

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

УДК 621.37

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях
к.т.н., доц. Чухов В.В.

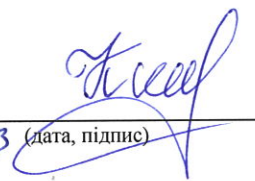

« 19 » 12 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Дослідження та розробка інформаційно-телекомунікаційної системи
передачі медичних даних

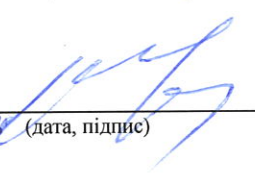
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу,
гр.ЗТРМ-22-1


19.12.23 (дата, підпис)

Климчук Є.А.

Керівник роботи
к.т.н., доц.


19.12.23 (дата, підпис)

Ципоренко В.Г.

Житомир
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МЕДИЦИНІ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЯХ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему: Дослідження та розробка інформаційно-телекомунікаційної системи
передачі медичних даних

Виконав: студент 2 курсу,
групи ЗТРм-22-1 спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Климчук Є.А.

Керівник Ципоренко В.Г.

Рецензент Нікітчук Т.М.

Житомир
2023

«Затверджено»

Завідувач кафедри комп'ютерних
технологій у медицині та
телекомунікаціях

Чухов Владислав ЧУХОВ

«27» 10 2022 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Кирилюк Євгенія Андріївна
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження та розробка інформаційно-телекомунікаційної системи передачі медичних даних.

затверджено наказом по університету від «22» 11 2023 р. № 679

2. Мета дослідження - дослідження та розробка інформаційно-телекомунікаційної системи передачі медичних даних, що забезпечить збереження посилень, оброблення та передачу інформації на сервер та до мобільного телефону.

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.

медичні дані, передача на вихідній моделі, безпечна передача медичних електронів.

4. Основні задачі дослідження аналіз каналів зв'язку, стандартів протоколів та технологій передачі медичних даних, дослідження системи передачі медичних даних, розробка та випробування інформаційної системи передачі мед. інформації, розробка системи з візуалізацією мед. інформації.

5. Термін подання роботи до захисту грудень, 2023 р.

6. Дата видачі завдання «27» 10 2022 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання

Кирилюк Є.А.
(підпис)

Кирилюк Є.А.
(підпис)

Чухов В.І.
(прізвище, ініціали)

Кирилюк Є.А.
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

В роботі проведено дослідження та розробка інформаційно-телекомунікаційної системи передачі медичних даних – системи, що забезпечує збирання, пошук, оброблення та передачу інформації для подальшого аналізу.

Проведено дослідження по передачі медичних даних з давачів (сенсорів) на телефон Android з використанням Arduino і модуля NRF24L01 через Bluetooth (BLE). Але з врахуванням недоліків, з'ясованих в ході роботи, запропонована методика передачі даних на віртуальний сервер та на мобільний додаток за допомогою модуля Raspberry PI за технологією Wi-Fi.

ABSTRACT

The research and development of the information and telecommunication system for the transmission of medical data is carried out in the work – a system that provides collection, search, processing and transmission of information for further analysis.

A study was conducted on the transfer of medical data from sensors (sensors) to an Android phone using Arduino and the NRF24L01 module via Bluetooth (BLE). But taking into account the shortcomings revealed during the work, a method of data transfer to the virtual server and to the mobile application using the Raspberry PI module using Wi-Fi technology is proposed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ.....	
1.1 Виникнення, еволюція та основні завдання телемедицини сьогодні.....	9
1.2 Аналіз сфери використання медичних інформаційно- телекомунікаційних систем	11
1.3 Структура системи ІТС передачі медичних даних.....	15
1.4 Приклади сучасних та іноземних ІКТ систем.....	16
Висновки до розділу 1.....	25
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО- ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ.....	
2.1 Основні принципи організації інформаційно- телекомунікаційних систем медичного призначення.....	27
2.2 Стандарти передачі медичної інформації.....	28
2.3 Сучасні структурно-логічні моделі інформаційно- телекомунікаційних систем медичного призначення.....	37
2.4 Вибір технології передачі даних	41
2.5 Модель OSI	56
Висновки до розділу 2.....	58
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО- ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ	
3.1 Проектні рішення по структурі та архітектурі побудови ТКС передачі медичних даних	61
3.2 Передача даних з давачів на телефон Android з використанням Arduino і модуль NRF24L01 через Bluetooth (BLE).....	63
3.3 Використання модуля Raspberry PI для передачі медичних даних за технологією Wi-Fi.....	67
3.4 Архітектура програмного забезпечення віддаленої системи моніторингу медичних даних.....	68
3.5 Об'єднання сенсорів та модулів в єдину систему.....	69

3.6 Передача даних на сервер	73
3.7 Захист та конфіденційність при передачі медичних даних ...	78
3.8 Додаток інформаційно-телекомунікаційної системи передачі даних.....	82
Висновки до розділу 3	85
ВИСНОВКИ	87
ЛІТЕРАТУРА	88

ВСТУП

Стрімкий розвиток сучасних інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС), у тому числі сенсорних мереж, та їх широке застосування в різних сферах людської життєдіяльності зумовлене поступовим зменшенням розмірів апаратних засобів і розвитком систем оброблення інформації, яку вони здатні генерувати та передавати. Завдання створення сенсорних мереж будь-якої складності супроводжується розв'язанням ряду задач, серед яких реєстрація, передавання та оброблення інформації.

У даний час у системі охорони здоров'я здійснюється інтенсивне впровадження електронного документообігу та розвиток телемедицини. Технологічно такого роду телекомунікація повинна забезпечувати пряму передачу медичної інформації в різних форматах (історія хвороби, дані лабораторних досліджень, рентгенівські знімки та результати КТ, МРТ, УЗД тощо), а також відео конференц-зв'язок в режимі реального часу між медичними установами або лікарем і пацієнтами.

Інформація та дані, які циркулюють в медичних мережах, вимагають нових підходів до їх обробки та аналізу – медичні зображення і записи треба не тільки передавати, але і зберігати, одночасно обробляти і аналізувати. Забезпечення широкомасштабних потоків переданої інформації має на увазі глобальне переосмислення і оновлення існуючих інформаційно-комунікаційних мереж систем та їх архітектури.

В той же час швидкими темпами розвивається телеметрія – сукупність технічних засобів і методів вимірювання на відстані різних фізичних, технічних та інших величин у медичних, енергетичних, транспортних та інших установах; передавання визначених даних з будь-якої точки на віддалений термінал.

Питанням розробки ефективних ІТС присвячені дослідження багатьох вітчизняних та світових вчених, серед них: Баран П., Галлагер Р., Скляр Б., Хаффман Д., Шеннон К., Беркман Л.Н., Золотарьов В.В., Ільченко М.Ю., Конахович Г.Ф., Поповський В.В., Поляков П.Ф., Юдін О.К. Однак, сучасні

медичні інформаційно-телекомунікаційні системи є складовою реалізації технологій і методів впровадження ІТС різних класів. Інформаційні системи медичного призначення різняться залежно від методів інтеграції до ІТС загального або спеціального призначення. Різноманіття класів та структурно-логічних схем їх реалізації базується залежно від типу сигналів, що використовуються, частотного діапазону, типу медичних даних, протоколів зв'язку, видів послуг тощо.

Отже, сучасні медичні ІТС є складними системами, що складаються з різного медичного та комунікаційного обладнання. Це обладнання використовують різні спеціалізовані комунікаційні інтерфейси та протоколи, що ускладнює їх взаємодію. Для вирішення цієї проблеми існує гостра потреба в розробці та впровадженні уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання. Ця модель повинна бути здатною адаптуватися до будь-яких характеристик фізичного середовища передачі даних і надавати можливість узгодити параметри різних рівнів моделі «Взаємодії відкритих систем» (OSI).

Метою роботи є дослідження та розробка інформаційно-телекомунікаційної системи передачі медичних даних – системи, що забезпечує збирання, пошук, оброблення та передачу інформації на сервер та/або мобільний телефон.

Задачі, які необхідно вирішити для зазначеної мети:

- аналіз каналів зв'язку, стандартів, протоколів та технологій передачі медичних даних;
- вибір типу технології безпроводної передачі медичних даних;
- дослідження модулів для передачі медичних даних до мобільного пристрою/сервера;
- розробка та впровадження уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання;
- розробка макету додатку з візуалізацією медичної інформації.

Об'єктом дослідження є процес передачі медичних даних.

Предметом дослідження є методи і засоби отримання та передачі до мобільного пристрою/серверу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ

1.2 Виникнення, еволюція та основні завдання телемедицини сьогодні

Історія передачі медичної інформації на відстань розпочалася після винаходу телефону. Спроби використання каналів зв'язку для надання медичної допомоги на відстані робилися ще в першій чверті XX століття. Так, у Швеції в 1905 році була здійснена передача сигналу електрокардіограми по телефонних лініях зв'язку, а з 1922 року в університетському госпіталі Готтенбурга по радіоканалах проводилися медичні консультації моряків, які перебували у плаванні, з 1935 року аналогічна служба працює в Італії. У 1959 році в США була проведена телевізійна консультація психіатричного хворого, в тому ж році в Канаду було передано зображення флюорограми легенів.

Перші спроби передачі медичних сигналів та зображень були в кінці 1950-х - початку 1960-х років, коли почалося активне освоєння космосу. Оскільки космонавти перебували на величезній відстані від Землі виникла природна потреба моніторити їх фізіологічні параметри віддалено. Першими кроками передачі медичної інформації можна вважати телеметричний запис фізіологічних показників у перших космонавтів, а також перші дані їм медичні поради. Надалі була введена реєстрація сейсмокардіограмми, розроблені спеціальні методи і апаратура для дистанційного реєстрації основних фізіологічних і біохімічних параметрів організму людини в умовах космічного польоту, для передачі цієї інформації на землю і прийняття своєчасних заходів по корекції виникаючих порушень.

У 1965 році американський кардіохірург М. ДеБейкі, використовуючи супутниковий канал зв'язку, консультував хід операції на серці, що

виконується в Женеві (Швейцарія). З 1970-х років в США здійснювалася передача даних через засоби космічного зв'язку між медичними центрами Арізони, Бостона, Канади.

Ці дослідження поклали основу поняттям «телемедицини» – галузь медицини, що використовує телекомунікаційні й електронні інформаційні технології для надання медичної допомоги на відстані; «телеметрії» – напрямок, який вивчає технічні засоби і способи передавання на відстань результатів контролюючих об'єктів, телевимірювання, вимірювання на відстані засобами телемеханіки фізичних величин, які характеризують стан об'єктів, що контролюються.

Саме у другій половині XX століття з'явилися перші телеметричні системи, які пізніше почали використовувати в спорті, авіації та військовій медицині.

Наступним важливим етапом у розвитку телемедицини стала поява мобільних медичних станцій, які дозволяли надавати дистанційну допомогу у віддалених регіонах завдяки використанню супутникових технологій. Так, наприклад, в рамках проєкту NASA STARPAHS (Space Technology Applied to Rural Papago Advanced Health Care) медичну допомогу отримали майже 4 тис. осіб.

З кінця минулого – початку XXI століття, коли у світі почався глобальний розвиток інформаційних технологій, телекомунікаційні системи передачі медичних даних виконують широке коло завдань у суспільстві. Успіхи телемедицини визначаються рівнем розвитку систем зв'язку та обчислювальної техніки, а також появою сучасних смартфонів. Сьогодні технології дозволяють зареєструвати будь-яке зображення, приготувати його для пересилання, передати за розумний час, а, якщо потрібно, то і в реальному масштабі часу, на будь-яку відстань, прийняти і розшифрувати цю інформацію практично без втрати якості та представити для спільного обговорення.

В останній період значні досягнення у телемедицині обумовлені тим, що на зміну аналоговому телебаченню прийшли цифрові канали передачі інформації, широкого поширення набули глобальні мережеві комунікації.

Наочний приклад дослідження сучасності – Програма TeleScot, нині досліджує можливості телемедицини в наданні допомоги пацієнтам з хронічними захворюваннями (наприклад, ХОБЛ-(хронічною обструктивною хворобою легенів (ХОБЛ);) у Шотландії. У одному з досліджень задіяні понад 250 чоловік з важкою формою ХОБЛ, половина з яких була забезпечена пристроями з сенсорними панелями, щоб вони могли реєструвати свої симптоми кожен ранок. Пацієнти також використовують пульсоксиметри – для вимірювання рівня насичення крові киснем і частоти пульсу, пікфлоуметр – для виміру параметрів дихання і ваги – для виміру ваги. Ці результати автоматично передаються команді фахівців-медиків по захищеному інтернет-каналі за допомогою спеціально створеної комп'ютерної програми. Ця програма розподіляє пацієнтів відповідно до кольорового кодування в червону, жовту або зелену категорію, так що фахівці можуть відразу визначити, до кого необхідно зробити візит або подзвонити, а чий стан зараз є стабільним.

1.2 Аналіз сфери використання медичних інформаційно-телекомунікаційних систем

Сучасні інформаційно-телекомунікаційні системи медичного призначення є результатом поєднання технологій та методів впровадження ІТС різних класів. ІТС медичного призначення різняться в залежності від методів їх інтеграції до ІТС загального або спеціалізованого призначення. Різноманіття класів та структурнологічних схем їх реалізації обумовлене широким спектром типів застосовуваних медичних даних, особливостями реалізації протоколів передачі даних, параметрами необхідного апаратного забезпечення тощо. Базовою задачею ефективного використання ІТС з початку їх розвитку до теперішнього часу, безумовно є завадостійкість

передачі даних. Зрозуміло, що в умовах кризових ситуацій, спеціальні медичні системи набувають стратегічного значення в боротьбі за життя людини.

Медицина на сучасному етапі розвитку суспільства є найбільш прогресивною та наукоємною галуззю медичної сфери діяльності держави і суспільства. Стратегічне та тактичне завдання медичних ІТС полягає у наданні медичних сервісів на базі ІТС різних класів за умов забезпечення гарантованої якості передачі, обробки, зберігання та аналізу медичних даних [1]. При наявності збройних конфліктів на території країни, важливим є завдання передачі медичної інформації про стан людини на відстань, що передбачає організацію передачі та обробку даних в медичних ІТС з віддаленим доступом. Результатом використання медичних технологій є підвищення якості та швидкості надання медичних послуг, особливо в районах збройних конфліктів зі зруйнованою медичною інфраструктурою. Можна виділити наступні історично сформовані основні сфери застосування інформаційно-комунікаційних технологій в медицині (рис. 1.1) [1-3].



Рисунок 1.1 – Напрямки використання медичних ІТС систем

Найбільш поширеним напрямком застосування медичних ІТС є дистанційні консультації. Дистанційні консультації можуть використовувати як статичні (відео, аудіо, текст), так і динамічні (конференцзв'язок) інформаційні ресурси (рисунок 1.2).



С.

Рисунок 1.2 – Проведення операції через Інтернет на відстані 30 км точним судинним роботом, розрабленим в Corindus [4]

Сучасний медичний конференцзв'язок можна розділити на два класи – консультації (режим «точка-точка») та консилиуми («багатоточковий» режим), що передбачають організацію безпосереднього спілкування між пацієнтом, лікарем супроводження та лікарем консультантом в режимі реального часу.

Організація конференцзв'язку (на базі динамічних ресурсів) передбачає встановлення спеціального обладнання (цифрової відео- та аудіоапаратури зйому та 15 передачі даних) з доступом до широкосмугових каналів зв'язку,

використання спеціалізованого програмного забезпечення (ПЗ) та спеціалізованих протоколів обміну даними.

Системи відеоконференцзв'язку зазвичай працюють на ISDN-лініях. ISDN (цифрова мережа з інтеграцією служб) – це мережа, ідеологія якої споріднена з телефонною, але будується не на аналогових, а на цифрових каналах зі швидкістю від 64 до 128 Кбіт/с. Для відеорежиму вважається мінімально прийнятною швидкість передачі даних 128 Кбіт/с. Є й більш високошвидкісні технології – 384 Кбіт/с, 512 Кбіт/с і вище (до декількох Мбіт/с), до яких відносяться АТМ (Asynchronous Transfer Mode-протокол асинхронного перенесення), frame relay.

