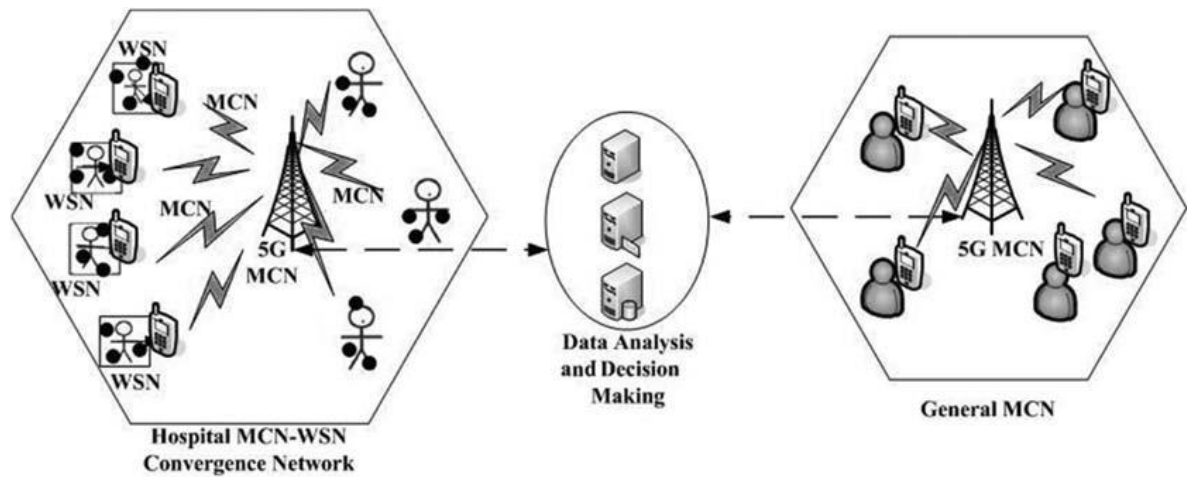


Рисунок 2.8 - Система ІоМТ на основі WSN-MCN

Основні аспекти роботи цієї системи:

- WSN (Wireless Sensor Network) використовує протокол ZigBee-IP (на основі стандарту IEEE 802.15.4) для об'єднання сенсорів у кластер. Ці сенсори фіксують біологічні параметри пацієнтів, зокрема серцебиття, рівень кисню в крові, температуру тощо.

- MCN (Mobile Cellular Network): Базується на технології 5G, яка забезпечує високу швидкість передачі даних, низьку затримку та можливість M2M-зв'язку (Machine-to-Machine).

Реалізація моніторингу:

- Пацієнти носять легкі, портативні пристрої із сенсорами для постійного моніторингу. Це дозволяє уникнути використання важких дротових приладів, які обмежують рух.

- Зібрані сенсорами дані передаються у два способи:

1. Безпосередньо з ZigBee-кластера до 5G-терміналу, який передає інформацію у 5G MCN.

2. Спочатку на найближчий 5G-термінал (наприклад, мобільний телефон), який потім забезпечує передачу в мережу 5G.

Обробка та аналіз даних:

- Дані передаються на центральний сервер для зберігання, аналізу та прийняття рішень.

- У разі виявлення аномалій або критичних станів, система може повідомити лікарів чи медичний заклад, що забезпечує оперативність реагування.

Наявність двох способів передачі даних підвищує надійність системи, зменшує ризик втрати даних та забезпечує адаптивність до різних сценаріїв використання.

Запропонована архітектура системи IoMT дозволяє інтегрувати сучасні технології сенсорного моніторингу та мобільного зв'язку, створюючи гнучку, надійну та масштабовану систему охорони здоров'я для вирішення викликів сучасної медицини [56].

2.4 Висновки до розділу 2

У цьому розділі було представлено архітектуру гетерогенної мережі (HetNet) як ключового елементу розвитку мобільного зв'язку 5G та суміжних технологій, таких як M2M і D2D. HetNet демонструє свою життєздатність у контексті нових додатків, включаючи IoT (Інтернет речей) і IoV (Інтернет транспортних засобів), завдяки своїй здатності адаптуватися до різноманітних сценаріїв розгортання.

Гнучка комунікаційна структура HetNet забезпечує безперешкодну інтеграцію мереж різних типів, роблячи їх сумісними на глобальному рівні. Це є важливим фактором для досягнення інтероперабельності між різними протоколами та системами. Стандарти 5G, створені за підтримки 3GPP, збагачують цю архітектуру такими можливостями, як SDN, NFV, H-CRAN і TWDM-PON, що забезпечує вискоелективний і надійний зв'язок. Крім того, використання сучасних комунікаційних фреймворків, зокрема M2M і D2D, сприяє комплексному технологічному забезпеченню для Інтернету речей та інтелектуального зв'язку. Інтеграція цих технологій із ключовими функціями 5G, такими як eMBB, URLLC, mMTC, mmWave, MIMO, Cloud-RAN, SDN і NFV, є

кінцевою метою для створення високопродуктивних і готових до майбутнього систем.

Перспективи гетерогенних мереж включають розвиток інтелектуальних комунікаційних платформ, розширення бізнес-можливостей та впровадження рішень для смарт-міст, автоматизованих транспортних систем і розумного середовища. HetNet забезпечує основу для глобальної інтеграції та масштабування, що критично важливо для сучасних і майбутніх комунікаційних екосистем.

3.1 Особливості впровадження розумної охорони здоров'я на основі сенсорного Інтернету речей

Зростання витрат на охорону здоров'я, поява нових захворювань та дефіцит медичних працівників у порівнянні зі зростанням чисельності населення ставлять під сумнів ефективність традиційних моделей надання медичних послуг. У цьому контексті розумний сенсорний Інтернет речей (IoT) стає перспективним рішенням для діагностики, моніторингу та лікування пацієнтів.

ІоТ передбачає глобальну інтеграцію пристроїв у мережу Інтернет для обміну даними. Це створює основу для впровадження розумних систем у різних сферах, включаючи: розумний дім, розумну енергетичну мережу, розумне місто, розумну охорону здоров'я [57].

Особливо розумна охорона здоров'я спрямована на подолання обмежень традиційних систем, дозволяючи пацієнтам отримувати медичні послуги дистанційно. Лікарі можуть проводити аналіз даних, зібраних за допомогою ІоТ-пристроїв, і рекомендувати лікування, не вимагаючи особистого візиту пацієнта.

Переваги розумної охорони здоров'я:

1. Доступність послуг: Люди з віддалених регіонів чи з обмеженою мобільністю можуть отримувати якісну медичну допомогу.

2. Підтримка людей похилого віку: Дистанційний моніторинг дозволяє забезпечити догляд за літніми пацієнтами.

3. Зменшення витрат: Ефективне використання ресурсів знижує витрати на медичне обслуговування.

4. Ефективність моніторингу: Постійний збір даних забезпечує раннє виявлення захворювань та персоналізоване лікування.

Конфіденційність та захист особистої інформації є ключовими проблемами, оскільки мережеві системи охорони здоров'я схильні до кібератак. Помилки у збиранні чи передачі даних можуть призвести до неправильного діагнозу чи лікування. Мережеві збої або технічні несправності можуть впливати на

своєчасність і точність медичних послуг. Збір, передача, зберігання та доступ до даних потребують високого рівня захисту. Розумна охорона здоров'я, інтегрована з технологіями IoT, має потенціал значно покращити якість та доступність медичних послуг. Однак успішне впровадження цієї моделі вимагає вирішення питань захисту даних, забезпечення їх цілісності та мінімізації вразливостей на кожному етапі роботи системи. Пріоритетом є створення безпечної та надійної інфраструктури, яка відповідатиме потребам пацієнтів та забезпечить довіру до новітніх технологій [58].

Однією з ключових цілей IoT у медичній сфері є підвищення якості медичних послуг через ефективне моніторування життєвих показників пацієнтів. Носимі пристрої забезпечують контроль стану органів, таких як серце, легені чи нирки, і негайно повідомляють про небезпечні симптоми, сприяючи швидкому втручання медичних служб. Однак цей підхід стикається із значними викликами, зокрема питаннями безпеки даних. Особисті медичні дані пацієнтів є вразливими до атак, тому захист конфіденційності та цілісності інформації стає першочерговим завданням.

Периферійні обчислення є важливими для оперативного аналізу даних, зібраних сенсорними пристроями. У поєднанні з 5G вони забезпечують: енергоефективність, мінімальні затримки в передачі, швидкий доступ до релевантних даних. Це створює можливості для своєчасного реагування та прийняття ефективних медичних рішень. Проте безпека таких систем залишається значною проблемою.

Через обмежені ресурси сенсорних пристроїв стандартні алгоритми шифрування, такі як RSA або AES, не є ефективними. Натомість пропонується використання легкого шифрування, яке забезпечує: енергозбереження, оптимальне використання пам'яті та потужності, стійкість до атак на конфіденційність і цілісність даних.

Основні категорії шифрування:

1. Симетричне шифрування:

- Один ключ використовується для шифрування та дешифрування.

- Підходить для пристроїв із мінімальними обчислювальними можливостями.

2. Асиметричне шифрування використовує два ключі: відкритий для шифрування та приватний для дешифрування. Забезпечує високий рівень безпеки, проте потребує більше ресурсів. Полегшені шифри діляться на блокові (з обробкою даних блоками) і потокові (з обробкою даних потоком). Пропонуються для захисту медичних даних у пристроях з обмеженими ресурсами, наприклад, для літніх пацієнтів [59].

IoT у поєднанні з технологіями 5G та периферійними обчисленнями забезпечує революційні можливості для охорони здоров'я, зокрема через носимі пристрої. Однак досягнення максимального потенціалу цих технологій потребує:

1. Розробки легких криптографічних методів для захисту чутливих даних.
2. Модернізації протоколів безпеки для адаптації до обмежених ресурсів сенсорних пристроїв.
3. Скоординованого підходу до захисту інформації на всіх етапах – від збору даних до їх аналізу й передачі.

Розробка та впровадження цих рішень мають стати фундаментом для широкого використання IoT у медичній сфері, забезпечуючи надійність, ефективність і безпеку. На рис. 3.1 показана архітектура розумної системи охорони здоров'я.

Архітектура системи охорони здоров'я на основі Інтернету речей (IoT) зазвичай складається з чотирьох основних рівнів:

1. Рівень пристрою (сенсорний рівень) відповідає за взаємодію з фізичним світом за допомогою сенсорів і пристроїв. Основні компоненти:
 - Бездротові датчики: Моніторинг фізіологічних показників (наприклад, серцевий ритм, рівень кисню в крові).
 - RFID: Ідентифікація пацієнтів, відстеження ліків чи обладнання.
 - Штрих-коди використовуються для швидкої обробки інформації про пацієнтів чи матеріали.
 - Інфрачервоні датчики: Наприклад, для безконтактного вимірювання температури.

- Збирає широкий спектр даних, таких як місцезнаходження, температура, вологість, фізичні зміни або навіть емоційний стан.

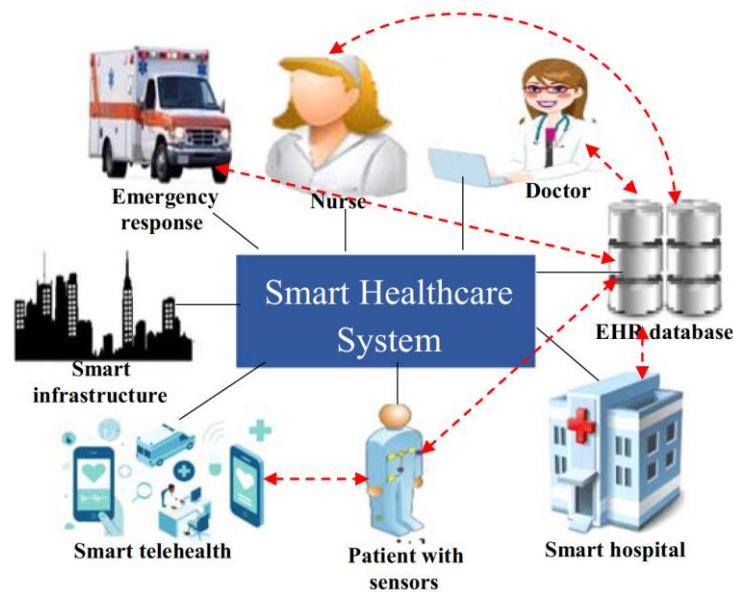


Рисунок 3.1 - Архітектура смарт-системи охорони здоров'я

2. Рівень зв'язку (комунікаційний рівень):

- Основна функція — забезпечення безпечної передачі зібраних даних до наступних рівнів.

- Використовувані технології:

- Wi-Fi: Широкий діапазон передачі даних.
- 4G/5G: Підтримка високошвидкісної передачі даних у реальному часі.
- Zigbee: Енергоефективний варіант для пристроїв з обмеженим ресурсом живлення.
- Bluetooth: Для передачі на короткі відстані, наприклад, між датчиками та смартфонами.

- Інфрачервоні зв'язки: Безпечна передача на короткій відстані.

3. Рівень обробки даних (проміжний програмний рівень):

- Виконує обробку, аналіз та зберігання зібраних даних.
- Включає використання:
 - Баз даних: Для зберігання великих обсягів даних.

- Фонових технологій: Використання хмарних сервісів або серверних рішень для масштабованої обробки.

- На основі отриманих даних здійснюється розпізнавання шаблонів, аналіз показників здоров'я та виявлення аномалій.

4. Прикладний рівень:

- Найвищий рівень архітектури, який забезпечує кінцеві послуги користувачам.

- Призначення:

- Надання рекомендацій щодо лікування, профілактики чи інформування лікаря про необхідність втручання.

- Інтеграція з мобільними додатками, інформаційними панелями або пристроями для моніторингу здоров'я.

Запропонована архітектура дозволяє ефективно збирати, передавати, обробляти та використовувати дані для покращення медичного обслуговування, сприяючи створенню персоналізованих і автоматизованих рішень для пацієнтів та лікарів [60].

3.2 Особливості застосування периферійних ІоМТ в мобільних мережах

Носимі пристрої на основі біометрії, інтегровані з мобільними технологіями, демонструють великий потенціал у різних сферах, особливо в охороні здоров'я, фітнесі та інших галузях. Їх розвиток і застосування можна охарактеризувати такими ключовими аспектами:

1. Збір та аналіз даних:

- Носимі пристрої збирають величезну кількість біометричних даних (наприклад, пульс, рівень кисню в крові), що допомагає медичним працівникам спростити діагностику і прогнозування.

- Завдяки використанню сенсорних технологій, ці пристрої дозволяють контролювати стан здоров'я пацієнта в реальному часі, навіть поза межами медичних закладів.

2. Інтеграція з ШІ та ML:

- Використання методів машинного навчання (ML) та штучного інтелекту (ШІ) дозволяє обробляти дані, отримані від носимих пристроїв, для прогнозування результатів лікування або анотації складних сигналів (наприклад, сейсмокардіограми).

- Методи навчання з підкріпленням (reinforcement learning) можуть оптимізувати використання ресурсів при обробці даних у хмарі.

Типи носимих пристроїв:

1. Розумні годинники відстежують час, повідомлення, дзвінки, електронні листи та інші функції.

2. Фітнес-трекери здійснюють моніторинг фізичної активності, кількість кроків, калорії та частота серцевих скорочень.

3. Наголовні дисплеї формують віртуальну реальність для розваг, навчання або тренувань.

4. Спортивні годинники спеціально розроблені для спортсменів із функціями GPS і відстеження здоров'я.

5. Розумні прикраси: Естетично привабливі пристрої з базовим функціоналом розумних годинників.

6. Розумний одяг: Інтеграція сенсорів у тканини для збору біометричних даних.

7. Імплантовані пристрої використовуються для медичного моніторингу, таких як контроль рівня інсуліну.

Технологічні інновації.

1. Розвиток сенсорних мереж:

- Сучасні сенсори передають дані через бездротові мережі, забезпечуючи мінімальну затримку та точність.

- Без обробки та аналізу ці дані можуть бути неінформативними, тому використання ML є критичним.

2. Роль ML у різних сферах:

- Прогнозування клінічних результатів і покращення рухових функцій.

- Аналіз великих даних, зібраних у галузях охорони здоров'я, транспорту, освіти, фінансів та розваг.

Носимі технології сприяють:

- Підвищенню якості життя пацієнтів із хронічними захворюваннями.
- Зростанню можливостей для спорту, фітнесу та реабілітації.
- Інтеграції в різні галузі, включаючи транспорт, музику, ігри, освіту та підприємництво.

Подальший розвиток носимих пристроїв залежить від вдосконалення сенсорних технологій, методів ШІ та підвищення ефективності збору і аналізу даних у реальному часі. Акцент на безпеку та конфіденційність даних, особливо в медичних застосуваннях, залишатиметься ключовою задачею для розробників [61].

Вказані технології вже значно змінили спосіб взаємодії людей з навколишнім світом і відкрили нові можливості для персоналізованого підходу в різних аспектах життя.

3.3 Проектування інтелектуальних мобільних пристроїв ІоМТ

Розумні годинники та інші носимі пристрої мають потенціал для значного вдосконалення процесу моніторингу стану здоров'я і прогнозування можливих проблем. Їх функціонал базується на поєднанні високотехнологічних датчиків, штучного інтелекту (ШІ) та алгоритмів аналізу даних. Ось ключові аспекти цієї технології:

Переваги розумних годинників у медичній сфері:

Постійний моніторинг здоров'я:

- Вимірювання таких показників, як частота серцевих скорочень, рівень кисню в крові або фізична активність, протягом усього дня.
- Виявлення закономірностей і трендів у біометричних даних для прогнозування можливих проблем.

Завдяки аналізу великих обсягів даних, розумні годинники можуть підтримувати ранню діагностику, попереджаючи про можливі захворювання ще до їхнього розвитку. Це допомагає уникнути великих витрат на лікування в майбутньому, акцентуючи увагу на економічно ефективній профілактиці.

Алгоритми машинного навчання встановлюють закономірності у даних, що надходять із носимих пристроїв. Система аналізує індивідуальні показники здоров'я, використовуючи масиви інформації для створення персоналізованих рекомендацій.

Різноманітні сенсори відстежують фізичну активність, мозкову діяльність, м'язову активність і серцебиття. Пристрої для здоров'я зазвичай мають високу точність завдяки передовим сенсорним технологіям. Носимі пристрої включають вбудовані процесори, які забезпечують швидку обробку даних. Інтеграція обчислювальних модулів дозволяє пристроям взаємодіяти з іншими об'єктами через IoT.

Зібрані дані надходять у локальні обчислювальні модулі або передаються до хмарних сховищ. За допомогою алгоритмів обробки даних створюються звіти, які відображаються у мобільних додатках або веб-порталах для зручності користувача [62].

Застосування даних носимих пристроїв.

1. Інтеграція в медичну інфраструктуру:

- Зібрані дані зберігаються у базах даних, що дозволяє лікарям швидко отримати доступ до історії пацієнта та приймати обґрунтовані рішення.

- Взаємодія між пацієнтами та лікарями покращується завдяки своєчасному отриманню інформації.

2. Аналіз великих даних: Масиви даних, зібрані з носимих пристроїв, сприяють глобальним дослідженням і створенню інноваційних рішень у медицині. Розвиток розумних годинників та інших носимих пристроїв відкриває нові горизонти у сфері персоналізованої медицини. Прогнозування захворювань, рання діагностика, а також індивідуальні рекомендації щодо здоров'я — це лише частина їх потенціалу. З подальшим вдосконаленням сенсорних і обчислювальних технологій, ці пристрої можуть стати основою для нового етапу цифрової трансформації медицини. На рис. 3.2 показано алгоритм роботи персональних пристроїв IoMT [63].

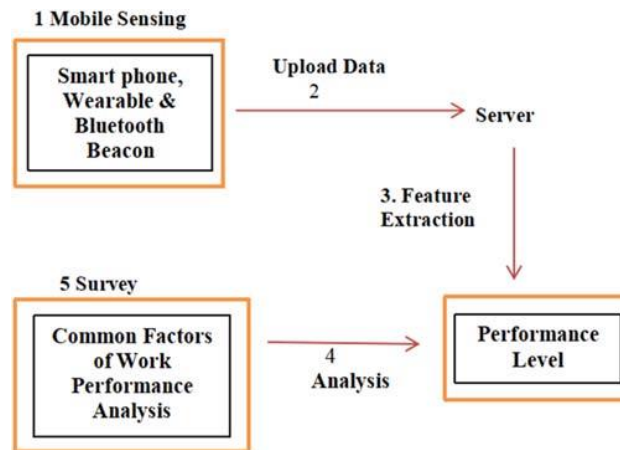


Рисунок 3.2 - Алгоритм роботи персональних пристроїв IoMT

Носимі пристрої відіграють важливу роль у відстеженні інформації про фізичну форму та виявленні рівня стресу у людей похилого віку. Це стає більш очевидним при розгляді трьох конкретних прикладів.

Згідно зі звітом Всесвітньої організації охорони здоров'я, від 28% до 35% літніх людей віком понад 65 років падають принаймні раз на рік, що призводить до значних травм. Існує вже багато підходів до вирішення цієї проблеми, але більшість з них є дорогими та трудомісткими, що призводить до затримки результатів. З ростом популярності носимих пристроїв в охороні здоров'я з'явилася можливість збирати реальні дані за допомогою носимих пристроїв. Використовуючи відповідний алгоритм машинного навчання (ML), точність прогнозування падіння зростає.

На сьогоднішній день у пристроях, що використовуються для виявлення падінь, дані збираються з таких датчиків, як акселерометри, висотоміри та гіроскопи. Ці датчики надають дані, засновані на раптовій зміні руху або положення користувача. На рис. 3.3 представлено блок-схему роботи носимого IoMT пристрою для виявлення м'якого падіння:

- Акселерометр: виявлення швидкої зміни рухів.
- Гіроскоп: вимірює або підтримує орієнтацію та кутову швидкість.
- Висотомір: вимірює висоту.