ІТС медичного призначення (для динамічного спостереження), дозволяють реєструвати фізіологічні та біометричні параметри організму пацієнта і передавати їх на базову станцію для подальшого аналізу. Подібні системи вже використовуються для пацієнтів, що потребують безперервного нагляду та частих обстежень (рис. 1.3, 1.4).

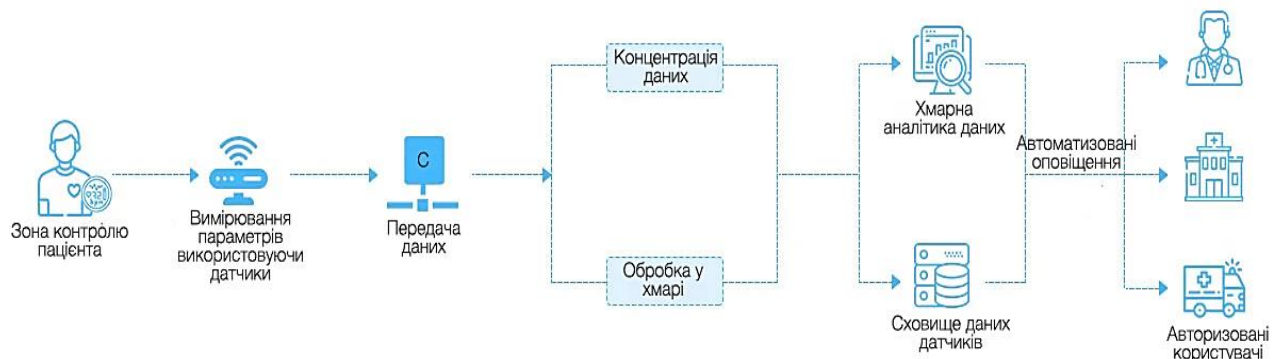


Рисунок 1.3 – Схема роботи системи дистанційного діагностування

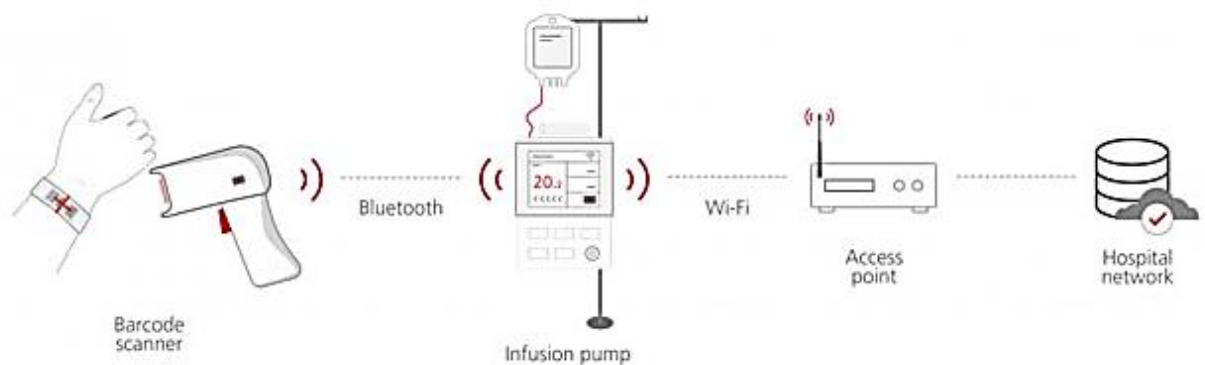


Рисунок 1.4 – Схема роботи системи дистанційного моніторингу частоти серцевих скорочень та необхідності прийому ліків [5]

ІТС медичного призначення також застосовують в Збройних силах України при підготовці і проведенні військових операцій в зоні бойових дій та у віддалених районах при кризових ситуаціях. Для передачі даних сучасні ІТС медичного призначення використовують стандарти 3G, 4G, 5G Wi-Fi, WiMAX, LTE. Для доставки критичних даних з віддалених територій застосовують супутникові системи, серед яких система міжнародного морського супутникового зв'язку.

1.3 Структура системи ІТС передачі медичних даних

Всі ситуації комунікації передбачають наявність відправника інформації, одержувача її та каналу передачі. Між деяким відправником S й одержувачем R завжди є канал передачі n , через який проходить повідомлення (рис. 1.5).

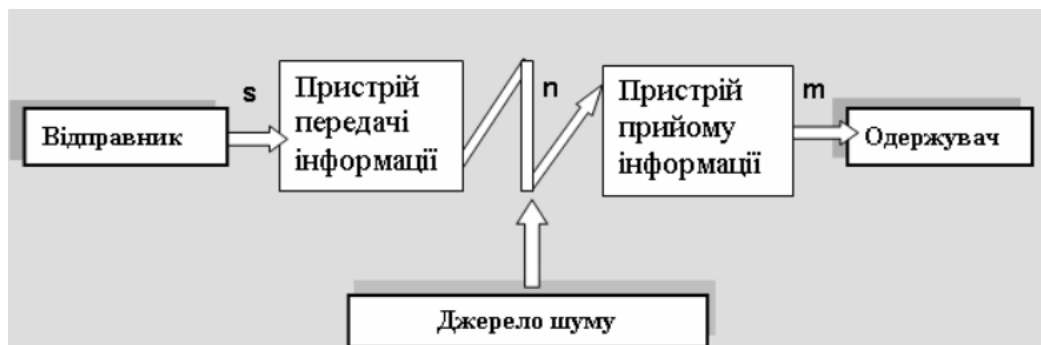


Рисунок 1.5 – Загальна схема передачі інформації

Відправник передає сигнал s ; під час передачі він проходить через канал передачі, в результаті чого відбувається накладення на сигнал s шуму n , таким чином, що на вузлі одержувача маємо суміш $m = s + n$.

Повідомлення можуть бути передані по різному (різним способом, різним алфавітом). Щоб інформацію більш економно і точно передати по каналам зв'язку, її треба відповідним чином закодувати. Повідомлення, яке закодували певним чином, приймає вигляд сигналів – носіїв інформації, що проходять по каналу. При переході до приймача, сигнали повинні прийняти

знову загальноприйнятий вигляд. З цією метою сигнали проходять повз пристрій декодування, приймаючи форму, зручну для абонента (рис. 1.6).

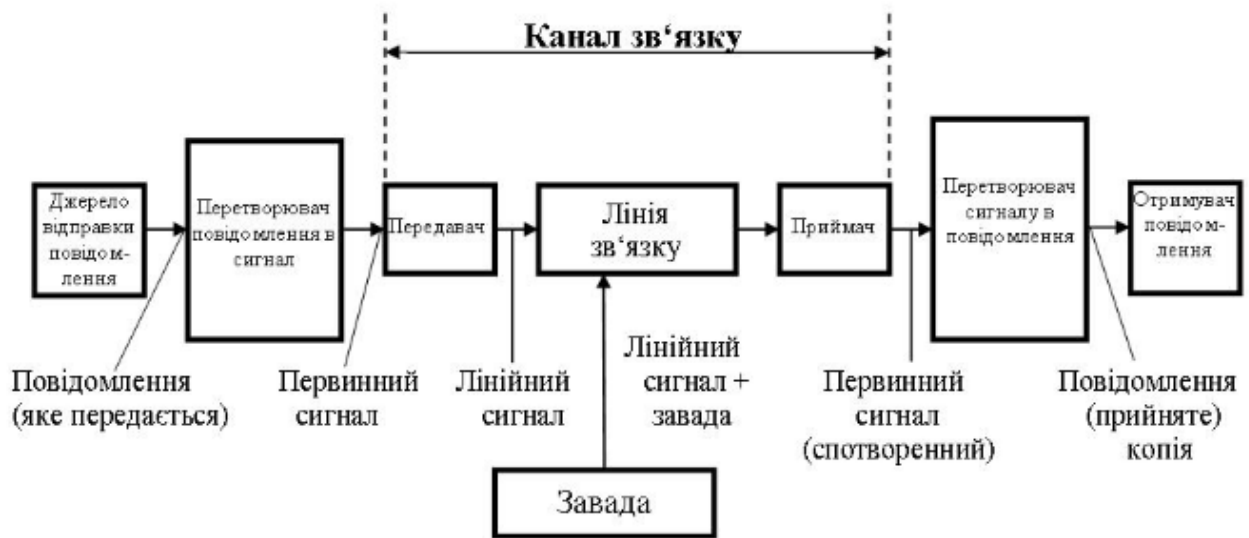


Рисунок 1.5 – Уточнена схема передачі інформації

1.4 Приклади сучасних та іноземних ІКТ систем

Телемедичні платформи та додатки почали розвиватись в Україні [16-22] на початку 2020р., а саме:

- Телемедична Платформа «Лікар-Пацієнт» [16] Telemed24 на базі PIMC «Медстар».
- «Поліклініка без черг» [18] – модуль, який дозволяє надавати безкоштовні телемедичні консультації пацієнтів в медичній інформаційній системі
- На період карантину безкоштовна консультація лікарів доступна у додатку Doctor Online [19]. Користувачі цього додатку, незалежно від місця перебування, мають змогу проконсультуватися з лікарями та отримати рекомендації, використовуючи чат, відео- або аудіо-дзвінок. За допомогою цього додатку можливо безкоштовно пройти он-лайн тест на COVID.
- Телемедична мережа Medinet [20], в рамках якої надаються телемедичні консультації у форматі «лікар первинної ланки – лікар-спеціаліст», дозволяє медичним закладам фіксувати, збирати статистику та

робити аналітику, пов'язану з консультаціями щодо захворюваності на коронавірус COVID-19. Це дає можливість передавати актуальну статистику в обласні ДОЗ та Центр громадського здоров'я, які використовують її для розробки подальших протиепідемічних заходів.

- Платформа Медікіт [21] надає можливість отримати консультацію лікаря он-лайн.
- Марта Medbot [22] – медичний чат-бот, який був впроваджений спочатку в телемедичну мережу м. Маріуполя, надає можливість запису на прийом до лікаря, допомагає отримати інформацію щодо медичної реформи в Україні, прав пацієнта, вакцинацію.

Приклади сучасних іноземних систем дистанційного діагностування. Система RPTM [6] – призначена для впровадження інфраструктури охорони здоров'я, яка підтримує безпеку та здоров'я людей залежно від нових технологій, що з'являються.

У системі RPTM існує три основних акаунти; кожен з них має свої обов'язки і відіграє певну роль у системі:

1. Пацієнт: це головний учасник системи. Через мобільний пристрій-Android, є можливість відстежити розташування пацієнта (за допомогою вбудованого приймача GPS) та слідкувати за життєвими показаннями (отриманими від медичних датчиків). Мобільний пристрій обробляє зібрані дані про стан здоров'я, зберігає їх локально та періодично надсилає на сервер.

2. Лікар: використовує мобільний пристрій Android для проведення запитів щодо життєвих показників пацієнта. У разі надзвичайного стану пацієнта лікарю буде надходити повідомлення «тривоги» з сервера. Крім того, лікар може здійснити запит про стан здоров'я своїх пацієнтів за допомогою веб-служби.

3. Системний адміністратор: система працює максимально автоматизовано; хоча в деяких випадках системний адміністратор потрібен, щоб змінити робочий процес або прийняти рішення, коли є потреба у взаємодії з людьми.

систем розподіленого збору й обробки інформації, математичних моделей для діагностики й прогнозування різних патологічних процесів.

Для швидкодії збирання та зберігання інформації необхідно забезпечити адекватний процес оброблення інформації. Для кращої передачі даних необхідне застосування її стискання та кодування [7]. В багатьох випадках терміни переробки та проходження медичної інформації через канал зв'язку та час, необхідний для прийняття рішення, не збігаються і рішення приймається із запізненням або при неповній переробці інформації, що негативно позначається на функціонуванні соціально-медичних систем [7, 8]. Канал передачі інформації [8, 9] – це речовина або поле, які під впливом зовнішніх факторів змінюють свої фізичні властивості в часі чи просторі.

У каналі зв'язку на сигнал впливають шуми, які частково спотворюють цей сигнал. Отримувач інформації може отримати не той сигнал, який передало джерело інформації. Тому необхідно забезпечити високу перешкодостійкість телекомунікаційної системи. Від пропускну здатності каналу зв'язку [10], тобто кількості інформації, яку він може передати за одиницю часу при умові, що приймач інформації зможе її правильно розкодувати [10] в процесі переробки інформації багато в чому залежить дієвість та ефективність управлінських рішень.

Кодування інформації здійснюється також з метою систематизації обліку медичних документів, створення необхідних умов для ефективного зберігання та використання інформації про ці документи, забезпечує умови для зручності їх обробки. Для стискання інформації використовуємо статистичні алгоритми. Адаптивні алгоритми (алгоритм Хаффмана) [9, 10] починають працювати з фіксованою початковою таблицею частот символів, що в процесі роботи змінюється залежно від зустрічних символів файлу. Переваги даного методу полягають у тому, що він потребує лише одного проходу по файлу і не потребує «прив'язки» таблиці частот символів, та досить ефективно стискає широке коло файлів. В ряду з алгоритмом Хаффмана використовуємо логічне сортування графічних даних [10].

При передачі зображень для їх стискання найчастіше використовують афінні перетворення [10], які дозволяють зсовувати, зменшувати чи збільшувати, стискати чи розтягувати зображення з відображенням множини квадратів у множину паралелограмів. Використання багатократних методів модуляції корегуючих кодів дозволяє знизити вимоги до рівня перешкод в каналі та впливу міжсимвольних змін і зменшити вірогідність помилки шляхом збільшення часу передачі одного символу кодової комбінації. Ця методика кодування дозволяє підвищити точність інформації, що передається, та забезпечує високу якість передачі та обробки інформації [11, 12]. Можливе застосування програм, що здійснюють кодування й декодування інформації на льоту, працюють в режимі надлишкового кодування і практично не вимагають втручання оператора та дають можливість відновити інформацію у випадку пошкодження носія. Програма використовує промисловий стандарт AES, 256-розрядне кодування і є надійним захистом від прямого перебору паролів. Передача інформації ділиться за способом передачі, підрозділяється на рівні і споживає тим більшу кількість енергії, чим нижчий (грубіший) спосіб передачі.

Передача інформації відбувається у формі окремих сигналів. Приймач отримує повідомлення, для чого використовує певні запам'ятовуючі пристрої для нагромадження сигналів, та проводить його розкодування. Канал зв'язку передає інформацію в просторі і характеризується певною пропускнуою спроможністю. Для підвищення достовірності разом із кожною порцією інформації передаються контрольні розряди. Розкодовуючи, приймач перевіряє, чи контрольний розряд, який він отримав, дорівнює тому, що надіслав передавач. Якщо не дорівнює, то це означає, що під час передачі внаслідок шумів десь виникло спотворення повідомлення. Максимальна довжина контрольних розрядів дорівнює повторній передачі повідомлення (контроль методом дублювання). Для більшої ймовірності передачі достовірної початкової інформації використовуємо контрольні розряди, що самовідновлюють інформацію [12].

Шуми і перешкоди можуть впливати на прийнятий сигнал. Причиною виникнення дрейфу фази в системі є зміна довжини тракту, що найбільш суттєво проявляється при зв'язку через супутник. Схематичне зображення системи зв'язку і передачі інформації наведено на рис.1.7. Ця схема показує найбільш істотні елементи будь-якої системи зв'язку: комп'ютерної мережі, системи супутникового чи мобільного зв'язку тощо.