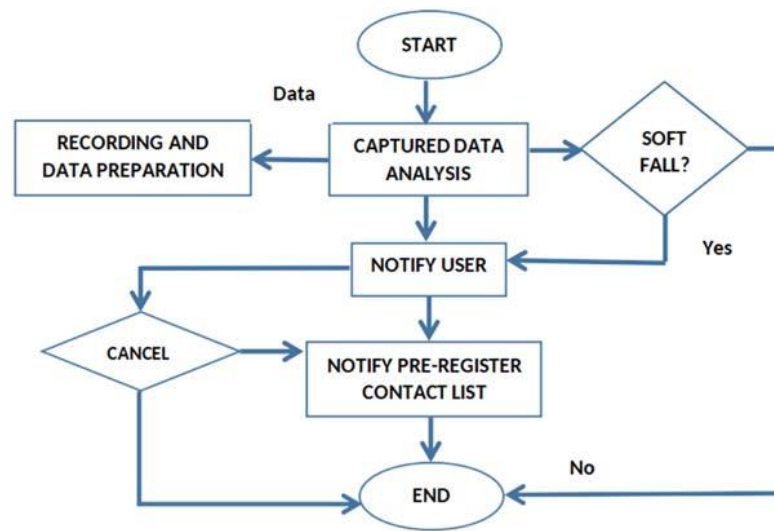


Рисунок 3.3 - Алгоритм роботи носимого пристрою IoMT

Експерименти, записані за допомогою цих датчиків, в основному виявляють жорсткі падіння, але не м'які. М'якими падіннями називають падіння, які відбуваються з іншої початкової осі, наприклад, ковзання зі стільця. Ця робота зосереджена на ідентифікації м'яких падінь. Наприкінці роботи буде представлено прототип, що базується на ML, і виконаний на моделі в реальному часі з використанням натільного пристрою, що працює на ОС Android.

Існує кілька цілей, які необхідно досягти для реалізації кейсу в реальній системі. По-перше, вибрати вже наявне та доступне обладнання. По-друге, воно має бути зручним для літнього користувача. По-третє, надавати користувачеві точні прогнози. Платформа Android обрана для реалізації моделі через її великий ринок. За допомогою мови розмітки предиктивних моделей (PMML), яка базується на XML, можна експортувати форму предиктивної моделі для спільного доступу. PMML генерується на платформі Knime - графічному інтерфейсі користувача, що інтегрує ML та інтелектуальний аналіз даних за допомогою модульної концепції конвеєра даних. Потім виконується підсумовування моделі. Точність системи гарантується за допомогою підходу ML, як описано нижче.

На першому етапі зібрані реальні дані поділяються на два набори: навчальний і тестовий. Модель розробляється за допомогою навчального набору на етапі навчання, а на етапі тестування за допомогою тестових даних

перевіряється точність прогнозування. Набір даних ділиться на 50% випадково розподілених даних навчального набору, а інша половина - на дані тестового набору; цей процес повторюється щонайменше 20 разів з випадковим розподілом даних у навчальних і тестових наборах для підвищення статистичної релевантності. Оскільки робота базується на виявленні м'яких падінь, дані про жорсткі падіння видаляються з набору, залишаючи лише м'які падіння та інші активності. Площа під кривою робочої характеристики приймача використовується для вимірювання розділення двох класів.

Наступне дослідження сервісного пристрою IoT базується на визначенні сидячого способу життя за допомогою обчислювального інтелекту, що дозволяє використовувати носимі пристрої для зниження серцево-судинних ризиків у повсякденній діяльності. Зважаючи на постійний розвиток досліджень у сфері носимих пристроїв, енергозберігаючих методологій та підходів до аналізу даних, важливо мати кращі та ефективніші методи надання медичних послуг. Згідно з кількома звітами про серцево-судинні захворювання, лікування та вилікування таких хвороб є непростим завданням через зростання чисельності населення, неефективність системи охорони здоров'я та зростання витрат на медицину. Основними факторами ризику серцево-судинних захворювань є недостатня фізична активність, неправильні харчові звички, регулярне куріння та високе споживання алкоголю. Усунення метрик захворювання дозволить запобігти близько 80% високих ризиків, виявлених під час досліджень [64].

Докази того, яким чином можна впорядкувати занепокоєння щодо неактивного способу життя, негативно сприймаються і є питанням для подальшого аналізу на основі рекомендацій Національного інституту здоров'я та досконалості медичної допомоги (National Institute for Health and Care Excellence). Використання стегон, зап'ясть або навіть акселерометрів, закріплених на стегнах за допомогою ременів, допомагає аналізувати дослідження статичного способу життя. Це дослідження переконує людей похилого віку залишатися фізично активними.

Метою даного дослідження є підготовка моделі, яка автоматично розпізнає сидячу поведінку. Це залежить від розумної сорочки, оснащеної процесором,

натільними датчиками, джерелом живлення та телемедицинним інтерфейсом. Цей метод складається з двох етапів. По-перше, використання датчиків з двома різними режимами пов'язане зі змінним вектором, який далі піддається методам виявлення, щоб розшифрувати цю сидячу поведінку. По-друге, макет «розумної сорочки» пов'язаний з телемедицинним блоком, який відповідає за виявлення вимірювань і обчислення відповідних даних. Цей спосіб дуже корисний для літніх пацієнтів, які потребують постійного моніторингу у відділеннях інтенсивної терапії. Сигнали, які збираються «розумними сорочками», складаються з інформації, що розпізнає сидячу поведінку під час повсякденної діяльності, і зберігаються у постачальника телемедицинних послуг для подальшого аналізу.

В експерименті взяли участь п'ять осіб (три жінки та два чоловіки). Добровольці повинні були носити прототип розумної сорочки, в яку були вбудовані акселерометри, датчики пульсу, датчики навколишнього середовища. Добровольцям було запропоновано виконати набір різних дій, в результаті яких були згенеровані дані, які були використані для перевірки точності алгоритму класифікації бездіяльності. Завдання виконувалися в домашніх умовах. Експерименти склалися з таких завдань, як лежання без руху, бездіяльне сидіння та ходьба, постійна багатогодинна робота над системою. Тривалість кожного завдання становила 60 секунд, після чого слідувала перерва на 60 секунд. Було зібрано понад 28 800 зразків, кожне з яких тривало 23 хвилини.

Прототип сорочки розроблений таким чином, щоб бути простим у використанні і працювати в першу чергу з людьми похилого віку та людьми з обмеженими фізичними можливостями. Три типи модулів забезпечують взаємозв'язок між цими трьома нерозділеними групами: персональна мережа (PAN), локальна мережа (LAN) та інтернет. Сорочка інтегрована з натільним блоком управління, який створює мережу PAN і чекає на входні з'єднання. Дані збираються, фільтруються та інкапсулюються, а ознаки виділяються за допомогою BCU. НК та результати аналізу пакетів даних з БКП надсилаються хмарному провайдеру (ХП) через локальну мережу. ХП виконує агрегацію даних, зберігання даних, аналіз даних для авторизованих користувачів [65].

Для розробки моделі було використано кероване навчання. Стани активності визначаються через регулярний проміжок часу в 1 хвилину. Було отримано достатньо текстових даних та координат для роботи протоколу SPPB. Частота дискретизації була попередньо визначена на рівні 40 Гц. Частота серцевих скорочень оцінюється за піковою частотою сигналів, що перевищують максимальну межу 540 (B1.74 B) при щонайменше 19 відліках. Функція часової області акселерометра та обчислення інтенсивності включає додавання, середнє, середньоквадратичне відхилення, дисперсію та середньоквадратичне відхилення, а під час експерименту досліджується середній корінь. Вектор оптимальної інтенсивності для кожної осі було обрано з частотної характеристики акселерометра. Обчислювали стандартне відхилення тривалості часу між бітами та квадратний корінь із середнього значення послідовних різниць.

На другому кроці отриманий 2D вектор ознак передається системою категоризації, яка розрізняє відповідні мітки. Першокласними подіями для сидячого характеру є лежання, сидіння, робота над системою. Другий набір активностей - це решта активностей. Дані віднесено до відповідного класу і збережено в базі даних. Були використані різні алгоритми ML: бінарні дерева рішень, модель дискримінантного аналізу, наївний Байєс, K-найближчих сусідів, SVM та ANN. Валідація моделі класифікації була виконана за допомогою 10-кратної перехресної перевірки [66]. На рис. 3.4 представлено структурно-функціональна схема прототипу IoT пристрою.

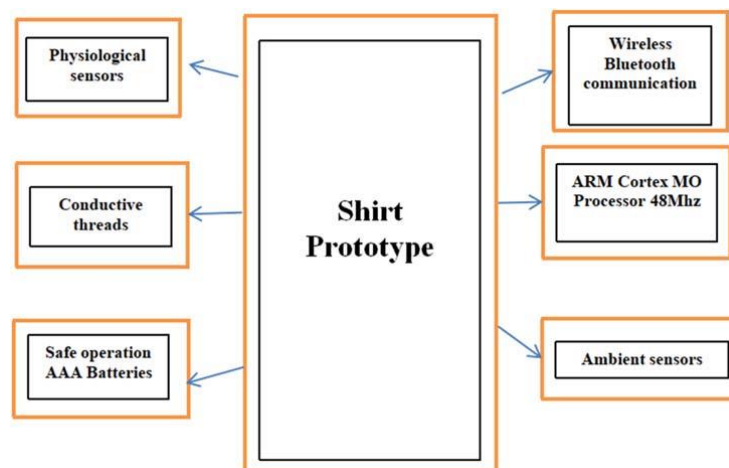


Рисунок 3.4 - Структурно-функціональна схема прототипу IoMT пристрою

ХП виконує агрегацію даних, зберігання даних, аналіз даних для авторизованих користувачів. Архітектура системи показана на рис. 3.4. Весь процес представлено на рис. 3.5.

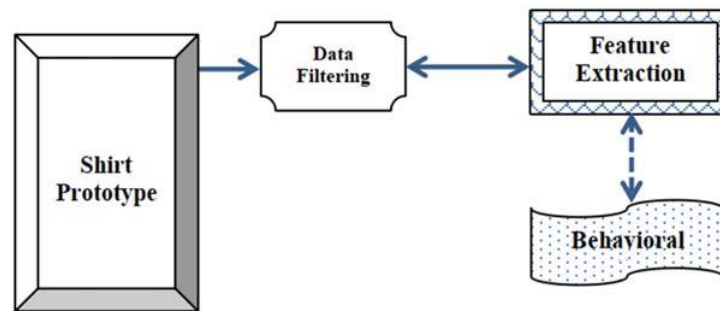


Рисунок 3.5 - Алгоритм роботи розробленого пристрою IoMT

Справжній потенціал пристроїв, що носяться, полягає не лише в екранах на зап'ясті, але й у нових, дивовижних і цікавих сенсорах, вбудованих у них. Іншими словами, нові датчики означають нові дані, нові дані ведуть до нових ідей, а нові ідеї ведуть до нового застосування ідей на різних ринках. На початку йшлося про акселерометри, гіроскопи та магнітометри з трьома осями. Тепер же галузь розвивається, включаючи датчики для вимірювання гальванічного потенціалу шкіри, рівня глюкози, електроміографії та багато інших, що розширює сферу застосування більш досконалих пристроїв, що носяться.

Абсолютно неймовірно захоплює знати кількість даних про стан здоров'я, які можна зібрати за допомогою різних датчиків. Це може зробити людство набагато здоровішим завдяки можливості постійного аналізу свого здоров'я. Людство тепер може знати, як та чи інша діяльність біологічно впливає на організм людини. Переваги цих пристроїв можуть бути такими простими, як відстеження кількості віджимань, до раннього виявлення зупинки серця та інших критичних станів.

Тенденція розвитку індустрії носимого здоров'я не сповільнюється, оскільки медичні працівники з нетерпінням чекають на нові можливості для

допомоги пацієнтам з хронічними захворюваннями та людям у віддалених районах. Ефективний збір індивідуальної інформації про стан здоров'я, більш дієві результати та клінічна перевірка є вимогою часу. Також зростає попит на можливість інтегрувати дані з натільних пристроїв в електронні медичні картки.

Технології натільних пристроїв стимулюють розвиток галузі охорони здоров'я, роблячи аналіз стану здоров'я людей набагато простішим завданням. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню якості життя та здоров'я, а також покращенню надання медичних послуг, особливо в контексті профілактики та ранньої діагностики серцево-судинних та інших захворювань.

3.4 Висновки до розділу 3

Інтернет речей (IoT) є перспективною технологією, яка революціонізує інформаційно-комунікаційні науки, зокрема у сфері охорони здоров'я. Завдяки розробкам у цій галузі, стало можливим дистанційне виявлення, моніторинг, прогнозування і лікування хронічних захворювань. Дані, що генеруються IoT-пристроями, є значними за обсягом. Це створює виклики для інфраструктури збору, обробки та передачі даних, які потребують оптимальних рішень.

Переваги периферійних обчислень:

Граничні обчислення дозволяють скоротити затримки, які виникають через віддалене розташування хмарних ресурсів.

Периферійні обчислення наближають ресурси зберігання та обробки до кінцевих пристроїв, забезпечуючи обробку даних у режимі реального часу.

Гетерогенні пристрої, що розміщені в кінці мережі, пропонують гнучкі послуги зв'язку, зберігання даних та обчислень.

Дані, що передаються інтелектуальними системами охорони здоров'я (SHS), є конфіденційними, тому необхідно забезпечити:

- Секретність, щоб запобігти несанкціонованому доступу.

- Достовірність для лікарів, щоб вони могли приймати точні та своєчасні рішення.

Запропоновано полегшену техніку шифрування, що базується на операціях ARX (додавання, обертання XOR), заміні, зрізах та інших механізмах.

- Переваги: Знижене навантаження на пам'ять і висока швидкість створення шифру.

- Можливості розвитку: Проведення диференціального та лінійного криптоаналізу алгоритму для підвищення його криптостійкості.

Перспективи: Розвиток IoT у сфері охорони здоров'я передбачає подальше вдосконалення обчислювальних підходів, покращення криптографічних методик і забезпечення більшої інтеграції периферійних обчислень із розумними системами для підвищення ефективності, надійності та безпеки.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	65	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	52	0	55
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		57,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти,

закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	60	65	68
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	64,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [67]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де $k_{нов}$, $k_{теор}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{нов} = 57,3$, $k_{теор} = 64,3$ балів;
 $0,6$ та $0,4$ – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 57,3 + 0,4 \cdot 64,33 = 60,13 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{нау}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G», даний рівень становить 60,13 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [67]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 19000,00 \cdot 8 / 22 = 6909,09 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
---------------------	-------------------------------	-----------------------------	-------------------	---------------------------------

Керівник науково-дослідної роботи з дослідження сервісів ІоМТв мережах 5G	19000,00	863,64	8	6909,09
Інженер-дослідник телекомунікаційних систем та мереж	18000,00	818,18	22	18000,00
Науковий співробітник	18200,00	827,27	5	4136,36
Технік 1-ї категорії	8100,00	368,18	5	1840,91
Всього				30886,36

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників ($З_p$) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» розраховуємо за формулою:

$$З_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду [67];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (22 \cdot 8) = 57,50 \text{ грн.}$$

$$З_{pl} = 57,50 \cdot 5,00 = 287,50 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Встановлення допоміжного обладнання дослідження сервісів ІоМТв мережах 5G	5,00	2	1,10	57,50	287,50
Встановлення програмного забезпечення моделювання поведінки телекомунікаційних систем та мереж	5,82	5	1,70	88,86	517,19

продовження таблиці 4.5

Монтаж імітаційного обладнання радіоприймача 5G	3,50	4	1,50	78,41	274,43
Монтаж імітаційного обладнання	2,50	4	1,50	78,41	196,02

радіопередавача 5G					
Встановлення спеціалізованих інтерфейсів	3,60	4	1,50	78,41	282,27
Підготовка лабораторії дослідження	7,20	3	1,35	70,57	508,09
Налагодження інтелектуальної системи та мережі ІоМ	5,50	5	1,70	88,86	488,75
Тестування системи	7,00	2	1,10	57,50	402,50
Всього					2956,75

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доп}} = (30886,36 + 2956,75) \cdot 11 / 100\% = 3722,74 \text{ грн.}$$

4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доо}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (30886,36 + 2956,75 + 3722,74) \cdot 22 / 100\% = 8264,49 \text{ грн.}$$

4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 4 \cdot 182,00 \cdot 1,06 - 0 \cdot 0 = 771,68 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір Queddy Standart 500/80	182,00	4	0	0	771,68
Диск оптичний Queddy Optic R	28,00	4	0	0	118,72
Канцелярське приладдя BIC-master	176,00	4	0	0	746,24
Тека паперова Buromax	46,00	6	0	0	292,56
Картридж Canon 12X	799,00	1	0	0	846,94
Флеш-пам'ять 32 Gb DataTraveler	179,00	2	0	0	379,48
Всього					3155,62

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

$Ц_j$ – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 2 \cdot 2899,00 \cdot 1,06 = 6145,88 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Обладнання радіопередавача 5G	2	2899,00	6145,88
Обладнання радіоприймача 5G	2	2699,00	5721,88
Спеціалізовані радіоінтерфейси	2	1830,00	3879,60
Пристрої Інтернету медичних речей	4	4500,00	19080,00
Всього			34827,36

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{снец}} = \sum_{i=1}^k Ц_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де $Ц_i$ – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;
 $C_{np.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{спец} = 12360,00 \cdot 1 \cdot 1,06 = 13101,60 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Блок комутації сигналу GNSS VN-UBTS-SPLIT-GNSS	1	12360,00	13101,60
Блок комутації ВЧ сигналу мультідіапазонний VN-UBTS-SPLIT-NetMon	1	14790,00	15677,40
Маршрутизатор Mikrotik hAP ac (RBD52G-5HacD2HnD-TC)	1	2999,00	3178,94
Всього			31957,94

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{прог} = \sum_{i=1}^k Ц_{прог} \cdot C_{прог.i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де C_{inpr} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{prg.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{prg} = 9860,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 10846,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Математичне середовище MatLab 12	1	9860,00	10846,00
Прикладне ПЗ Mathematica	1	7580,00	8338,00
Всього			19184,00

4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{obl} = \frac{C_{\delta}}{T_{\delta}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де C_{δ} – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (36499,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1520,79 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Ноутбук Lenovo Thinkpad T14 Gen 2, оперативна пам'ять 16GB, процесор Intel core i7-1185G7, пам'ять на жорсткому диску 256 GB	36499,00	2	1	1520,79

продовження таблиці 4.10

Робоче місце інженера-дослідника	8752,00	5	1	145,87
Пристрої передачі даних	6810,00	2	1	283,75
Пристрій виводу інформації	6791,00	5	1	113,18
Оргтехніка	8300,00	4	1	172,92
Приміщення лабораторії	500000,00	30	1	1388,89
ОС Windows 10	8360,00	2	1	348,33
Прикладний пакет Microsoft Office 2016	7689,00	2	1	320,38
Всього				4294,11

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 10,98$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,04 \cdot 180,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 79,06 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Ноутбук Lenovo Thinkpad T14 Gen 2, оперативна пам'ять 16GB, процесор Intel core i7-1185G7, пам'ять на жорсткому диску 256 GB	0,04	180,0	79,06
Робоче місце інженера-розробника ПЗ	0,10	180,0	197,64
Пристрої передачі даних	0,01	180,0	19,76
Пристрій виводу інформації	0,50	10,0	54,90
Оргтехніка	0,62	2,0	13,62

Маршрутизатор Mikrotik hAP ac (RBD52G-5HacD2HnD-TC)	0,01	180,0	19,76
Обладнання радіопередавача 5G	0,04	50,0	21,96
Обладнання радіоприймача 5G	0,04	50,0	21,96
Всього			428,66

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 50\%$.

$$I_e = (30886,36 + 2956,75) \cdot 50 / 100\% = 16921,56 \text{ грн.}$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{H3B} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{H3B}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{H3B} – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{H3B} = 105\%$.

$$B_{H3B} = (30886,36 + 2956,75) \cdot 105 / 100\% = 35535,27 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{\text{заг}} = Z_o + Z_p + Z_{\text{од}} + Z_n + M + K_{\text{с}} + B_{\text{спец}} + B_{\text{прз}} + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + B_{\text{сп}} + I_{\text{с}} + B_{\text{нзв}}. \quad (4.15)$$

$$B_{\text{заг}} = 30886,36 + 2956,75 + 3722,74 + 8264,49 + 3155,62 + 34827,36 + 31957,94 + 19184,00 + 4294,11 + 428,66 + 0,00 + 0,00 + 16921,56 + 35535,27 = 192134,87 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (4.16)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,95$.

$$ZB = 192134,87 / 0,95 = 202247,23 \text{ грн.}$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» використовується спеціальний комплексний показник, що

враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.17)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I=4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n=0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n=1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n=2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n=3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n=3$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C=1$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R=4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R=3$; якщо нижче відомих результатів, то $R=1$. Прийmemo $R=3$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B=202247,23$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t=0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [67].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 1 \cdot 3 / 202,2 \cdot 0,08 = 11,39.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

4.4 Висновок до розділу 4

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» складають 202247,23 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Інтелектуальні системи та мережі Інтернету медичних речей. Сервіси ІоМТв мережах 5G» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було проведено дослідження та аналіз можливостей інтеграції інтелектуальних систем і сервісів Інтернету медичних речей (IoMT) у мережах п'ятого покоління (5G). Запропоновано нові підходи та рішення, спрямовані на підвищення якості медичної допомоги та покращення здоров'я населення.