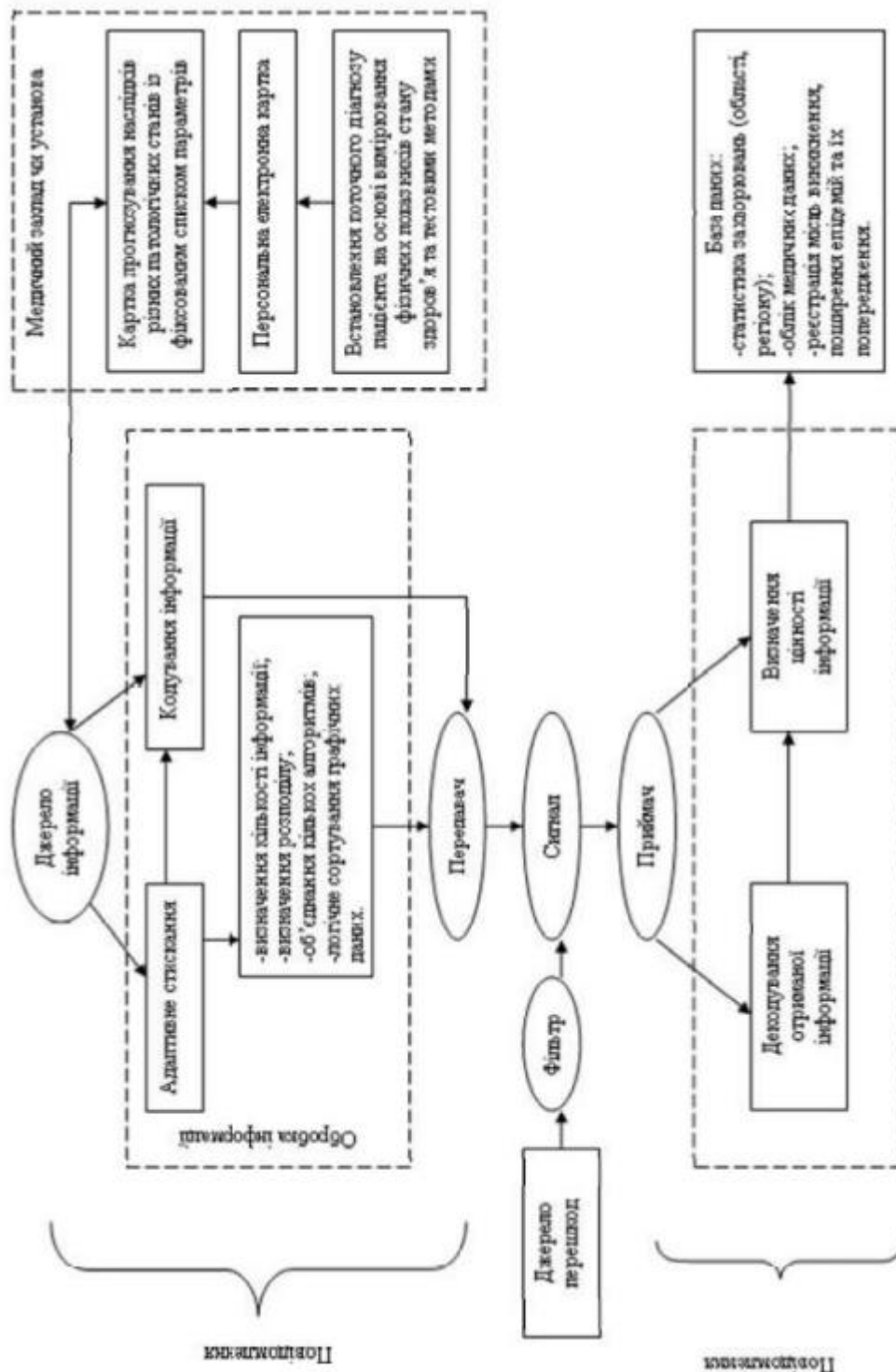


Рисунок 1.7 – Схема передачі інформації системою зв'язку за [12]

Результат отриманої інформації після проведення процедури декодування [12], також реєструється для створення єдиної бази даних статистики захворювань (області, регіону) з метою попередження виникнення та запобігання поширенню епідемій при, наприклад, інфекційних захворюваннях. Оброблена інформація реєструється і зберігається в банку даних, який складається і ведеться з метою забезпечення єдиного обліку та формування єдиного інформаційного фонду статистики медичних документів [13].

Система статистичного збору інформації наведена на рис. 2. Цей вид зв'язку застосовується для консультування, у разі нагальної необхідності, провідними фахівцями на відстані в реальному часі при проведенні так званої відеоконференції.

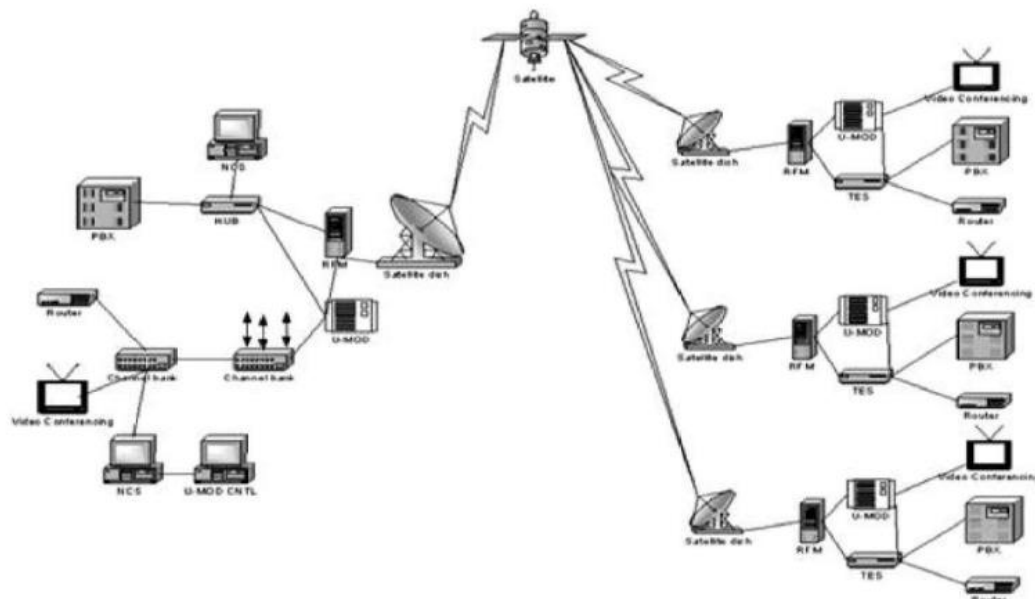


Рисунок 1.8 – Схема збору інформації на відстані супутниковою системою зв'язку та метод проведення консультування в реальному часі

Однією з найбільш важливих властивостей інформації є її корисність. Міру цінності інформації [1] згідно з А. Маркевичем, визначають як зміну ймовірності досягнення мети в разі отримання цієї інформації

$$I_{\text{и}} = \log p_1 - \log p_0 = \log \frac{p_1}{p_0}$$

де p_0 – початкова імовірність досягнення мети;

p_1 – імовірність досягнення мети після отримання інформації

Даний канал зв'язку має достатню пропускну здатність і стійкість до шумів, що сприяє прийняттю найбільш ефективних рішень.

Розроблені програмні процедури дозволяють проводити аналіз медичної інформації для встановлення причинно-наслідкових зв'язків параметрів та розробки карток прогнозування наслідків різних патологічних станів. Зазначена технологія використовує алгоритм визначення інформативності ознак предметного середовища, що характеризує розпізнавальні об'єкти чи явища, значення яких складають непараметричні сукупності, що не мають адекватного числового вираження. Класифікація об'єктів розпізнавання заснована на побудові системи еталонів [10, 13].

Наведені методи кодування та декодування забезпечують взаємну однозначність перетворень відображуваної множини A у множину B , що її відображує в результаті кодування та оберненого перетворення; економічність кодування, що забезпечується мінімізацією середньої довжини комбінацій, завдяки чому заощаджується час передавання тексту і носії інформації та збоєстійкість під впливом тих чи інших перешкод та збоїв. Головним у системах обробки сигналів є точність та корисність. Інформація про стан контрольованого об'єкта, а також якість виконання керуючих цим об'єктом сигналів, повинні бути абсолютно точними.

Збільшення кількості пацієнтів, що потребують постійного догляду, є значною проблемою для медичного персоналу в умовах пандемії. Сьогодні для спостереження за пацієнтами використовуються різноманітні системи моніторингу пацієнтів, а також бездротові медичні пристрої, але все ж пацієнти повинні залишатися в зоні покриття бездротових пристроїв. Необхідність спостереження за станом великої кількості хворих з різною ступінню тяжкості протікання хвороби COVID-19 і скінченні ресурси системи охорони здоров'я призводить до необхідності розробки та дослідження можливості використання системи дистанційного моніторингу

таких пацієнтів. В даній роботі розглядається система віддаленого відстеження стану та спостереження за пацієнтами. Система контролює життєві показники пацієнта за допомогою бездротових медичних датчиків. Медичний датчик надсилає дані на мобільний пристрій на базі Android та ІОs, який, у свою чергу, періодично надсилає дані про стан здоров'я пацієнта на сервер. Запропонована система дозволяє пацієнтам проходити лікування без нагляду, вона відстежує їх стан, використовуючи зібрані дані GPS з мобільного пристрою, і направляє їх до бригади медичної допомоги у будьякому випадку надзвичайної ситуації зі здоров'ям. Крім того, сервер повідомляє лікаря пацієнта про стан та місцезнаходження. Для зменшення розміру даних GPS, які періодично збираються, використовується спеціальний метод стиснення. Запропоновані компоненти системи можуть взаємодіяти між собою через третю сторону, і між ними немає прямого доступу. Передані дані шифруються ключем P2P за допомогою AES. Лікарі можуть запитувати своїх пацієнтів за допомогою спеціального додатків. Крім того, вони можуть робити запити за допомогою встановленого веб-сервера "електронної охорони здоров'я", в якому використовується більш широкий спектр інформаційних та комунікаційних технологій. Цей мобільний монітор знімає наступну інформацію про стан здоров'я пацієнта: температуру, частоту серцевих скорочень та сатурацію крові. Дані зберігаються локально перед відправкою на сервер через GPRS; він також перевіряє наявність відхилення стану здоров'я, і у випадку виникнення такого аномального стану мобільні пристрої генерують сигнал тривоги та надсилають його на сервер. Сервер виконує набір екстрених кроків, щоб направити групи медичної допомоги до пацієнта якщо це необхідно. Вся локальна та віддалена інформація шифрується для забезпечення секретності конфіденційних даних (наприклад, про місцезнаходження кожного пацієнта).

Структура системи дистанційного моніторингу пацієнта з COVID-19 складається з шести основних частин. Кожна з них виконує такі функції:

1. Моніторинг: життєві показники пацієнта періодично фіксують за допомогою медичних датчиків, прикріплених до тіла пацієнта.

2. Медична обробка та аналіз: показники пацієнта аналізуються та перевіряються залежно від стандартів медицини, щоб виявити відхилення стану здоров'я пацієнта, якого контролюють.

3. Контроль по GPS: положення пацієнта контролюється постійно, щоб забезпечити можливість госпіталізації пацієнта в надзвичайній ситуації.

4. Стабільний зв'язок: хоча GPRS використовується як основний носій зв'язку (покриття мобільних мереж третього і четвертого покоління досі не є суцільним), послуги встановлення голосового каналу можуть використовуватися як альтернативні методи в екстрених випадках.

5. Збереження інформації: інформація про стан здоров'я пацієнта зберігається локально в локальній базі даних пацієнта, а також у головній БД. Система збереження даних може одночасно охоплювати різні етапи роботи.

Основними етапами є:

- Реєстрація та оновлення інформації. На цьому етапі система виконує процес реєстрації пацієнта. Завдання реєстрації включає внесення інформації про пацієнта та лікаря. Ця інформація може бути частково оновлена в будь-який час, поки система працює.

- Моніторинг: у цьому режимі система контролює стан здоров'я пацієнтів та їх місцезнаходження.

6. Безпека: лікар використовує систему дистанційного моніторингу пацієнта з COVID-19 для огляду показників пацієнта. При цьому електронний ключ лікаря повинен бути зареєстрований у системі. У разі надзвичайного стану пацієнта лікаря буде проінформовано через повідомлення тривоги, що надходять від сервера. Крім того, він може зробити запит про стан здоров'я своїх пацієнтів за допомогою вебслужби.

В загальному структурно-логічну систему України можна представити рисунком 1.9



Рисунок 1.9 – Логічна структура телемедичної системи країни

Висновки до розділу 1

Сучасні медичні інформаційні системи (ІТС) використовують широкий спектр медичного та комунікаційного обладнання. Це обладнання може бути виготовлено різними виробниками та використовувати різні комунікаційні інтерфейси та протоколи. Це може ускладнити взаємодію між різним обладнанням та ускладнити обмін медичними даними.

Щоб вирішити цю проблему, необхідно розробити та впровадити уніфіковану модель взаємодії медичного обладнання. Ця модель повинна бути здатною адаптуватися до різних характеристик фізичного середовища передачі даних, а також надавати можливість узгодження параметрів різних рівнів моделі "Взаємодії відкритих систем" (OSI).

Розробка та впровадження уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання є важливим кроком на шляху до створення більш ефективних та інноваційних медичних інформаційних систем.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ

2.1 Основні принципи організації інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення

Згідно проведеного аналізу, всі види медичних даних можна поділити на чотири класи, а саме:

- алфавітно-цифрові;
- візуально-графічні (сірошкальні, кольорові, динамічні);
- звукові;
- комбіновані.

Основну медичну інформації можна класифікувати наступним чином:

- документи в електронному вигляді;
- візуальні знімки;
- записи електричних сигналів;
- мультимедійна інформація;
- інформація в режимі відеоконференції [12,13].

Правила взаємодії програмно-апаратних складових ІТС та правила обміну інформацією між ними регламентуються стандартами та протоколами передачі даних. На даний момент існує близько сотні різних стандартів, які використовуються для передачі та обробки медичних даних. Формування та використання стандартів визначається особливостями технічних характеристик ІТС (дротових, бездротових, мішаних). Назви стандартів включають аббревіатури груп, організацій або установ, що беруть участь в їх розробці. Існує велика кількість різних стандартів для передачі різноманітних видів медичної інформації, наприклад: ASTM, ASC X12, IEEE/MEDIX, NCPDP, HL7, DICOM тощо.

Кожна група по розробці стандартів має деяку спеціалізацію. ASC X12N займається зовнішніми стандартами обміну електронними

документами, ASTM E31.11 - стандартами обміну даними лабораторних тестів, IEEE P1157 - стандартами обміну медичними даними (MEDIX), ACR/NEMA DICOM - стандартами обміну відео- та аудіоданими, і т.д. [16]. В результаті дослідження структур сучасних медичних ІТС визначено, що в них використовується різне медичне та комунікаційне апаратне забезпечення, спеціалізовані комунікаційні інтерфейси та протоколи. Визначено, що існує гостра потреба в розробці та впровадженні уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання, яка дозволить адаптуватися під будь-які характеристики фізичного середовища передачі даних, а також надасть можливість узгодити параметри різних рівнів моделі "Взаємодії відкритих систем" (Open Systems Interconnection, OSI).

Нижче зазначимо базові протоколи та найбільш часто використовувані у світі стандарти передачі інформації з урахуванням їх адаптації до медичних ІТС (рис. 2.1).

2.2 Стандарти передачі медичної інформації

Робота телемедичних систем в даний час підтримується за допомогою цілого ряду комунікаційних стандартів, які успішно застосовуються у більшості країн світу. Стандарти є невід'ємною частиною інформаційно-технологічного забезпечення охорони здоров'я на сучасному рівні і відкривають якісно нові можливості інформаційної взаємодії, інтеграції і розвитку охорони здоров'я.



Рис. 1. Стандарти передачі інформації з урахуванням адаптації до медичних ІТС

Рисунок 2.1 – Стандарти передачі інформації з урахуванням їх адаптації до медичних ІТС

2.2.1 Для більш зручного зберігання та передачі даних кількома міжнародними організаціями та промисловими компаніями був прийнятий стандарт DICOM – Digital Image and Communication in Medicine (Цифрові зображення і комунікації в медицині). Він реалізований в сучасному медичному обладнанні для отримання, обробки і передачі зображень, що полегшує обмін даними між пристроями для візуалізації зображень, пультами постобробки і системами архівування [2].