Основні результати магістерської роботи та впливаючі з них теоретичні та практичні висновки можуть бути сформульовані таким чином:

Запропоновано методи оптимізації, які спрямовані на зниження енергоспоживання та збільшення швидкості передачі даних у IoT/IoMT пристроях, адаптованих до особливостей мереж 5G. Завдяки цьому досягнуто підвищення ефективності функціонування пристроїв у середовищах з високою інтенсивністю передачі інформації. Також розроблено рекомендації щодо застосування цих методів у різних умовах експлуатації.

Досліджено вплив різних сценаріїв трафіку IoMT на продуктивність фізичного рівня мережі 5G у реальних умовах. Проведені експерименти продемонстрували, як різні параметри трафіку (затримка, частотність передачі, обсяг даних) впливають на пропускну здатність та стабільність мережі. Визначено ключові фактори, які необхідно враховувати для забезпечення високої продуктивності фізичного рівня.

Проведено детальний порівняльний аналіз сучасних підходів до інтеграції різнорідних технологій у середовищах 5G (Wi-Fi, LTE, Bluetooth). Виявлено основні переваги та недоліки кожного з підходів, що дозволило запропонувати новий метод управління ресурсами. Цей метод базується на динамічному перерозподілі ресурсів, що забезпечує високу продуктивність мережі, стабільність з'єднань та якість обслуговування (QoS), навіть за умов значних змін навантаження.

Розроблено інноваційні прототипи IoMT-пристроїв, які відповідають високим вимогам мобільних мереж 5G. Зокрема, створено інтелектуальні сенсори, здатні здійснювати локальну обробку даних у реальному часі, що

дозволяє зменшити затримки передачі даних та оптимізувати використання мережевих ресурсів. Крім того, впроваджені рішення забезпечили значне зниження енергоспоживання, що сприяє збільшенню автономності пристроїв і їх придатності для довготривалого використання.

Визначено економічні переваги використання ІоМТ у різних сценаріях, включаючи дистанційний моніторинг пацієнтів, телемедицину та інтеграцію медичних пристроїв у інфраструктуру охорони здоров'я. Отримані результати дозволяють прогнозувати фінансову вигоду від впровадження ІоМТ у специфічних умовах мобільних мереж 5G, що є основою для прийняття стратегічних рішень у галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Васильківський, М., Коломієць, А., & Будащ, М. (2022). Оцінювання параметрів радіотрактів інфокомунікаційних систем 5G/6G. Вісник Хмельницького національного університету, (6), 53–60. <https://www.doi.org/10.31891/2307-5732-2022-315-6-53-60>
2. Васильківський, М., Прикмета, А., Олійник, А., & Нікітович, Д. (2023). Оптимізація інтелектуальних телекомунікаційних мереж. Вісник Хмельницького національного університету, Технічні науки. – 2023. – № 1. (317). – С. 33–41. doi: 10.31891/2307-5732-2023-317-1-33-41
3. М. Васильківський, О. Болдирева, Д. Онищук, Ю. Гнатенко «Динамічна інформаційна мережа із вбудованим штучним інтелектом», КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (50), 36-45. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-50-05>
4. М. Васильківський, О. Городецька, Б. Климчук, В. Говорун «Стратегії технологічного розвитку апаратного забезпечення інфокомунікаційних радіомереж», Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. ІТКІ, вип. 56, вип. 1, с. 83–91, Бер 2023. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2023-56-1-83-91>
5. Васильківський, М., Городецька, О., Стальченко, О., & Будащ, М. (2023). Інтегрована радіосистема сканування та зв'язку. Вісник Хмельницького національного університету, Технічні науки. – 2023. – № 2. (319). – С. 56–63. doi: 10.31891/2307-5732-2023-319-1-56-63
6. М. Васильківський, Д. Нікітович, О. Болдирева, Н. Якубівська. «Інтелектуальні технології коригування фізичного рівня мобільних мереж», КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ: ОСВІТА, НАУКА, ВИРОБНИЦТВО, (51), 148-160. <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-19>
7. М. Васильківський, Д. Нікітович, Н. Грабчак, і Н. Якубівська, «Оптимізація адаптивних радіосистем із використанням алгоритмів ШІ та МН», ВОТТП, вип. 2, с. 112–124, Чер 2023. doi.org/10.31891/2219-9365-2023-74-15

8. Garg, N., Wazid, M., Das, A. K., Singh, D. P., Rodrigues, J. J. P. C., & Park, Y. (2020). BAKMP-IoMT: Design of blockchain enabled authenticated key management protocol for Internet of Medical Things deployment. *IEEE Access*, 8, 95956-95977. Available from <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2995917>.
9. Ghubaish, A., Salman, T., Zolanvari, M., Unal, D., Al-Ali, A., & Jain, R. (2021). Recent Advances in the Internet-of-Medical-Things (IoMT) systems security. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(11), 8707-8718. Available from <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3045653>.
10. Li, J., Peng, Y., Yan, Y., Jiang, X.-Q., Hai, H., & Zukerman, M. (2020). Cognitive radio network assisted by OFDM with index modulation. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(1), 1106-1110.
11. Sun, L., Jiang, X., Ren, H., & Guo, Y. (2020). Edge-cloud computing and Artificial Intelligence in Internet of Medical Things: Architecture, technology and application. *IEEE Access*, 8, 101079-101092. Available from <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2997831>.
12. Chettri, L., & Bera, R. (2020). A comprehensive survey on Internet of Things (IoT) toward 5G Wireless systems. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(1), 16-32. Available from <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2948888>.
13. Ghosh S., De D., (2020). Dynamic antenna allocation in 5G MIMO HetNet using weighted majority cooperative game theory. In *Proceedings of the IEEE first international conference for convergence in engineering, ICCE*, Sep 5, pp. 21-25.
14. Gures, E., Shayea, I., Alhammadi, A., Ergen, M., & Mohamad, H. (2020). A comprehensive survey on mobility management in 5G heterogeneous networks: Architectures, challenges and solutions. *IEEE Access*, 8, 195883-195913.
15. Irrum, F., Ali, M., Naeem, M., Anpalagan, A., Qaisar, S., & Qamar, F. (2021). D2D-enabled resource management in secrecy-ensured 5G and beyond heterogeneous networks. *Physical Communication*, 45, 101275, ISSN 1874-4907. Available from <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2021.101275>.
16. Khawam, K., Lahoud, S., El Helou, M., Martin, S., & Feng, G. (2020). Coordinated framework for spectrum allocation and user association in 5G HetNets

with mmWave. IEEE Transactions on Mobile Computing (01). Available from <https://doi.org/10.1109/TMC.2020.3022681>, 1-1.

17. Lone, T. A., Rashid, A., Gupta, S., Gupta, S. K., Rao, D. S., Najim, M., . . . Singhal, A. (2020). Securing communication by attribute-based authentication in HetNet used for medical applications. Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking (1), 1-21.

18. Mei, J., Wang, X., & Zheng, K. (2020). An intelligent self-sustained RAN slicing framework for diverse service provisioning in 5G-beyond and 6G networks. Intelligent and Converged Networks, 1(3), 281-294. Available from <https://doi.org/10.23919/ICN.2020.0019>.

19. Ouamri, M. A., Otes,teanu, M. E., Alexandru, I., & Azni, M. (2020). Coverage, handoff and cost optimization for 5G heterogeneous network. Physical Communication, 39, 101037, ISSN 1874-4907. Available from <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101037>.

20. Song H. K., Min-Jae P. A., Won-Chang K. I., (2020). Inventors; Sejong University Industry-Academy Cooperation Group, assignee, MIMO-OFDM-based cooperative communication system for interference mitigation between cells in heterogeneous network and cooperative communication method using the same, United States patent U.S. Patent No. 10,862,547. 8 Dec.

21. Tang, F., Zhou, Y., & Kato, N. (2020). Deep reinforcement learning for dynamic uplink/downlink resource allocation in high mobility 5G HetNet. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 38(12), 2773-2782.

22. Zhang, H., Huang, C., Zhou, J., & Chen, L. (2020). QoS-aware virtualization resource management mechanism in 5G backhaul heterogeneous networks. IEEE Access, 8, 19479-19489. Available from <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2967101>.

23. Zhang, Q., Gui, L., Hou, F., Chen, J., Zhu, S., & Tian, F. (2020). Dynamic task offloading and resource allocation for mobile-edge computing in dense cloud RAN. IEEE Internet of Things Journal, 7(4), 3282-3299.

24. Abdulraheem, M., Awotunde, J. B., Jimoh, R. G., & Oladipo, I. D. (2021). An efficient lightweight cryptographic algorithm for IoT security. *Communications in Computer and Information Science*, 2021(1350), 444-456.
25. Abikoye, O. C., Ojo, U. A., Awotunde, J. B., & Ogundokun, R. O. (2020). A safe and secured iris template using steganography and cryptography. *Multimedia Tools and Applications*, 79(31-32), 23483-23506.
26. Abiodun, M. K., Awotunde, J. B., Ogundokun, R. O., Misra, S., Adeniyi, E. A., Arowolo, M. O., & Jaglan, V. (2021, February). Cloud and big data: A mutual benefit for organization development. *Journal of Physics: Conference Series*, 1767(1), 012020.
27. Adeniyi, E. A., Ogundokun, R. O., & Awotunde, J. B. (2021). IoMT-based wearable body sensors network healthcare monitoring system. *IoT in healthcare and ambient assisted living* (pp. 103-121). Singapore: Springer.
28. Albahri, A. S., Alwan, J. K., Taha, Z. K., Ismail, S. F., Hamid, R. A., Zaidan, A. A., . . . Alsalem, M. A. (2020). IoT-based telemedicine for disease prevention and health promotion: State-of-the-Art. *Journal of Network and Computer Applications*, 173, 102873.
29. Al-Garadi, M. A., Mohamed, A., Al-Ali, A. K., Du, X., Ali, I., & Guizani, M. (2020). A survey of machine and deep learning methods for internet of things (IoT) security. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3), 1646-1685.
30. Ali, F., El-Sappagh, S., Islam, S. R., Kwak, D., Ali, A., Imran, M., & Kwak, K. S. (2020). A smart healthcare monitoring system for heart disease prediction based on ensemble deep learning and feature fusion. *Information Fusion*, 63, 208-222.
31. Al-Muhtadi, J., Saleem, K., Al-Rabiaah, S., Imran, M., Gawanmeh, A., & Rodrigues, J. J. P. C. (2020). A lightweight cybersecurity framework with context-awareness for pervasive computing environments. *Sustainable Cities and Society*, 102610. Available from <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102610>.
32. Atitallah, S. B., Driss, M., Boulila, W., & Ghe'zala, H. B. (2020). Leveraging Deep Learning and IoT big data analytics to support the smart cities development: Review and future directions. *Computer Science Review*, 38, 100303.