Таблиця 2.1 – Мережеві сервіси протоколу DICOM

№ п/п	Найменування мережевого сервісу	Функція сервісу протоколу DICOM
1	DICOM Store	Оброблення та збереження візуальної та іншої медичної інформації
2	DICOM Query/Retrieve	Обмін списками пацієнтів та історією їх обстежень з DICOM – пристроїв
3	DICOM Media Store	Зберігання даних на носіях інформації для інформаційного обміну
4	DICOM Service Class Provider	Програмне забезпечення (ПЗ) та операційна система (ОС) сервера (клієнт-серверна структура) для організації DICOM – мережі
5	DICOM Service Class User	ПЗ клієнта для взаємодії в DICOM – мережею
6	DICOM Modality Worklist	Формування списків проведених та необхідних досліджень пацієнтів
7	DICOM Print	Організація взаємодії ПЗ та периферійного обладнання для друку медичної інформації на спеціалізованому DICOM - обладнанні на базі DICOM - протоколів обміну та реєстрації даних

Стандарт DICOM дозволяє вирішити завдання інтеграції на основі відкритої архітектури. Стандарт забезпечує кілька зображень одного об'єкта з різною інформацією в електронному вигляді, які далі можна подавати на комп'ютерну обробку (наприклад, накладення зображень магнітно-резонансного та комп'ютерного томографа). При цьому забезпечується якість зображень в кілька разів вища, ніж на звичайних знімках. Це надає більшу інформацію про хворого і його стан, що в свою чергу покращує можливість постановки діагнозу і подальшого його лікування. Із застосуванням цього стандарту значно зменшується час проведення досліджень. Лікарням немає потреби у зберіганні плівкових знімків, що зменшує витрати.

Структура повідомлень стандарту DICOM дозволяє без додаткових зусиль виокремити з повідомлень саме зображення, що надає можливість розробнику почати з найпростішої задачі – приймання і візуалізації зображень, переданих з пристроїв вторинного збору даних, наприклад, сканерів рентгенівських знімків. При цьому застосовується програма для обробки отриманих повідомлень іншими методами візуалізації, пропускаючи другорядну інформацію. Таким чином, DICOM дозволяє організувати не тільки пересилання даних по мережі, але й їх автоматичну обробку. Він значно зменшує час підготовки і проведення досліджень, управління зображеннями та супутньою інформацією. Для досягнення найвищої

ефективності він підтримує всі стадії діагностики, знижуючи собівартість за рахунок скорочення часу обслуговування, відмови від плівок і витрат на їх зберігання, а також значного зменшення втрат зображень і результатів.

ІТС та мережа DICOM зразка, представляють собою клієнт-серверну структуру, що складається з взаємно зв'язаних компонентів та ПЗ (рис. 2.2):

- медичного DICOM обладнання, яке відіграє роль DICOM клієнтів;
- сервера для підтримки серверної структури;
- базової робочої станції обстеження та обробки даних (автоматизована діагностична станція DICOM, одна або розгалужена система);
- DICOM – периферійне обладнання.

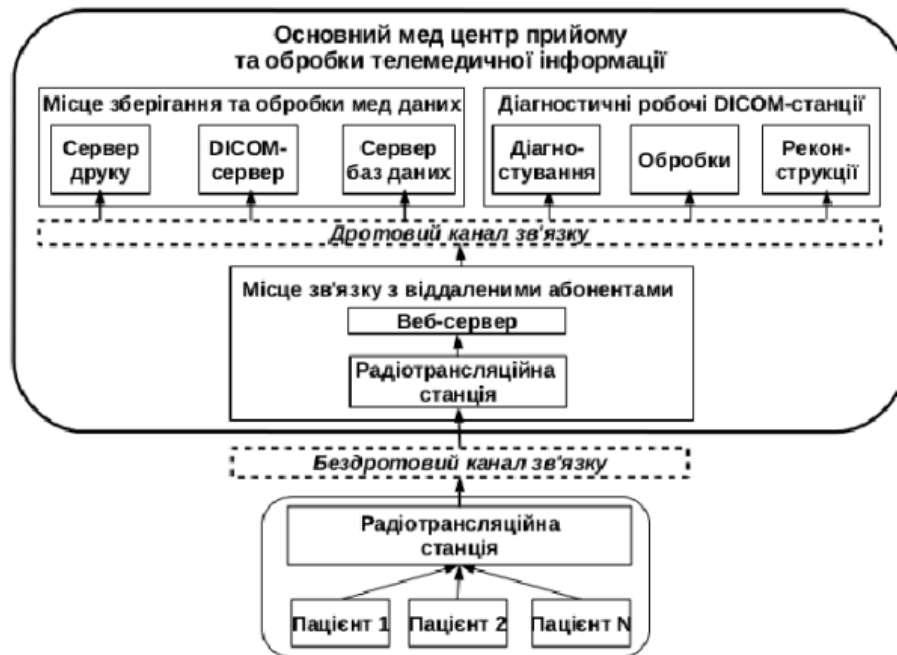


Рисунок 2.2 – Структурно-логічна схема реалізації ІТС медичного призначення на базі протоколу DICOM

На сьогодні стандарт DICOM вбудовується в обладнання найбільших виробників радіологічного обладнання (PICKER, GE, Siemens, HP, Philips) та в більшість систем архівації медичних зображень. Він підтримується національними організаціями по стандартах – CEN TC251 в Європі і JIRA в Японії [3].

Стандарт DICOM забезпечує систему цифрового зв'язку між DICOM серверами та діагностичним обладнанням, яке включає: рентгенологічну

апаратуру (RF, CF, DF, RG, MG, CR); ангіографічні комплекси (XA, DSA); комп'ютерні томографи (CT, PET); магнітно-резонансні томографи (MR); ізотопні сканери (NM); ультразвукові сканери (US, EC); мікроскопи (DM), ендоскопи (ES).

2.2.2 Стандарт Health Level 7 (HL7) . У США, в 1996 році Американським національним інститутом стандартів (ANSI) був затверджений національний стандарт обміну медичними даними в електронному вигляді – Health Level 7. Стандарт обміну медичними даними в електронному вигляді HL7 (Сьомий рівень) легко сполучається з іншими протоколами і стандартами, що дозволяє використовувати його в якості стандарту в приладах багатьох виробників медичної техніки.

Організація HL7 була заснована в 1987 році з метою розвитку стандартів для електронного обміну клінічною, фінансовою та адміністративною інформацією між різними комп'ютерними медичними системами, до яких відносяться: госпітальні інформаційні системи, клінічні лабораторні системи та інші. У такий спосіб, даний стандарт використовується для обміну саме медичними записами [26, 27]. Крім того, стандарт HL7 надає можливість єдиного представлення медичної документальної інформації без розробки спеціальних програм і інтерфейсів, тобто стандартизує обмін інформацією, а не системи, які передають ці дані. Наслідком цього є різноманітність методів застосування стандарту HL7 в різних установах охорони здоров'я. Єдина схема отримання даних є цінною властивістю не тільки для клінічних, але й для статистичних досліджень. Стандарт «Level 7» названий «сьомим рівнем» за аналогією до семи рівнів моделі «Взаємодії відкритих систем» (Open System Interconnection (OSI)) ISO (рис. 2.2) [26] і являє собою процеси самого високого рівня. Комунікаційна модель OSI – базова еталонна модель взаємодії відкритих систем.



Рисунок 2.3 – Модель взаємодії відкритих систем OSI

З рис. 2.3 видно, що модель OSI починається з 7-го прикладного рівня, на якому додатки користувачів звертаються до мережі. Після нього йде представницький рівень, що забезпечує перетворення протоколів і шифрування / дешифрування даних.

Наступний рівень – сеансовий – забезпечує підтримку сеансу зв'язку, дозволяючи додаткам взаємодіяти між собою тривалий час.

Четвертий рівень, на якому відбувається надійна передача даних від відправника до одержувача, називається транспортним.

Наступний третій рівень – мережевий – призначений для визначення шляху передачі даних. Другий рівень забезпечує взаємодію мереж на фізичному рівні й контроль за помилками, які можуть виникнути і називається канальним.

Модель закінчується 1-м рівнем – фізичним, на якому визначені стандарти, запропоновані незалежними виробниками до середовищ передачі даних: тип передавального середовища, тип модуляції сигналу, сигнальні рівні логічних дискретних станів (нуля і одиниці).

Однак, це не означає, що стандарт повністю задовольняє елементам сьомого рівня моделі OSI, оскільки він не спирається на специфікації нижніх рівнів, що належать ISO.

Стандарт HL7, проте, відповідає концептуальному визначенню інтерфейсу додатків, відповідному сьомого рівню цієї моделі. Він включає

визначення і структуру переданих даних, синхронізацію обміну та зв'язку додатків, виявлення і обробку помилок передачі повідомлень. Основна мета стандарту HL7 полягає у такій стандартизації обміну даними між медичними комп'ютерними додатками, за якої виключається або значно знижується необхідність у розробці і реалізації специфічних програмних інтерфейсів, що вимагаються за відсутності стандарту. В даний час стандарт HL7 визначає взаємодію різних систем, які посилають або отримують дані про рух пацієнта, запити даних, замовлення, результати лабораторних аналізів та діагностичних досліджень, рахунки на оплату лікування, а також зміни у файлах, що містять довідково-нормативну інформацію. У ньому не робиться спроби описати архітектуру даних усередині додатку, він розрахований на ведення центрального банку даних, а також на більш розподілене середовище, в якому дані розосереджені по інформаційних системах окремих підрозділів.

Стандарт HL7 надає можливість єдиного представлення медичної документальної інформації без розробки спеціальних програм і інтерфейсів, тобто стандартизує обмін інформацією, а не систем, які передають ці дані.

Згідно публікації [4] для надання можливості обміну інформацією між різними системам надзвичайно важливим було створення стандартного протоколу обміну для комп'ютеризації електрокардіограм (ЕКГ). Основною метою створення такого протоколу є специфікація формату даних і засобів передавання ЕКГ та висновків по прямій лінії з'єднання від будь-якого джерела запису комп'ютерної ЕКГ до центральної системи управління ЕКГ [4, 6]. Він також повинен підтримувати стандартизований обмін цифровими ЕКГ-сигналами і результатами вимірювань між різними комп'ютерними системами.

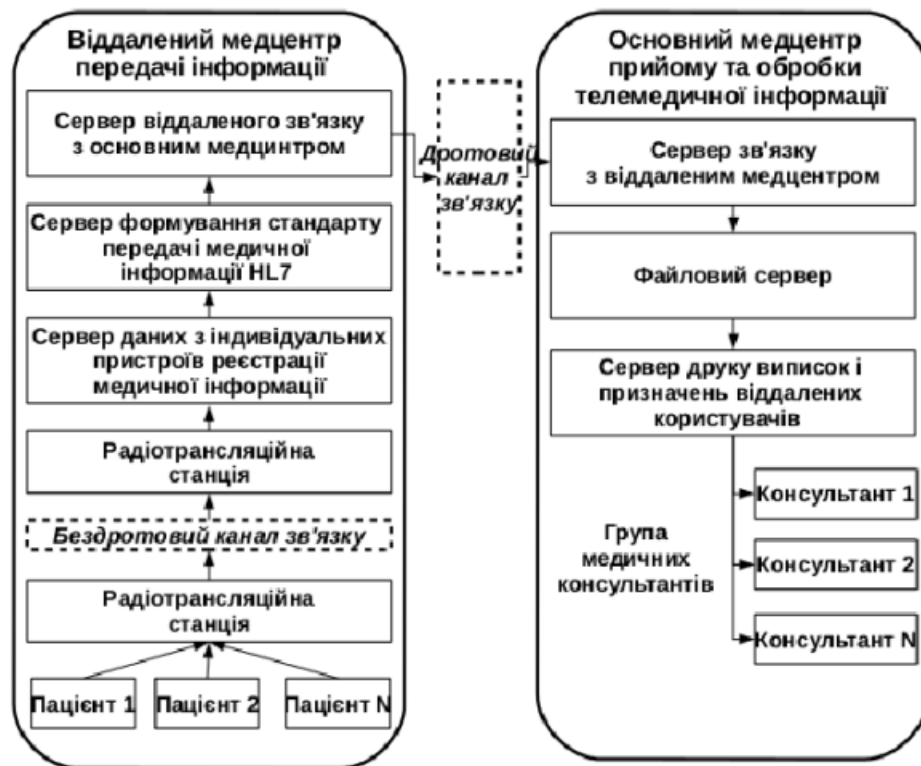


Рисунок 2.3 - Схема взаємодії медичних інформаційно-комунікаційних систем і мереж при використанні стандарту HL7

2.2.3 В результаті під егідою технічного комітету TC 251 Європейського Комітету з Стандартизації (CEN) був розроблений документ ENV1064, що є офіційним стандартом **SCP-ECG**. Standard communications protocol for computerized electrocardiography (Стандартний протокол зв'язку для комп'ютерної електрокардіографії) Європейського Союзу. Стандарт ENV1064 встановлює єдиний (стандартний) протокол передачі (SCP) ЕКГ-даних як між цифровим електрокардіографом та комп'ютеризованою системою управління, так і між комп'ютерними системами різних виробників. Стандарт SCP-ECG не накладає обмежень на фізичний рівень протоколу, а лише визначає мінімально необхідні вимоги. Саме він регламентує деякі угоди по передаванню інших даних: відомостей про пацієнта, результатів аналізу ЕКГ, умови проведення вимірювань і т.д. В рамках протоколу SCP зміст і формат ЕКГ-сигналу та результатів вимірювань, отриманих від електрокардіографів різних марок, не обов'язково повинні бути ідентичні. Наступні можливі варіанти використання записів ЕКГ-сигналу вимагають особливої уваги [4, 6]: порівняння серій ЕКГ-

сигналів та їх інтерпретацій; форматів діаграм ЕКГ-сигналів; двонаправленої передачі. Даний стандарт підтримує традиційний запис електрокардіограми у вигляді стандартних 12 відведень і вектор-кардіографію. Комп'ютерна обробка ЕКГ-сигналу може бути розділена на 3 стадії: 1) отримання, кодування, передавання і зберігання даних; 2) розпізнавання зразків і виявлення особливостей, тобто вимірювання ЕКГ-сигналу 3) діагностична класифікація.

На кожній з цих стадій існують найбільш важливі моменти для стандартизації і перевірки відповідності якості даних. Рамки стандарту обмежені першою з цих трьох стадій. Підсумовуючи аналіз комунікаційних стандартів, наведемо у табл. 1 спільні ознаки функціональності трьох стандартів. Як видно з таблиці, сучасні медичні інформаційні системи повинні проектуватися з урахуванням міжнародних стандартів створення та передачі електронного медичного документу, що дають можливість спростити сам процес передачі медичних даних по каналах зв'язку, а також створити єдину структуру електронного медичного запису та пов'язати різні системи зберігання та обміну медичної інформації. При проектуванні медичних інформаційних систем потрібно використовувати декілька стандартів передачі відразу, що дозволить прискорити процес глобалізації й подальшого розвитку телемедичних технологій в Україні.

Таблиця 2.1 Комунікаційні стандарти та їх функції

Функції у сфері охорони здоров'я	Назва стандарту		
	DICOM	HL7	SCP-ECG
Інформаційна система лікарні	+	+	+
Система зберігання і обміну зображеннями	+	+	+
Графічний діагноз	+	+	+
Архівування	+	+	+
Зображення в документації	+	+	+
Електронна історія хвороби	+	+	+

Для ефективного застосування телемедичних технологій в Україні є доцільним використання комунікаційних стандартів. В силу ряду обставин,

зокрема, через деяке відставання в області додатків інформаційних технологій в медицині, на даний момент не існує вітчизняних аналогів стандартів, що були розглянуті. Хоча в окремих медичних центрах проведена або ведеться робота з уніфікації способів зберігання, використання та ефективного електронного обміну медичними даними, але дані способи не є загальноприйнятими, універсальними і використовуються, як правило, тільки самими розробниками. Доцільно взяти міжнародні стандарти в якості базових, що в свою чергу сприятиме створенню умов для інтеграції вітчизняних систем в міжнародні, спрощенню використання у вітчизняній медицині вдалих технологічних рішень, полегшенню процесу просування вітчизняних технологій на міжнародний ринок. На даний час в нашій країні тільки починається робота в цьому напрямку, але вимагає якнайшвидшого його впровадження. При цьому підняття рівня самої стандартизації в Україні передбачає міжнародне співробітництво, активну участь розробників медичних інформаційних технологій та систем в розробці і застосуванні стандартів, а також підтримку цієї програми на рівні Держави.

2.3 Сучасні структурно-логічні моделі інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення

У загальному вигляді, відповідно до праці [10], структуру, що здійснює обробку і передачу інформації, медичної інформаційної системи можна подати згідно рис. 2.4.

На вхід ІТС медичного призначення, поступає аналоговий сигнал (джерело повідомлення: відео-, аудіо- запис, апаратура діагностування, сканери тощо) з довільного інформаційного джерела різної медичної структури діагностування або статистики.

Сигнал підлягає дискретизації з урахуванням частотних характеристик обладнання та мережі, квантується, приймає цифровий вигляд та підлягає завадостійкому кодуванню. Можуть здійснюватись процедури стиску даних

або змішані алгоритмів – стискання та завадостійкого кодування, залежно від встановлених завдань.



Рисунок 2.4 – Модель інформаційного тракту медичних інформаційно-телекомунікаційних систем

Далі сигнал у цифровій формі, подається на пристрій обробки повідомлень з урахуванням стандартних операцій попередньої фільтрації, а також виділяються та підлягають обробці основні характеристики та параметри переданого медичного сигналу. Зазначені обчислення параметрів та характеристик медичних сигналів, дають можливість сформувати інформаційні потоки, відповідно до їх функціонального призначення і динамічних вад.

Устаткування ІТС, у подальшому, виконує процедуру групування інформаційних потоків повідомлення, формує загальний каналний сигнал згідно типу протоколів, що використовується в мережі. Дана інформаційна кодова конструкція, поступає на пристрій завадостійкого кодування та в подальшому у передавальний пристрій де використовується різні типи модуляції на тлі несучої частоти (ВЧ заповнення). Поширюючись каналом передачі даних, інформаційний сигнал з ВЧ заповненням, спотворюється завадами штучного або природного походження. Зазначені завади мають, як адитивну, так мультиплікативну складову та спотворюють інформаційне повідомлення.

Пристрій декодування сигналу виділяє інформаційну складову з характеристиками джерела повідомлень. Зрозуміло, що передача, обробка, зберігання та висвітлення медичної інформації в умовах надзвичайних ситуацій є важливим науково-практичним завданням. Враховуючи, що сигнал при передаванні і обробці спотворюватися в ІТС, обов'язковим є використання в приймальному пристрої блоків завадостійкого декодування та оптимальної фільтрації. Ці процеси характеризують ефективність ІТС та її спроможність надавати якісні послуги медичного сервісу в умовах високого рівня завад.

З метою організації системи якісного медичного сервісу на базі ІТС медичного призначення, формуються сучасні канали зв'язку на основі стандартних та спеціальних комунікаційних протоколів передачі даних. На сьогодні, організація системи зв'язку здійснюється на основі всіх доступних (з технічного погляду) для впровадження типів каналів достатньої пропускної спроможності з урахуванням зростаючих обсягів медичних інформаційних потоків. Базові типи протоколів транспортного і прикладного рівня, що використовуються для організації сучасних ІТС систем медичного призначення з урахуванням передачі даних на великі відстані: TCP/IP, UDP, DHCP, ARP, FTP, Telnet, HTTP, HTTPS, SOAP і XML [4, 9]. Медична ІТС система, може використовувати для передачі інформації комутативні або без комутативні технології (чи мішані), такі як: Ethernet, Ethernet, Token Ring, ArcNet, Wi - Fi, WiMax, Bluetooth. Основою формування ІТС медичного призначення є функціональна можливість безпосереднього підімкнення медичної діагностичної апаратури через порти LAN, IEEE-1394, IEEE802.11, USB, COM, Bluetooth, S-video, RCA і т. д.

Для передавання медичних даних в ІТС, поширеною є практика застосування мобільних мереж стандарту типу GPRS, а також надається більший вибір засобам передачі, таким як: 4-5G, Bluetooth, Wi-Fi, Ethernet. Найбільш перспективним підходом для побудови систем передавання медичної інформації, безумовно, є застосування мобільного Інтернету, а також впровадження Bluetooth контролерів для зв'язку з мобільними

телефонами (станціями). Сьогодні великого поширення набув зв'язок 4G, який дає можливість передавати сигнали високої якості (з частотою дискретизації близько 2000 Гц і якістю до 24 біт) у реальному часі.

З метою вибору технології передачі даних, відповідної для застосування в складі ІТС, проведений огляд існуючих телекомунікаційних технологій і проведено їх оцінювання по наступним параметрам:

- гранична швидкість передачі інформації – визначає загальну можливість (або неможливість) передачі зазначених обсягів даних, що реєструються медичним обладнанням, як портативним так і стаціонарним;
- дальність передачі медичних даних – дана характеристика визначає мінімальну відстань між клієнтами послуг мережі в зазначеному географічному регіоні;
- поширеність технології – визначає можливість масового впровадження розроблених технологій, методів та моделей;
- надійність передачі інформації – визначає ефективність використання ІТС на тлі завад;
- вартість впровадження – визначає ринкову ціну обладнання та її економічну привабливість.

Для наочного порівняння поданих технологій і стандартів доступу до глобальних мереж, зведено в таблицю, що відбиває кількісною та якісною мірою параметри, технічні характеристики сучасних ІТС.

Таблиця 2.2

Порівняння параметрів технологій передавання медичної інформації

Технологія	Швидкість, біт/с	Дальність	Поширеність	Надійність	Вартість	Мобільність
Dial-Up	< 56 к	–	Низька	Низька	Низька	Ні
ADSL	< 24 М	–	Висока	Висока	Середня	Ні
Ehternet	< 100 М	–	Висока	Висока	Середня	Ні
WiMAX	< 75 М	25–80 км	Низька	Висока	Висока	Вище за середнє
Мобільний Інтернет	< 100 М	У зоні покриття	Вище за середнє	Середня	Середня	Висока
Супутниковий Інтернет	< 16 М	Необмежена	Низька	Висока	Дуже висока	Дуже висока

Аналізуючи наведену таблицю, зрозуміло, що треба визначити технології з високою надійністю і великим радіусом дії, оскільки ці показники більше, ніж інші, впливають на можливість практичної реалізації. Таким чином, треба виділити технології ADSL, Ethernet і мобільний Інтернет. Сучасна структура ІТС медичного призначення з врахування бездротових та дротових каналів зв'язку подана на рис. 3.

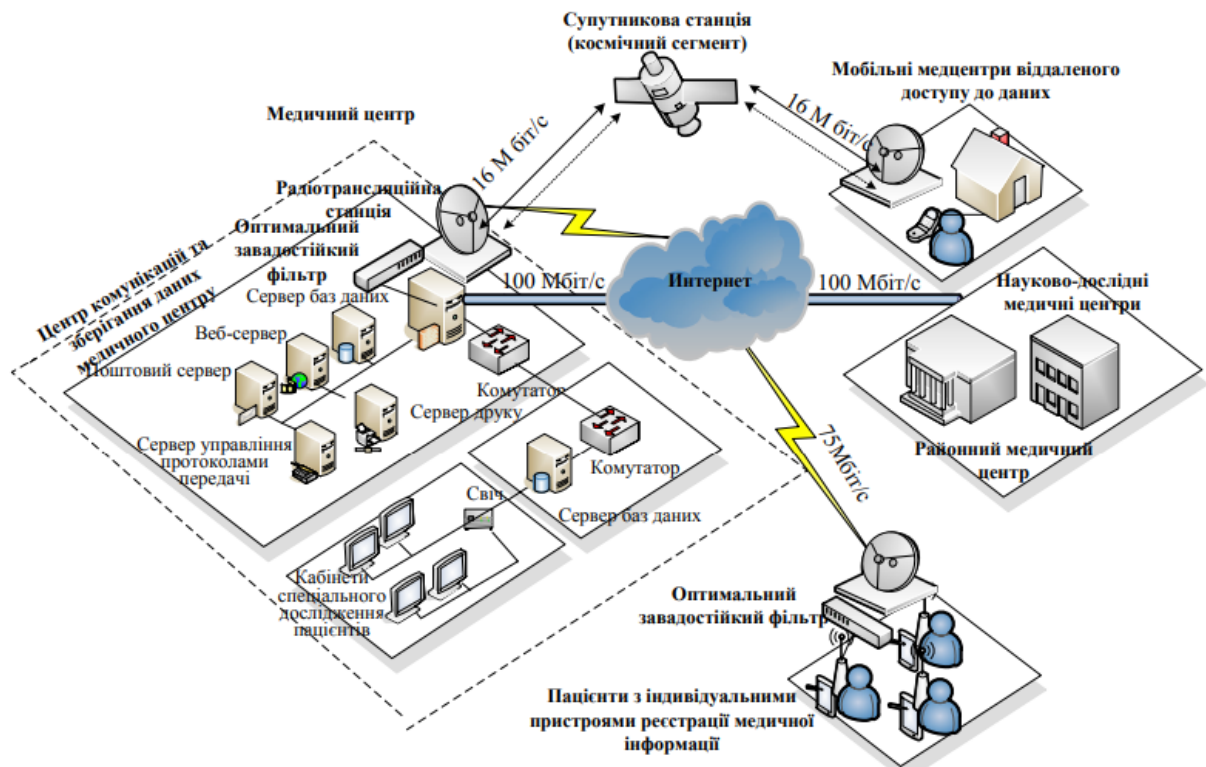


Рисунок 2.4 – Модель інформаційного тракту медичних інформаційно-телекомунікаційних систем

2.4 Вибір технології передачі даних

Із самого початку розвитку індустрії телемедичних мереж для об'єднання різнопланових пристроїв була необхідна технологія для об'єднання усіх пристроїв у єдину мережу на базі протоколу безпроводного зв'язку, котра мала бути простою та дешевою у використанні, проте, у той же час, достатньо надійною для передачі даних на відстані [27-29] (рисунок 2.5).

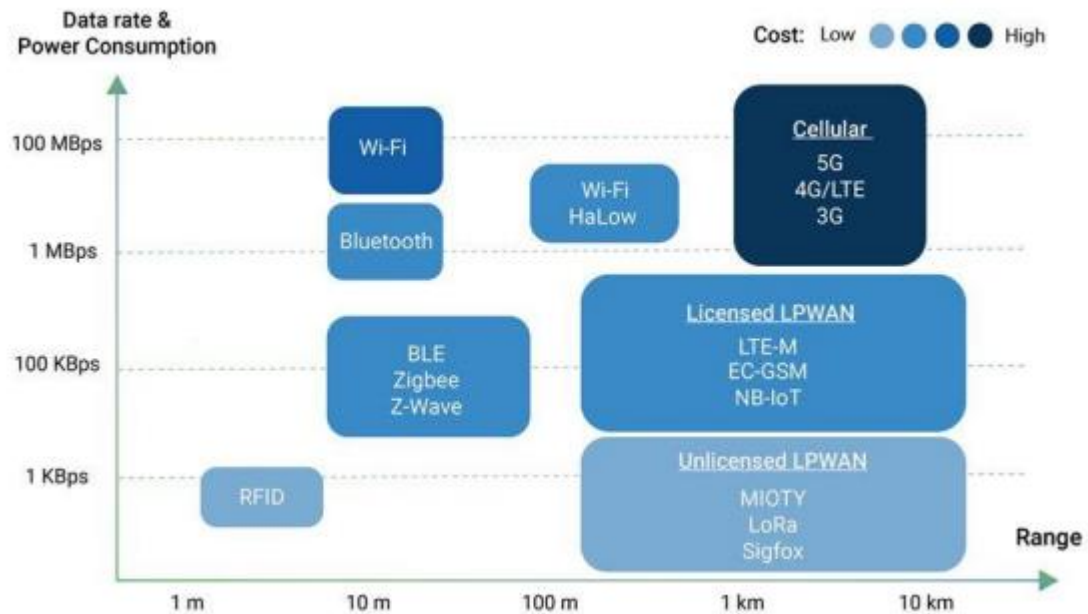


Рисунок 2.5 – Переваги бездротових телеметричних мереж

Бездротові технології – інформаційні технології, призначені для бездротової передачі інформації на відстань між двома й більше об'єктами. Для передачі інформації може використовуватися інфрачервоне випромінювання, радіохвилі, оптичне або лазерне випромінювання. На сьогодні існує безліч бездротових технологій, відомих користувачам по їхніх маркетингових назвах, таким як Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth та інші. Кожна технологія має певні характеристики, які визначають її область застосування.

2.4.1 Різновиди мереж. Найпоширеніші різновиди бездротових технологій по території охоплення сигналу, з якими ми стикаємося постійно:

- WPAN. Персональні мережі, Bluetooth, ZigBee.
- WLAN. Локальні мережі, Wi-Fi.
- WMAN. Мережі міського масштабу, WiMAX.
- WWAN. Найглобальніший різновид мереж, GPS, EDGE, HSPA тощо

Технології WPAN і WLAN – це те, що супроводжує нас вже на щоденній основі. З ними працюють ноутбуки, бездротові аксесуари, мобільні пристрої, гаджети розумного будинку.



Рисунок 2.6 – Девайси технології WLAN

Мережі WPAN працюють на невеликому радіусі, який може становити як 10 сантиметрів, так і кілька метрів. Приклади – Bluetooth і ZigBee. Такі мережі покликані для локального з'єднання девайсів між собою або передачі інформації між ними і замінили дротову технології з'єднання пристроїв.

Мережі WLAN масштабніші, хоча також локальні, і працюють з більшим радіусом, ніж WPAN. Швидкість передачі даних по ним набагато вище, та й захищеність краще.

Мережі WMAN, головним представником яких є WiMAX, можуть розкидатися на ціле місто. Це, по суті, той же Wi-Fi, тільки розтягнутий. WiMAX надає широкосмугове з'єднання для безлічі пристроїв на велику відстань.

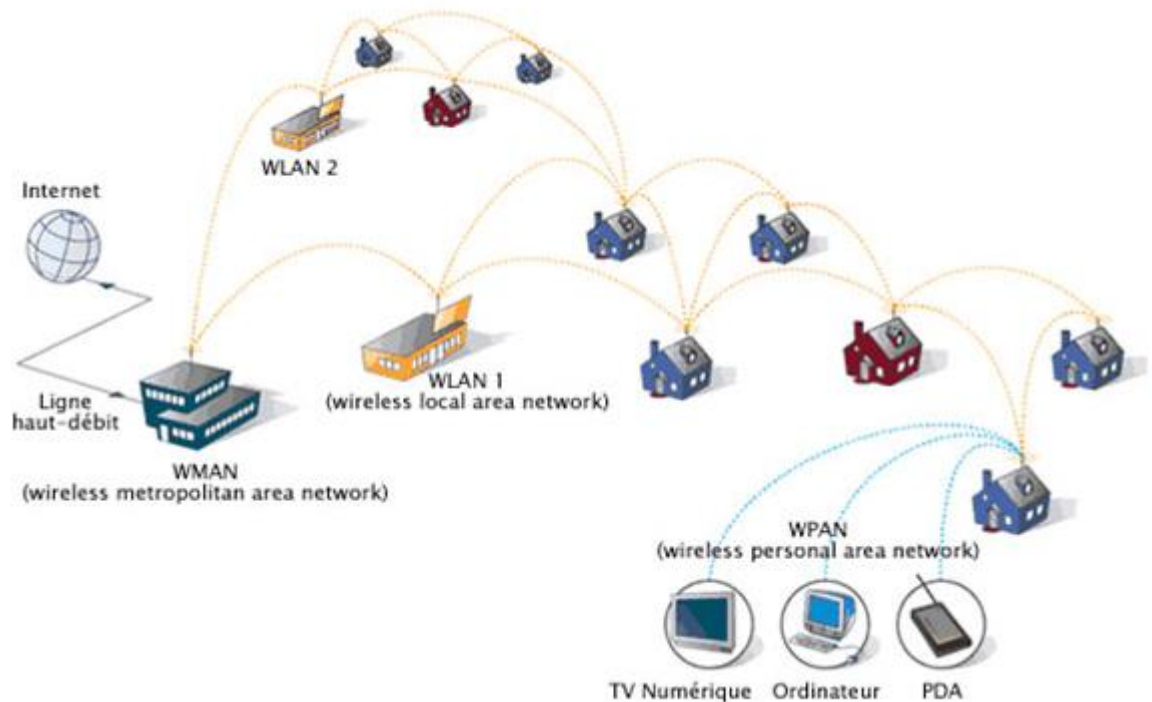


Рисунок 2.7 – Приклад технології WMAN

Мережі WWAN – це GPS, EDGE, 3G, GPRS, GSM тощо. Здійснюючи дзвінки з мобільного телефону або виходячи зі смартфона в мережу не по Wi-Fi, ми працюємо з мережами типу WWAN. Працюють вони за принципом або пакетної передачі даних, або комутації каналів. Зазвичай непогано шифруються, але захищеність у них далеко не максимальна.