33. Ayo, F. E., Awotunde, J. B., Ogundokun, R. O., Folorunso, S. O., & Adekunle, A. O. (2020). A decision sup-port system for multi-target disease diagnosis: A bioinformatics approach. *Heliyon*, 6(3), e03657.
34. Ayo, F. E., Folorunso, S. O., Abayomi-Alli, A. A., Adekunle, A. O., & Awotunde, J. B. (2020). Network intru-sion detection is based on deep learning model optimized with rule-based hybrid feature selection. *Information Security Journal: A Global Perspective*, 1-17.
35. Ayo, F. E., Ogundokun, R. O., Awotunde, J. B., Adebiyi, M. O., & Adeniyi, A. E. (2020, July). Severe acne skin disease: A fuzzy-based method for diagnosis. *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 12254 LNCS, pp. 320-334.
36. Beheshti-Atashgaha, M., Reza Aref, M., Barari, M., & Bayat, M. (2020). Security and Privacy-preserving in e-health: a new framework for patient. *Internet of Things*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100290>.
37. Deebak, D., & Al-Turjman, F. (2020). A hybrid secure routing and monitoring mechanism in IoT-based wireless sen-sor networks. *Ad Hoc Networks*, 97, 102022. Available from <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2019.102022>.
38. Dias, R. M., Marques, G., & Bhoi, A. K. (2021). Internet of Things for enhanced food safety and quality assurance: A literature review. *Advances in Electronics, Communication and Computing*, 653-663.
39. Fernandes, M., Vieira, S. M., Leite, F., Palos, C., Finkelstein, S., & Sousa, J. M. (2020). Clinical decision sup-port systems for triage in the emergency department using intelligent systems: A review. *Artificial Intelligence in Medicine*, 102, 101762.
40. Galetsi, P., Katsaliaki, K., & Kumar, S. (2020). Big data analytics in health sector: Theoretical framework, techniques and prospects. *International Journal of Information Management*, 50, 206-216.
41. Greco, L., Percannella, G., Ritrovato, P., Tortorella, F., & Vento, M. (2020). Trends in IoT based solutions for health care: Moving AI to the edge. *Pattern Recognition Letters*, 135, 346-353.

42. Greiwe, J., & Nyenhuis, S. M. (2020). Wearable technology and how this can be implemented into clinical practice. *Current Allergy and Asthma Reports*, 20, 1-10.
43. Hassani, F. A., Shi, Q., Wen, F., He, T., Haroun, A., Yang, Y., . . . Lee, C. (2020). Smart materials for smart healthcare[^]moving from sensors and actuators to self-sustained nanoenergy nanosystems. *Smart Materials in Medicine*.
44. Jamil, F., Ahmad, S., Iqbal, N., & Kim, D. H. (2020). Towards a remote monitoring of patient vital signs based on IoT-based blockchain integrity management platforms in smart hospitals. *Sensors*, 20(8), 2195.
45. Jana, S., Bhaumik, J., & Maiti, M. K. (2013). Survey on lightweight block cipher. *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 3(5), 183-187.
46. Jokanovic', V. (2020). Smart healthcare in smart cities. *Towards Smart World: Homes to Cities Using Internet of Things*, 45.
47. Kadhim, K. T., Alsahlany, A. M., Wadi, S. M., & Kadhum, H. T. (2020). An overview of patient's health status monitoring system based on Internet of Things (IoT). *Wireless Personal Communications*, 114, 2235-2262.
48. Kazeem Moses, A., Joseph Bamidele, A., Roseline Oluwaseun, O., Misra, S., & Abidemi Emmanuel, A. (2021). Applicability of MMRR load balancing algorithm in cloud computing. *International Journal of Computer Mathematics: Computer Systems Theory*, 6(1), 7-20.
49. Li, J., Cai, J., Khan, F., Rehman, A. U., Balasubramaniam, V., Sun, J., & Venu, P. (2020). A secured frame-work for SDN-based edge computing in IoT-enabled healthcare system. *IEEE Access*, 8, 135479-135490.
50. Marks, M. (2020). Emergent medical data: Health Information inferred by artificial intelligence. *UC Irvine Law Review*.
51. Marques, G., Bhoi, A. K., Albuquerque, V. H. C. d., & Hareesha, K. S. (Eds.), (2021). *IoT in healthcare and ambient assisted living*. Springer.
52. Marques, G., Miranda, N., Kumar Bhoi, A., Garcia-Zapirain, B., Hamrioui, S., & de la Torre D'iez, I. (2020). Internet of things and enhanced living environments: Measuring and mapping air quality using cyber-physical systems and mobile computing technologies. *Sensors*, 20(3), 720.

53. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2020). Opportunities to improve opioid use disorder and infectious disease services: Integrating responses to a dual epidemic.
54. Noshina, T., Ayesha, Q., Muhammad, A., & Farrukh, A.K. (2020). Blockchain and smart healthcare security: A survey. *Procedia Computer Science*.
55. Oladele, T. O., Ogundokun, R. O., Awotunde, J. B., Adebisi, M. O., & Adeniyi, J. K. (2020, July). Diagma: A malaria coactive neuro-fuzzy expert system. *Lecture notes in computer science (including subseries lecture notes in artificial intelligence and lecture notes in bioinformatics)*, 12254 LNCS, pp. 428-441.
56. Oniani, S., Marques, G., Barnovi, S., Pires, I. M., & Bhoi, A. K. (2021). Artificial intelligence for Internet of Things and enhanced medical systems. *Bio-inspired neurocomputing* (pp. 43-59). Singapore: Springer.
57. Papa, A., Mital, M., Pisano, P., & Del Giudice, M. (2020). E-health and wellbeing monitoring using smart healthcare devices: An empirical investigation. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119226.
58. Bhoi, A. K., Mallick, P. K., Liu, C. M., & Balas, V. E. (Eds.), (2021). *Bio-inspired neurocomputing*. Springer.
59. Mishra, S., Dash, A., & Mishra, B. K. (2020). An insight of Internet of Things applications in pharmaceutical domain. *Emergence of pharmaceutical industry growth with industrial IoT approach* (pp. 245-273). Academic Press.
60. Mishra, S., Mallick, P. K., Jena, L., & Chae, G. S. (2020). Optimization of skewed data using sampling-based prepro-cessing approach. *Frontiers in Public Health*, 8, 274. Available from <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00274>.
61. Mishra, S., Mishra, B. K., Tripathy, H. K., & Dutta, A. (2020). Analysis of the role and scope of big data analytics with IoT in health care domain. *Handbook of data science approaches for biomedical engineering* (pp. 1-23). Academic Press.
62. Mishra, S., Mishra, B. K., & Tripathy, H. K. (2020). Significance of biologically inspired optimization techni-ques in real-time applications. *Robotic systems: Concepts, methodologies, tools, and applications* (pp. 224-248). IGI Global.

63. Mishra, S., Tripathy, H. K., Mallick, P. K., Bhoi, A. K., & Barsocchi, P. (2020). EAGA-MLP—An enhanced and adaptive hybrid classification model for diabetes diagnosis. *Sensors*, 20(14), 4036.
64. Rai, D., Thakkar, H. K., & Rajput, S. S. (2020, October). Performance characterization of binary classifiers for automatic annotation of aortic valve opening in Seismocardiogram signals. In 2020 9th International conference on bioinformatics and biomedical science (pp. 77-82).
65. Thakkar, H. K., Dehury, C. K., & Sahoo, P. K. (2020). MUVINE: Multi-stage virtual network embedding in cloud data centers using reinforcement learning-based predictions. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 38(6), 1058-1074.
66. Thakkar, H. K., Liao, W. W., Wu, C. Y., Hsieh, Y. W., & Lee, T. H. (2020). Predicting clinically significant motor function improvement after contemporary task-oriented interventions using machine learning approaches. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 17(1), 1-10.
67. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ ІНТЕРНЕТУ МЕДИЧНИХ
РЕЧЕЙ. СЕРВІСИ ІОМТ В МЕРЕЖАХ 5G

назва магістерської кваліфікаційної роботи

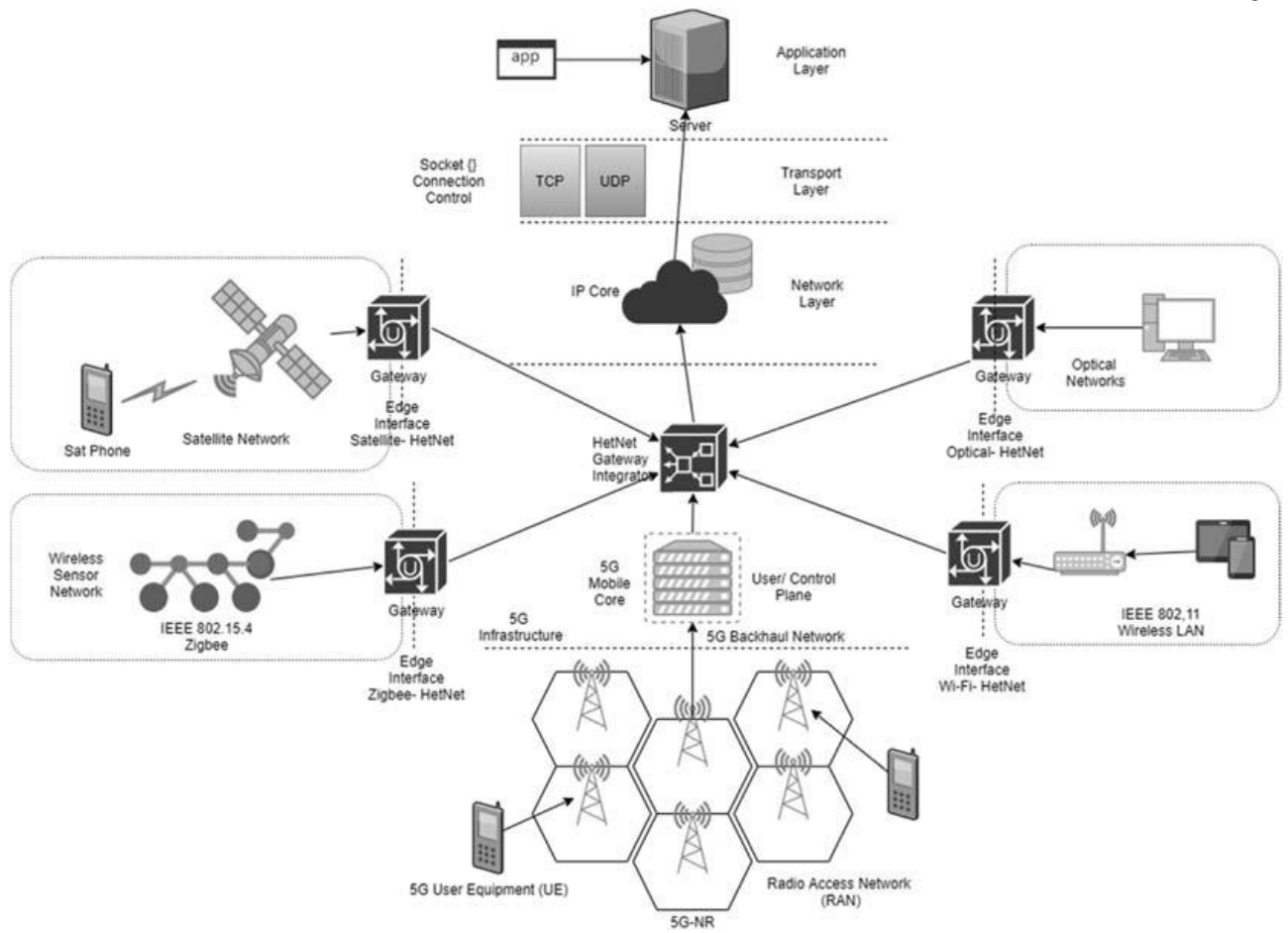


Рисунок 1 – Архітектура сегменту мережі HetNet на основі 5G

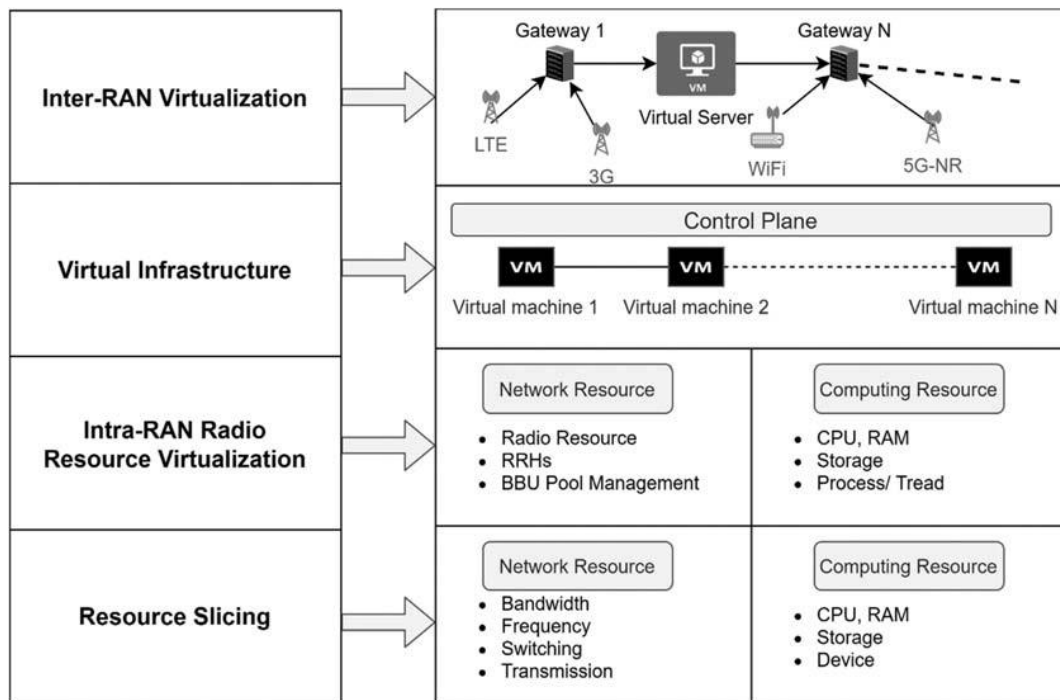


Рисунок 3 – Структура керування ресурсами і віртуалізацію в мережах 5G HetNet на основі H-CRAN