2.4.2 Технологія бездротової передачі даних Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee. Однією із використовуваних технологій для організації каналів зв'язку для побудови бездротових локальних мереж (Wireless Local Network – WLAN) є технологія **Wi-Fi** (група стандартів IEEE 802.11, випущена Інститутом інженерів з електротехніки та електроніки (IEEE), а також пристрої, що працюють за цими стандартами [30]).

Стандарт IEEE 802.11 є базовим стандартом, [28, 29] постійно вдосконалювався, а тому зараз існує сімейство, до якого відносять специфікації IEEE 802.11 з буквеними індексами a, b, c, d, e, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q, r, s, u, v, w. Однак тільки п'ять з них (a, b, g, i та n) є основними й користуються найбільшою популярністю у виробників устаткування, інші ж

являють собою доповнення, удосконалення або виправлення прийнятих специфікацій.

На сьогоднішній день Wi-Fi сумісним є устаткування, побудоване по стандарту IEEE 802.11a [33], b [34] і g [35] (для забезпечення захищеного з'єднання також може використовуватися стандарт IEEE 802.11i [35]). Крім того, наявність на устаткуванні логотипа Wi-Fi означає, що робота устаткування здійснюється в діапазоні 2,4 ГГц або 5 ГГц. Отже, під Wi-Fi варто розуміти сумісність устаткування різних виробників, призначеного для побудови бездротових локальних мереж, з урахуванням викладених вище обмежень.

IEEE 802.11n [35] - новітня версія стандарту 802.11 для мереж Wi-Fi. Стандарт 802.11n підвищує швидкість передачі даних практично вчетверо в порівнянні із пристроями стандартів 802.11g (максимальна швидкість яких дорівнює 54 Мбіт/с), за умови використання в режимі 802.11n з іншими пристроями 802.11n. Теоретично 802.11n здатний забезпечити швидкість передачі даних до 480 Мбіт/с. Пристрої 802.11n працюють у діапазонах 2,4 - 2,483 або 5,0 ГГц.

Це набагато підвищує гнучкість їхнього застосування. При виборі системи фахівцям варто мати на увазі, що практично всі клієнти 802.11n на основі CardBus і ExpressCard поки розраховані тільки на діапазон 2,4 ГГц, але деякі зразки вмонтованих адаптерів і плат типорозміру mini-PCI здатні підтримувати обидва діапазони. Специфікація 802.11n передбачає використання як стандартних каналів шириною 20 МГц, так і широкосмугових – на 40 МГц із більш високою пропускною здатністю. Проект версії 2.0 рекомендує застосовувати 40-мегагерцові канали тільки в діапазоні 5 ГГц, однак користувачі багатьох пристроїв такого типу одержать можливість вручну переходити на широкосмугові канали навіть у діапазоні 2,4 ГГц.

Ключовий компонент стандарту 802.11n за назвою MIMO (Multiple Input, Multiple Output – багато входів, багато виходів) передбачає застосування просторового мультиплексування з метою одночасної передачі

декількох інформаційних потоків по одному каналі, а також багатопроменеве відбиття, що забезпечує доставку кожного біта інформації відповідному одержувачеві з невеликою ймовірністю впливу перешкод і втрат даних. Саме можливість одночасної передачі й прийому даних визначає високу пропускну здатність пристроїв 802.11n.

Таблиця 2.3

Основні характеристики стандартів IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n

Стандарт	IEEE 802.11a [2]	IEEE 802.11b [3]	IEEE 802.11g [4]	IEEE 802.11n [6]
Частотний діапазон, ГГц	5.15-5.25 5.67-5.85	2.4-2.483	2.4-2.483	2.4-2.483 5.15-5.25 5.67-5.85
Доступ до радіоканалу	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA
Кількість абонентів на один канал	64	64	64	64
Максимальна швидкість обміну даними	54 Мбіт/с	11 Мбіт/с	54 Мбіт/с	480 Мбіт/с
Метод модуляції	OFDM	BPSK, CCK	OFDM	BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM
Дальність дії в приміщенні	10-20	20-100	20-50	10-20

У таблиці 2.3 наведені основні технічні характеристики стандартів IEEE 802.11a, b ,g і n. Розроблювачі специфікації 802.11n подбали про те, щоб компоненти на її базі зберігали сумісність із пристроями стандарту 802.11b або 802.11g у діапазоні 2,4 ГГц та з пристроями 802.11a – у діапазоні 5 ГГц.

Технологія Bluetooth (стандарт IEEE 802.15 [37]) стала першою технологією, що дозволяє організувати бездротову персональну мережу передачі даних (WPAN – Wireless Personal Network). Вона дозволяє здійснювати передачу даних і голосу по радіоканалу на невеликі відстані (10-100 м) у неліцензійному діапазоні частот 2,4 ГГц і з'єднувати ПК, мобільні телефони й інші пристрої при відсутності прямої видимості.

Два або більше пристроїв, що використовують один канал утворюють пікомережу (piconet). Один із пристроїв в такій мережі працює як основний (master), а інші – як залежні (slave). В одній пікомережі може бути до семи активних залежних пристроїв, при цьому інші залежні пристрої перебувають у стані «паркування», залишаючись синхронізованими з основним пристроєм. Взаємодіючі пікомережі утворюють «розгалужену мережу» (scatternet). У кожній пікомережі діє тільки один основний пристрій, однак залежні пристрої можуть входити до різних пікомереж. Крім того, основний пристрій однієї пікомережі може бути залежним в іншій (рис.1.10).

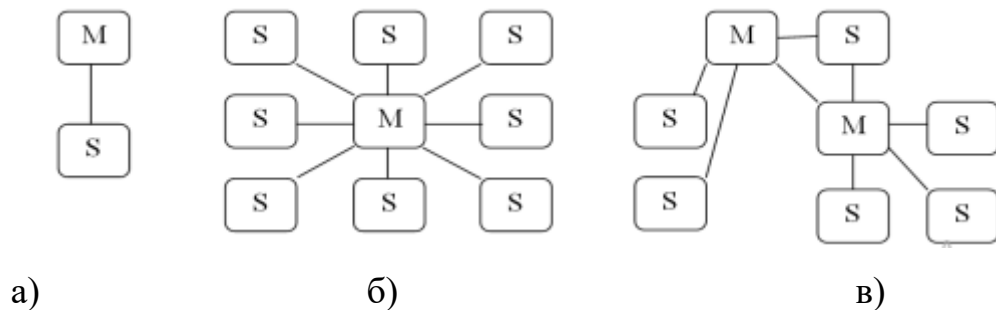


Рисунок 2.8 – Пікомережі: *а* – з одним залежним пристроєм; *б* – з кількома залежними пристроями; *в* – розгалужена мережа

У більшості випадків технологія Bluetooth використовується розроблювачами для заміни провідного послідовного з'єднання між двома пристроями на бездротове. Для організації з'єднання й виконання передачі даних розроблювачеві необхідно програмно, за допомогою команд інтерфейсу хост-контролера реалізувати верхні рівні стека протоколу Bluetooth, до яких відносять: L2CAP, RFCOMM, SDP, а також профіль взаємодії по послідовному порту - SPP (Serial Port Profile) і профіль виявлення послуг SDP (Service Discovery Profile).

Bluetooth і Wi-Fi використовують той самий неліцензійний діапазон 2,4 ГГц. Отже, у тих випадках, коли Bluetooth пристрої перебувають у зоні дії пристроїв Wi-Fi і здійснюють обмін даними між собою, можуть відбуватися колізії [30] і це може вплинути на працездатність пристроїв. Технологія AFH дозволяє уникнути появи колізій: під час обміну інформацією для боротьби з інтерференцією технологія Bluetooth використовує стрибкоподібну зміну

частоти каналу, при виборі якого не враховуються частотні канали, якими здійснюють обмін даними пристрої Wi-Fi. Рисунок 1.11 [30] ілюструє принцип технології AFH.

Для обміну даними за технологією AFH необхідно від 20 до 30 каналів (для обробки сигналів Bluetooth потрібно 79 каналів, кожен канал вимагає смуги частот 1 МГц). Таким чином, скоротивши необхідну кількість каналів можна зменшити використовуваний діапазон частот і уникнути перекривання сигналів від пристроїв Bluetooth і Wi-Fi.

Зараз на ринку працює велика кількість фірм, які пропонують модулі Bluetooth, а також компоненти для самостійної реалізації апаратної частини Bluetooth пристрою. Практично всі виробники пропонують модулі, що підтримують специфікації Bluetooth версії 1.1 і 1.2 і відповідають класу 2 (діапазон дії 10 м) і класу 1 (діапазон дії 100 м).

Специфікація 2.0 з підтримкою EDR дозволяє здійснювати обмін даними на швидкості до 3 Мбіт/с, підтримує технологію розширеної передачі даних EDR, радіус дії таких модулів становить 10 м при відсутності прямої видимості, а при наявності прямої видимості він може сягати 30 м [30].

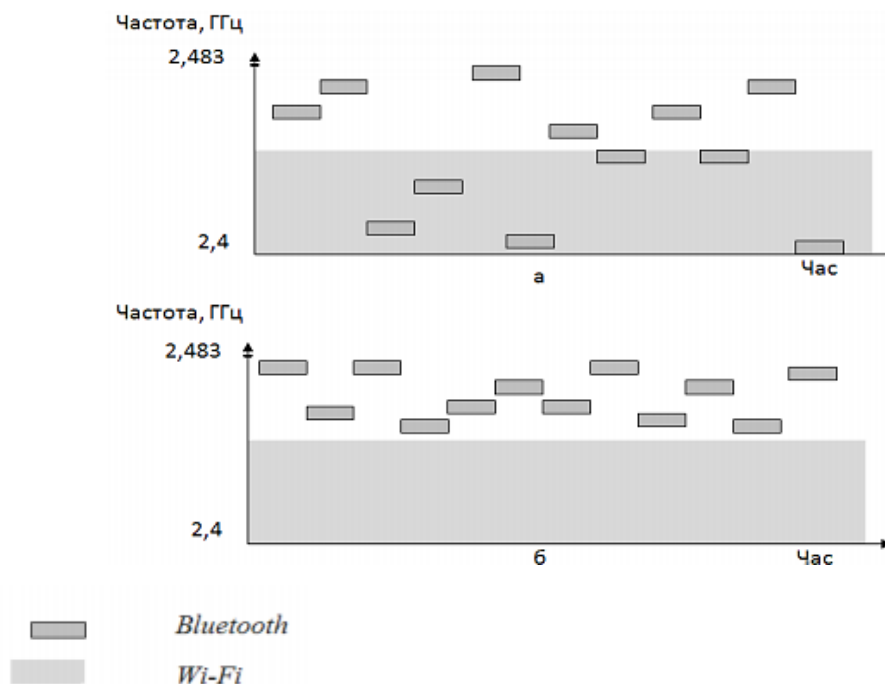


Рисунок 2.9 – Принцип дії технології AFH: *а* – колізії; *б* – перехід від колізій за допомогою адаптивної перестройки частоти [30]

Технологією Bluetooth визначені наступні профілі: профіль загального доступу (Generic Access Profile), профіль виявлення послуг (Service Discovery Profile), профіль взаємодії з бездротовими телефонами (Cordless Telephony Profile), профіль інтерком (Intercom Profile), профіль бездротових гарнітур для мобільних телефонів (Headset Profile), профіль віддаленого доступу (Dial-up Networking Profile), профіль факсимільного зв'язку (Fax Profile), профіль локальної мережі (Lan Access Profile), профіль обміну даними (Generic Object Exchange), профіль передачі даних (Profile Object Push Profile), профіль обміну файлами (File Transfer Profile), профіль синхронізації (Synchronization Profile).

Bluetooth Low Energy. Портативні медичні пристрої, що працюють за бездротовою технологією, зіткнулися з проблемами енергоспоживання, які в значній мірі вирішені, завдяки технології BLE.

Пристрої з живленням від BLE, що використовуються в сфері охорони здоров'я, поступово знижують залежність від людей і пов'язаних з ними артефактів. Ці пристрої можуть надати можливість ранньої діагностики будь-якого захворювання і лікування різних серйозних проблем, що в кінцевому підсумку покращує стандарти охорони здоров'я та медичних послуг.

Особливості технології Bluetooth Low Energy

- Низький рівень споживання енергії. Медичні пристрої з живленням від BLE працюють таким чином, що споживається мінімальна потужність. При виникненні події пристрій BLE виходить зі сплячого режиму і відправляє коротке повідомлення на смартфон, планшет або ПК. Решту часу пристрій BLE знаходиться в сплячому режимі. Енергія, споживана технологією BLE, становить одну десяту енергії, споживаної класичної технологією Bluetooth.

- Економічність і сумісність з невеликими акумуляторними пристроями. Пристрої з підтримкою BLE сумісні з класичною технологією Bluetooth і економічні через низький енергоспоживання. Він працює за технологією подвійного режиму, яка включає в себе низьке енергоспоживання і класичні функції Bluetooth. Зосередившись на низькому

енергоспоживанні, технологія BLE оптимізована для пристроїв з невеликими батареями і виявляється надзвичайно рентабельною.

- **Безпечність, надійність.** В технології BLE використовується технологія адаптивного стрибкоподібного зміни частоти (AFH), аналогічна класичною технологією Bluetooth, яка допомагає забезпечити надійну передачу повідомлень з боку розміщення медичного пристрою на смартфон або планшет. Технологія BLE використовує 40 каналів шириною 2 МГц, тоді як класична технологія Bluetooth використовує 79 каналів шириною 1 МГц. Це причина того, що технологія BLE може мінімізувати витрати і споживати мало енергії.

- **Легко інтегрувати.** Технологія BLE в основному заснована на концепції підключення провідного до веденого. Майстер може бути підключений до декількох ведених. Провідний пристрій може контролювати кількість разів, коли ведений пристрій може обмінюватися даними, а відомому дозволяється обмінюватися даними тільки за командам провідного пристрою. В цьому випадку провідним пристроєм є смартфон, планшет і т.д., а веденим пристроєм є невеликий пристрій з підтримкою BLE. Завдяки такому спрощеному способу підключення цю технологію можна легко інтегрувати в різні медичні програми.

Технологія бездротової передачі даних ZigBee була представлена на ринку вже після появи технологій бездротової передачі даних Bluetooth і Wi-Fi. Поява технології ZigBee обумовлено, насамперед, тим, що для деяких операцій (наприклад, для віддаленого керування освітленням або гаражними воротами, або зчитування інформації з датчиків – рисунок 2.9) основними критеріями при виборі технології бездротової передачі є низьке енергоспоживання апаратної частини і її низька вартість. Цим обумовлена низька пропускна спроможність, тому що в більшості випадків живлення датчиків здійснюється від вмонтованої батареї, час роботи від якої повинен перевищувати кілька місяців і навіть років.

Існуючі на той момент часу технології бездротової передачі даних Bluetooth і Wi-Fi не відповідали цим критеріям, забезпечуючи передачу

даних на високих швидкостях, з високим рівнем енергоспоживання й вартості апаратної частини. Тому результатом стала розробка стандарту IEEE 802.15.4 [38].

Стандарт IEEE 802.15.4 визначає взаємодію тільки двох нижчих рівнів моделі взаємодії: фізичного рівня (PHY) і рівня керування доступом до радіоканалу для трьох неліцензійних діапазонів частот: 2,4 ГГц, 868 МГц і 915 МГц.

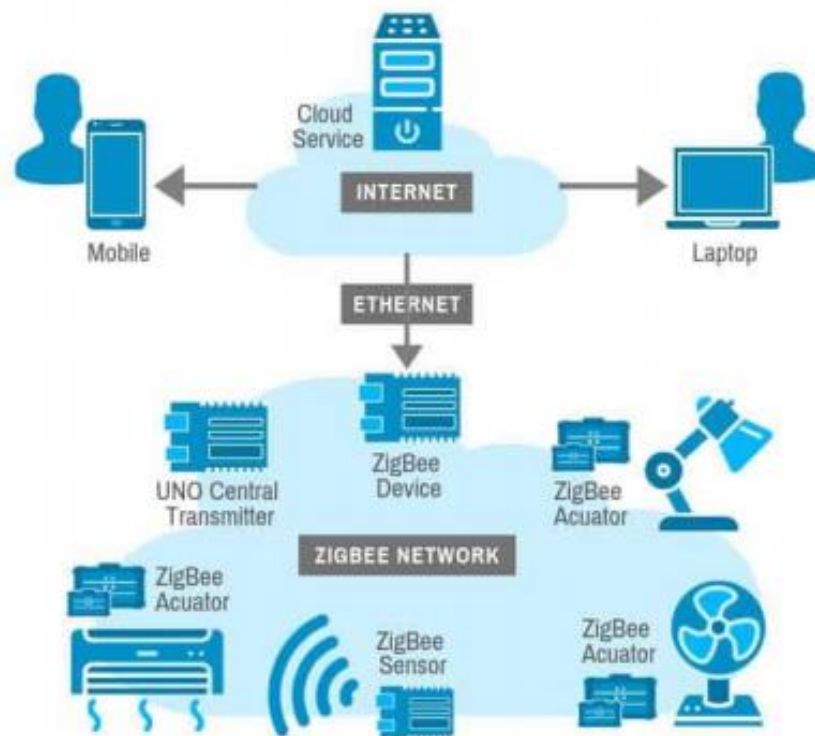


Рисунок 2.9 – Архітектура мережі ZigBee

У таблиці 2.4 наведені основні характеристики устаткування, що функціонує в цих діапазонах частот. Рівень MAC відповідає за керування доступом до радіоканалу з використанням методу множинного доступу з упізнанням несучої частоти й усуненням колізій (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance, CSMA/CA), а також за керування підключенням і відключенням від мережі передачі даних і забезпечення захисту переданої інформації симетричним ключем (AES-128).

Таблиця 2.4

Основні характеристики ZigBee для діапазонів частот

Діапазон частот	Кількість каналів	Швидкість передачі даних	Тип модуляції
868 - 870 МГц	1	20Кбіт/с	BPSK
902 - 928 МГц	10	40Кбіт/с	BPSK
2.4 - 2.4835 ГГц	16	250Кбіт/с	0-Q PSK

У свою чергу, технологія бездротової передачі даних ZigBee, визначає інші рівні моделі взаємодії, до яких відносять мережевий рівень, рівень безпеки, рівень структури додатка й рівень профілю додатка. Мережевий рівень технології бездротової передачі даних ZigBee, відповідає за виявлення пристроїв і конфігурацію мережі й підтримує три варіанти топології мережі, наведені на рисунку 2.10. Передача даних у мережах з деревоподібною топологією використовує ієрархічну стратегію вибору маршруту й може проходити під централізованим керуванням, для чого на фізичному рівні потрібно використовувати періодичні сигнали маяків від координаторів. Тому в таких мережах може бути використаний режим синхронізованого доступу й «сну» мережійних пристроїв, що дозволяє зменшити енергоспоживання. Цей режим підтримують мережеві протоколи ZigBee. У таких мережах (рисунок 2.10, а) мережійні пристрої «слухають» ефір і «говорять» в ефір у моменти часу, «прив'язані» до сигналів маяків. В інший час пристрої «сплять». Може «спати» і пристрій, що випромінює сигнали маяків. Цю ситуацію можна трактувати як гомогенний (однорідний) розподіл потужності між всіма мережійними пристроями.

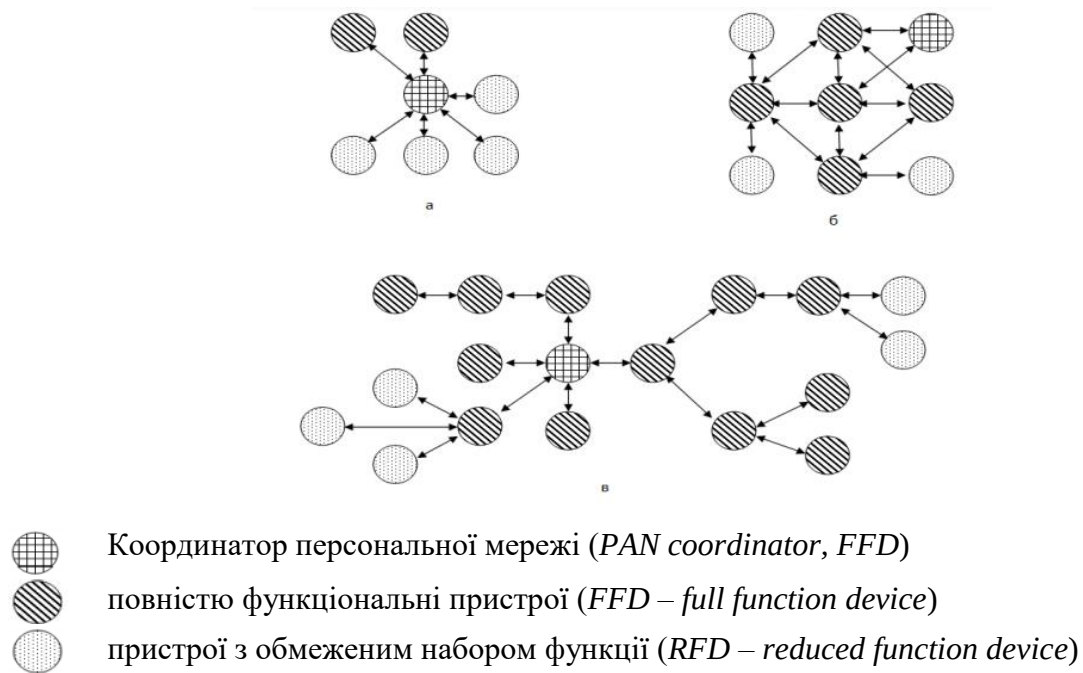


Рисунок 2.10 – Варіанти топології мережі ZigBee

Мережі з топологією Mesh (рисунок 2.10 б,в) принципово орієнтовані на асинхронну передачу даних, приміром, команд включення і вимикання в мережах керування або даних від «прокинувшись» або «не сплячих» сенсорів у сенсорних мережах. Вся мережа повинна «не спати» і бути завжди готова передати ці дані адресатові, приміром, приладам або центру збору інформації. У таких мережах розподіл споживаної потужності між мережійними пристроями може бути асиметричний. У той час як одні пристрої постійно працюють, інші пристрої майже завжди «сплять». Вихід зі «сну» цих пристроїв повинен бути обумовлений якоюсь серйозною зовнішньою причиною. Наприклад, необхідністю передати по мережі команду. Подібні мережі іноді називають гетерогенними [39]. Для забезпечення низької вартості інтеграції технології бездротової передачі ZigBee у різні сфери фізична реалізація апаратної частини стандарту IEEE 802.15.4 виконується у двох виконаннях: пристрої з обмеженим набором функцій (RFD) і повністю функціональні пристрої (FFD). При реалізації однієї з топологій мережі, наведеної на рисунку 2.10, потрібна наявність, принаймні, одного FFD пристрою, що виконує роль мережійного

координатора (МК). У таблиці 2.5 наведений перелік функцій, виконуваних пристроями FFD і RFD.

Таблиця 2.5

Перелік функцій для RFD та FFD пристроїв

Пристрої з обмеженим набором функції (RFD – reduced function device)	Повністю функціональні пристрої (FFD – full function device)
При об'єднанні RFD пристроїв може використовуватися тільки топологія «зірка»	При об'єднанні FFD пристроїв можуть використовуватися усі можливі топології: «зірка», «кожен з кожним», «кластерне дерево».
Не можуть виступати в ролі МК	Можуть виступати в ролі МК, забезпечуючи при цьому маршрутизацію повідомлень всередині мережі
Для обміну даними можуть встановлювати зв'язок тільки з МК (FFD пристроєм)	Обмін даними може проводитись з МК, іншим FFD пристроєм, чи RFD пристроєм.
Живляться, переважно, від вбудованої батареї	Живляться, переважно, від зовнішнього джерела

Низька вартість апаратної частини RFD пристроїв забезпечується за рахунок обмеження набору функцій при організації взаємодії з МК або FFD пристроєм. Це у свою чергу, відбивається на неповній реалізації моделі взаємодії, а також висуває мінімальні вимоги до ресурсів пам'яті.

Крім розподілу пристроїв на RFD і FFD, альянсом ZigBee визначені три типи логічних пристроїв: ZigBee координатор (узгоджуючий пристрій), ZigBee маршрутизатор і кінцевий пристрій ZigBee. Координатор здійснює ініціалізацію мережі, керування вузлами, а також зберігає інформацію про налаштування кожного вузла, приєднаного до мережі. ZigBee маршрутизатор відповідає за маршрутизацію повідомлень, переданих по мережі від одного вузла до іншого. Під кінцевим пристроєм розуміють будь-який кінцевий пристрій, що приєднаний до мережі.

Розглянуті вище пристрої RFD і FFD є кінцевими пристроями. Тип логічного пристрою при побудові мережі визначає кінцевий користувач за допомогою вибору певного профілю, запропонованого альянсом ZigBee. При побудові мережі з топологією «кожний з кожним» передача повідомлень від одного вузла мережі до іншого може здійснюватися по різних маршрутах, що дозволяє будувати розподілені мережі (мережі, що поєднують кілька

невеликих мереж в одну більшу – кластерне дерево). В таких мережах є можливість встановлення вузлів на досить великій відстані й забезпечення надійної доставки повідомлень.

Приклад застосування технології ZigBee згідно [39] представлено рисунком 2.11.

Наведений огляд технологій бездротової передачі даних Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee показує, що навіть для досвідчених розроблювачів, буває важко однозначно віддати перевагу тій або іншій технології тільки на підставі технічної документації. Тому підхід до вибору повинен ґрунтуватися на комплексному аналізі декількох параметрів. Порівняльні характеристики технологій Bluetooth, Wi-Fi і ZigBee наведені в таблиці 2.6 для прийняти правильного рішення при виборі технології бездротової передачі даних.

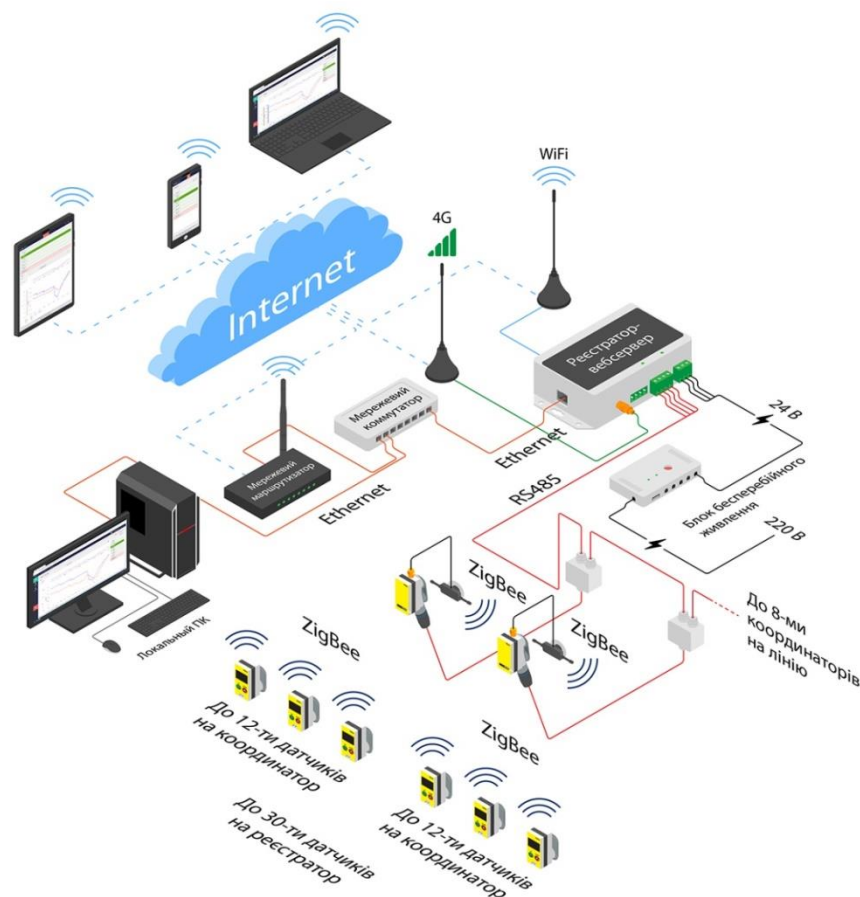


Рисунок 2.11 – Технологія ZigBee як можливість передачі медичних даних

Від використаної технології передачі даних залежить і галузь застосування пристроїв.

Таблиця 2.6

Порівняльні характеристики технологій Wi-Fi, Bluetooth і ZigBee

Технологія (стандарт)	Wi-Fi (IEEE 802.11n) [6]	Bluetooth (IEEE 802.15.3) [9]	ZigBee IEEE 802.15.4) [10]
Частотний діапазон, ГГц	2.4-2.483 5.15-5.25 5.67-5.85	2,4 – 2,483	2,4 – 2,483
Пропускна здатність	300 Мбіт/с	3 Мбіт/с	250Кбіт/с
Розмір стеку протоколу, Кбайт	Більше 1000	Більше 250	32 – 64
Час роботи від батареї, год.	12 – 120	24 – 240	2400 – 24000
Максим. кількість елементів мережі	100	7	65536
Дальність дії, м	20 - 50	10 – 100	10 – 100

Технологія Wi-Fi застосовується для побудови бездротових локальних мереж, доступу до Інтернету, передачі файлів великих розмірів, передача мультимедійних об'єктів, відео, тощо. Технологія Bluetooth застосовується у галузі телекомунікацій для передачі файлів невеликого об'єму, аудіо потоків, з'єднання двох або більше пристроїв між собою а також замість дротового з'єднання інформаційних каналів. Области застосування технології ZigBee – це бездротові мережі датчиків, автоматизація житлових і споруджуваних приміщень, створення індивідуального діагностичного медичного встаткування, промисловий моніторинг і керування, побутова електроніка й периферія персональних комп'ютерів.

2.5 Модель OSI

Комп'ютерні/телекомунікаційні мережі будуються за багаторівневим принципом. Для організації зв'язку між комп'ютерами, необхідно спочатку розробити набір правил їх взаємодії, визначити мову їх "спілкування", тобто визначити зміст сигналів, що посиляють комп'ютери. Ці правила та визначення називаються протоколом.

Для коректної роботи мережі використовується цілий ряд протоколів: наприклад, протокол управління фізичним зв'язком, встановлення зв'язку в мережі, доступу до ресурсів, тощо. Багаторівневу систему було створено з метою спрощення і впорядкування такої величезної кількості протоколів та зв'язків. Багаторівнева модель взаємодії передбачає реальну взаємодію (інтерфейси) лише із сусідніми рівнями (верхнім та нижнім) і віртуальну - виключно із аналогічним рівнем приймача лінії зв'язку.