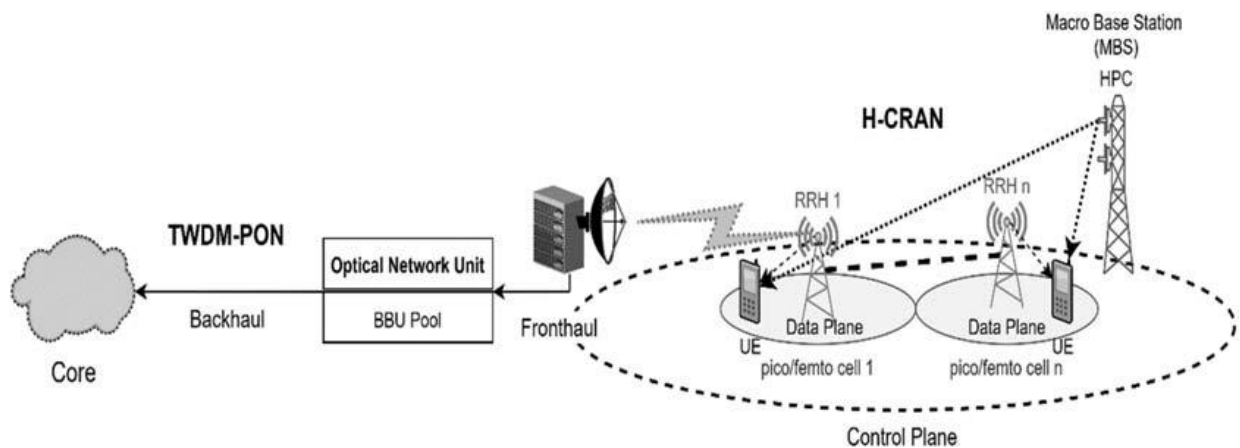


Рисунок 4 – Архітектура мережі 5G HetNet на основі H-CRAN та TWDM-PON

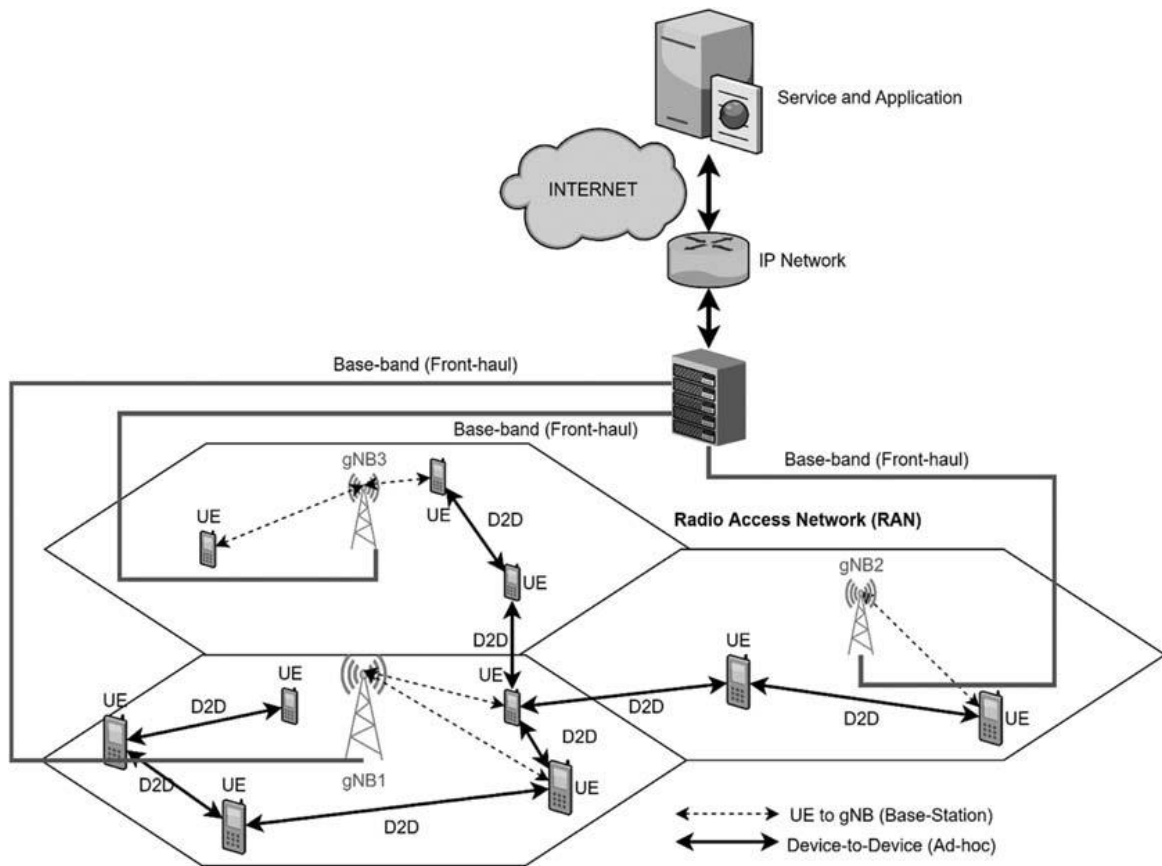


Рисунок 5 – Топологія сегменту мережі 5G на основі технології D2D

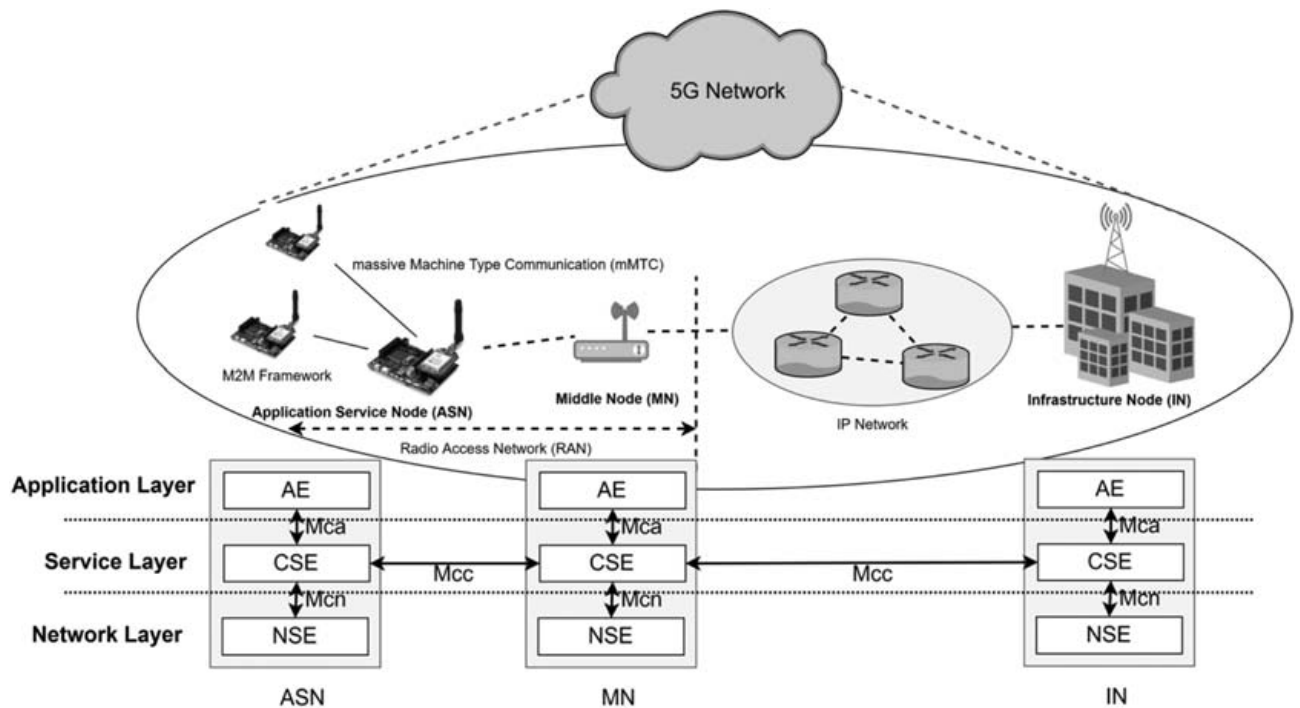


Рисунок 6 – Архітектура мережі OneM2M

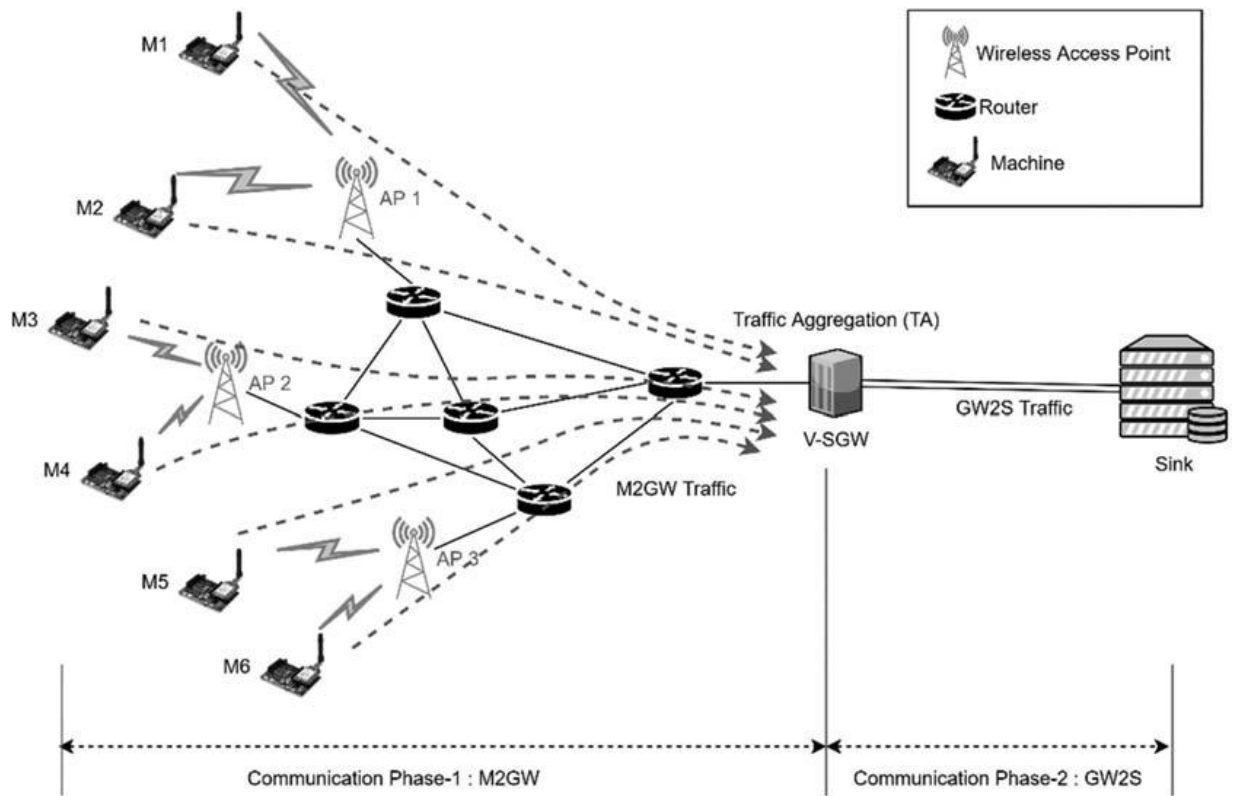


Рисунок 7 – Схема керування трафіком (2PTC) в мережі M2M

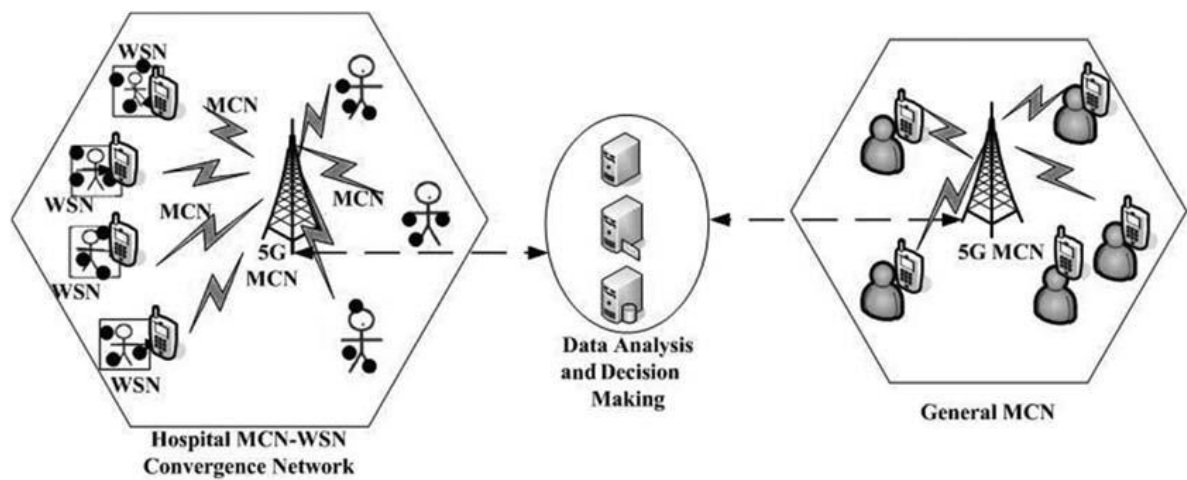


Рисунок 8 – Система ІоМТ на основі WSN-MCN

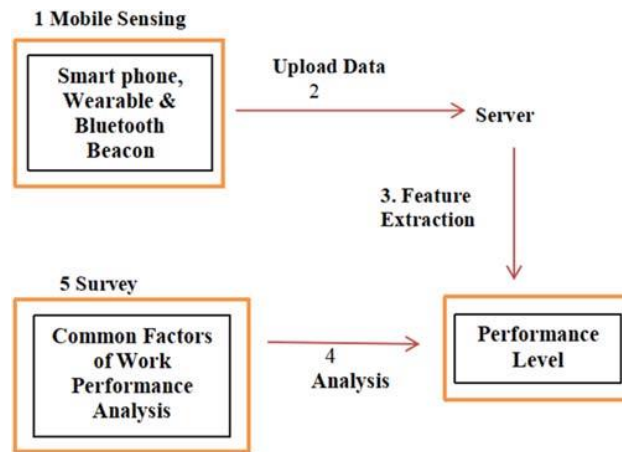


Рисунок 9 – Алгоритм роботи персональних пристроїв ІоМТ

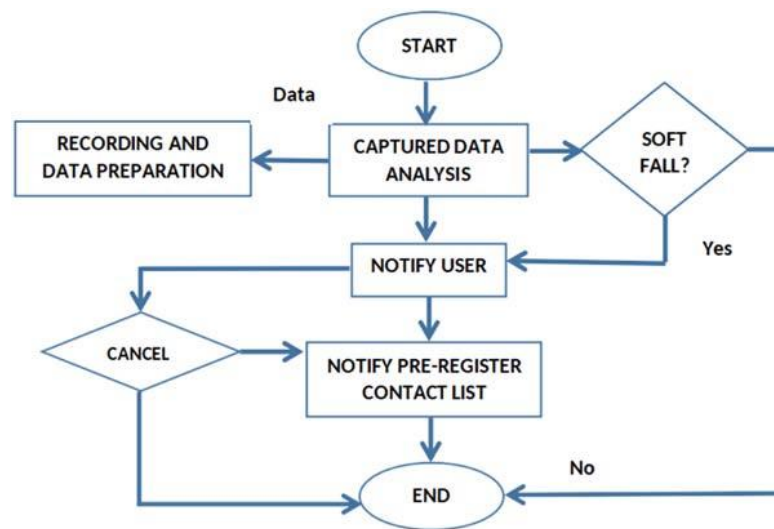


Рисунок 10 – Алгоритм роботи носимого пристрою ІоМТ

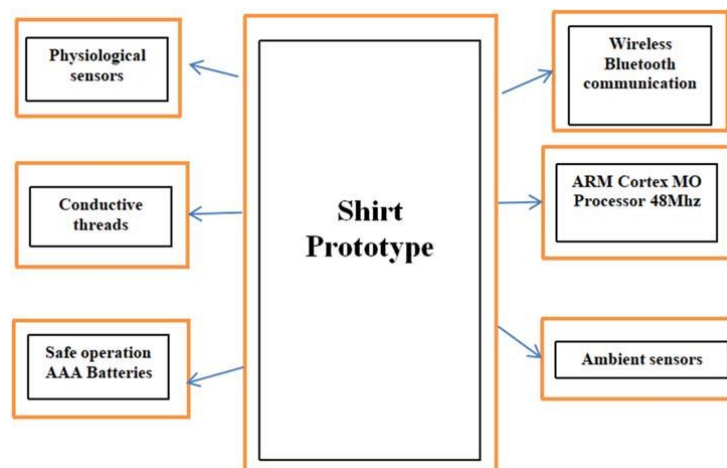


Рисунок 11 – Структурно-функціональна схема прототипу ІоМТ пристрою

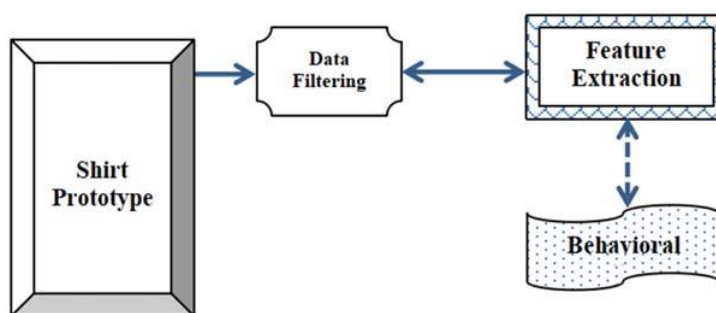


Рисунок 12 – Алгоритм роботи розробленого пристрою ІоМТ

Додаток Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Інтелектуальні системи та мережі інтернету медичних речей. Сервіси IoMT в мережах 5G

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра ІКСТ, факультет ІЕС

Керівник Васильківський М.В., к.т.н., доцент

Показники звіту подібності

Turnitin	
Оригінальність	98 %
Загальна схожість	2 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений (-на) з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи (додається)

Автор



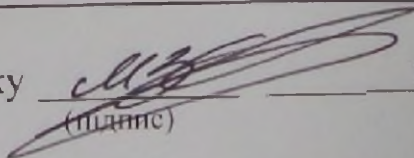
(підпис)

Данилевич Д. В.

(прізвище, ініціали)

Опис прийнятого рішення

Особа, відповідальна за перевірку



(підпис)

Васильківський М.В.

(прізвище, ініціали)

Експерт

(за потреби) (підпис)

(прізвище, ініціали, посада)