Під реальною взаємодією будемо розуміти безпосередню взаємодію - передачу інформації. В такому випадку інформація залишається незмінною - в пункт призначення вона надходить у вигляді, ідентичному вигляду у пункті відправлення. Віртуальна взаємодія передбачає опосередковану передачу даних, коли останні можуть обумовленим способом змінюватись.

Отже, для побудови ІТС розглядаємо семирівневу архітектуру, яка визначає стандартні інтерфейси та протоколи для взаємодії між різними комп'ютерними системами. Вона може бути використана для стандартизації взаємодії медичного обладнання, незалежно від виробника або типу обладнання.

Розробка та впровадження уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання матиме ряд переваг, включаючи:

- Покращення взаємосумісності між різним медичним обладнанням.
- Полегшення обміну медичними даними.
- Зменшення витрат на підтримку та обслуговування медичних ІТС.

Наводимо декілька конкретних прикладів того, як уніфікована модель взаємодії медичного обладнання може використовуватися для покращення взаємодії між різним медичним обладнанням:

- Електронна медична картка (ЕМК) може використовувати уніфіковану модель взаємодії медичного обладнання для обміну медичними даними між різними медичними пристроями, такими як комп'ютери, медичні лабораторії та медичне обладнання.

- Система дистанційного моніторингу пацієнтів (ДМП) може використовувати уніфіковану модель взаємодії медичного обладнання для передачі даних від медичних пристроїв, таких як датчики серцевого ритму та монітори кров'яного тиску, до лікарів.
- Система підтримки прийняття рішень (СППР) може використовувати уніфіковану модель взаємодії медичного обладнання для доступу до медичних даних з різних джерел, таких як медичні записи пацієнтів, результати лабораторних аналізів та результати діагностичних досліджень.

Розробка та впровадження уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання є важливим кроком на шляху до створення більш ефективних та інноваційних ІТС медичного призначення.

Висновки до розділу 2

Наведено короткий опис та аналіз застосування міжнародних стандартів передачі медичних даних, до яких відносяться стандарти передачі медичних зображень DICOM, медичних записів HL7, електрокардіограм SCP. Розглянуто світовий досвід і підходи до використання цих стандартів, проаналізовано ситуацію у сфері стандартизації медичної інформатики.

Розглянуто чотири сумісних технології: Wi-Fi, ZigBee, Bluetooth і Bluetooth з низьким енергоспоживанням.

Wi-Fi – це перевірене рішення для підключення комп'ютерів до бездротових локальних мереж. Він пропонує широку смугу пропускання (300 Мбіт/с), працює в безліцензійному діапазоні 2,4 ГГц (хоча інші діапазони використовуються в залежності від регіону) і має радіус дії в приміщенні близько 30 м.

ZigBee може бути використана в медичному бездротовому моніторингу, проте недоліком є невелика смуга пропускання в 250 кбіт/с, що збільшує час, необхідний для відправки заданого обсягу даних, до чотирьох разів у порівнянні з іншими технологіями з низьким енергоспоживанням

(наприклад, Bluetooth BLE). Для передачі даних використовується заряд батареї, тому потрібні більш громіздкі батареї або значно скорочується термін служби невеликих батарей. Більш того, ZigBee не може безпосередньо зв'язуватися з існуючою стільниковою та інтернет-інфраструктурою.

Так звана «класична технологія Bluetooth» (щоб відрізнити її від технології Bluetooth low energy) також працює в неліцензованому діапазоні 2,4 ГГц. Пропускна здатність (в залежності від версії) становить від 1 до 24 Мбіт/с. Дальність до 30 м. «Класичний» Bluetooth вже використовується в деяких медичних виробках, наприклад, глюкометрах.

Хоча «класичний» Bluetooth може працювати від батарейних блоків, його відносно високе енергоспоживання обмежує час автономної роботи до декількох десятків годин. Це робить технологію непридатною для безперервного медичного моніторингу. Однак технологія Bluetooth з низьким енергоспоживанням вирішує цю проблему.

Bluetooth low energy також працює в діапазоні 2,4 ГГц. Він має пропускну здатність 1 Мбіт/с (в чотири рази більше, ніж у ZigBee) з діапазоном від 15 до 30 метрів.

Основні недоліки Bluetooth з низьким енергоспоживанням полягають в тому, що це неперевірена технологія. Оскільки медичні дані – суто конфіденційна інформація, виробники медичних виробів з обережністю використовують її, або додатково необхідно розробляти програмний захист від загроз кібератак.

Процес створення безпроводної телеметричної мережі для розроблення інформаційно-комунікаційної системи передачі медичних даних потребує у загальному випадку застосування методів обробки та передачі даних, що забезпечують високу надійність передачі. Це призводить до зниження продуктивності мережі або зростання обчислювальної складності і, відповідно, підвищення енергозатрат. Передача даних у безпроводній телеметричній мережі потребує багато енергії, якщо ж застосувати локальну обробку даних у вузлах мережі, це дасть змогу зменшити енергозатрати на

передачу даних за рахунок використання ефективних методів обробки та протоколів передачі даних.

Модель OSI є семирівневою архітектурою, яка визначає стандартні інтерфейси та протоколи для взаємодії між різними комп'ютерними системами. Вона може бути використана для стандартизації взаємодії медичного обладнання, незалежно від виробника або типу обладнання.

Розробка та впровадження уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання матиме ряд переваг, включаючи:

- Покращення взаємосумісності між різним медичним обладнанням.
- Полегшення обміну медичними даними.
- Зменшення витрат на підтримку та обслуговування медичних ІТС.

Розробка та впровадження уніфікованої моделі взаємодії медичного обладнання є важливим кроком на шляху до створення більш ефективних та інноваційних медичних інформаційних систем.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ МЕДИЧНИХ ДАНИХ

3.1 Проектні рішення по структурі та архітектурі побудови ТКС передачі медичних даних

Проектовану інфраструктуру ТКС складають:

- обладнання ТРС, включаючи комп'ютерну та медичну складові;
- активне мережеве обладнання для формування LAN і WAN сегментів;
- ОКП (сервера підсистеми управління, контролю і архівації даних);
- модулі загального та спеціалізованого програмного забезпечення;
- пасивне обладнання та девайси телекомунікацій, за допомогою яких буде функціонувати основне технологічне обладнання інформаційно-комунікаційної системи передачі медичних даних.

Виходячи з того, що проектувана інформаційно-комунікаційна система в своєму складі містить сукупність телемедичних центрів, пунктів (стаціонарних, віддалених і мобільних) можливі два основні варіанти архітектури побудови системи – централізована і розподілена.

Відповідно до технічних вимог та тенденцій розвитку існуючих систем віддаленого моніторингу, ця робота пропонує своєрідну інформаційно-комунікаційну систему, яка має тришарову архітектуру: «вузли домашнього моніторингу», «центр моніторингу громади», «центр моніторингу лікарень».

Таким чином, система може здійснювати управління здоров'ям, моніторинг стану здоров'я, віддалену медичну допомогу тощо, і ці функції можуть взаємодіяти та взаємозв'язуватись, тому система може гарантувати моніторинг стану здоров'я людей при постійній передачі медичних даних.

Спроекована архітектура системи дистанційного моніторингу на базі технології Інтернет-речей показана на рисунку 3.1.

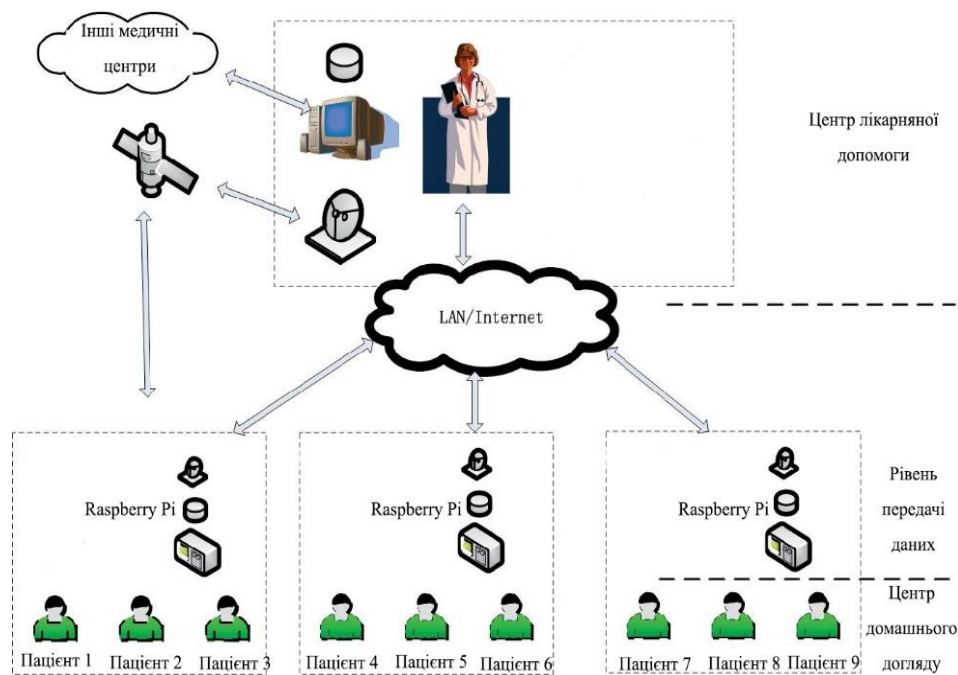


Рисунок 3.1 – Архітектура телекомунікаційної системи

На рівні сімейних моніторингових вузлів система збирає життєві показники людини, такі як температура, пульс, кисень та рівень цукру крові, кров'яний тиск, тощо, завдяки інтеграції датчиків пацієнтам, а потім ця інформація, яка пройшла через модулі бездротового приймача-передавача вузлів, буде надіслана до моніторингового центру («сервера») за допомогою самоорганізуючої та бездротової мережі.

У центрі медичної допомоги сигнали про стан людського організму, які надсилають пацієнти, що носять бездротові датчики, можуть прийматися релейними вузлами і попередньо оброблятися. Коли центр виявить «ненормальний» сигнал (ознаки стану «перед хвороби»), він видасть пацієнтові вказівки про необхідність негайної перевірки в медичному центрі, де лікарі можуть виявити загальну хворобу. Для складних або критичних захворювань ретрансляційна станція передаватиме параметри життєво важливих ознак пацієнтів у великомасштабний центр моніторингу лікарні через мережу Ethernet.

У центрі медичної допомоги сигнали про стан людського організму, які надсилають пацієнти, що носять бездротові датчики, можуть прийматися релейними вузлами і попередньо оброблятися. Коли центр виявить «ненормальний» сигнал (ознаки стану «перед хвороби»), він видасть пацієнтові вказівки про необхідність негайної перевірки в медичному центрі,

де лікарі можуть виявити загальну хворобу. Для складних або критичних захворювань ретрансляційна станція передаватиме параметри життєво важливих ознак пацієнтів у великомасштабний центр моніторингу лікарні через мережу Ethernet.

Центр віддаленого моніторингу лікарні встановлює центральну базу даних, яка зберігає основні особисті дані медичного закладу, дані про медичну поведінку, дані про прийняття рішень тощо. Центр створює систему зв'язку між пацієнтом і лікарем через мережу Ethernet та мережі 3G/4G/5G, а також автоматично отримує, аналізує, обробляє та діагностує дані про фізіологічні особливості пацієнтів, що надсилаються медичним центром, а потім визначає результат. У той же час вихідні дані, передані інтелектуальним терміналом, також можуть зберігатися для подальшої діагностики та прийняття рішень.

Розподілена архітектура побудови інформаційно-комунікаційної системи характеризується тим, що елементи підсистеми управління контролю та архівації можуть перебувати всередині будь-яких телемедичних центрів і пунктів.

3.2 Передача даних з давачів на телефон Android з використанням Arduino і модуль NRF24L01 через Bluetooth (BLE)



Рисунок 3.1 – Зображення передачі медичних даних

Bluetooth Low Energy (BLE) – це версія Bluetooth, представлена у вигляді зменшеної високооптимізованої версії класичного Bluetooth (як зазначалось у розділі 2). Він також відомий як Smart Bluetooth. BLE був розроблений з урахуванням мінімально можливого енергоспоживання, особливо для обладнання низької вартості, низької пропускну здатності, низької потужності і низької складності. ESP32 має вбудовані можливості BLE, але для інших мікроконтролерів, таких як Arduino, можна використовувати nRF24L01. Цей дешевий радіочастотний модуль також можна використовувати в якості модуля BLE для відправки даних на інший пристрій Bluetooth, такі як смартфони, комп'ютер і т.д.

BLE був прийнятий через його особливості енергоспоживання, оскільки він міг працювати протягом тривалого періоду часу, використовуючи тільки одну батарейку-таблетку. У порівнянні з іншими бездротовими стандартами швидке зростання популярності BLE була також завдяки наявності додатків для смартфонів, планшетів і мобільних комп'ютерів.



Рисунок 3.2 – Приклад – передача даних температури з датчика DHT11 на смартфон за допомогою модуля Arduino и nRF через BLE.

BLE використовує ту ж смугу 2,4 ГГц зі швидкістю передачі від 250 Кбіт/с до 2 Мбіт/с, яка дозволена в багатьох країнах і може застосовуватися в промислових і медичних додатках. Смуга частот починається з 2400 МГц до 2483,5 МГц і розділена на 40 каналів. Три з цих каналів відомі як «Advertising» і використовуються пристроями для відправки мовних пакетів з інформацією про них, щоб інші пристрої BLE могли підключатися. Ці канали були спочатку обрані в нижній верхній частині смуги і в середині смуги, щоб уникнути перешкод, які можуть створювати наводки для ряду каналів.

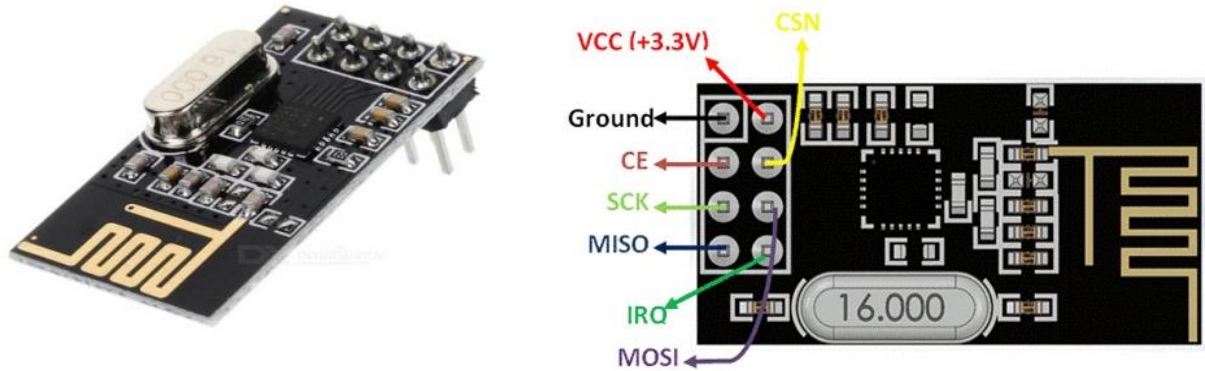


Рисунок 3.3 – Модуль nRF24L01 для передачі даних на смартфон

Для розробки та дослідження інформаційно-комунікаційної системи передачі медичних даних модуль nRF24L01 (рисунок 3.3) буде сполучатися з МК Arduino, а дані про температуру датчика DHT11 будуть відправлятися офіційному додатку Nordic BLE для Android.

Модулі nRF24L01 є приймально-передавальними модулями, тобто кожен модуль може відправляти та отримувати дані, але, оскільки вони напівдуплексні, вони можуть відправляти або отримувати дані одночасно. Мікросхема обмінюється даними з використанням протоколу SPI і, отже, може легко взаємодіяти з будь-якими МК. З Arduino стає набагато простіше, оскільки бібліотеки легкодоступні. Розпіновка стандартного модуля nRF24L01 показана на рисунку 3.3.

Модуль має робочу напругу від 1,9 В до 3,6 В (зазвичай 3,3 В) і споживає всього 12 мА при нормальній роботі, що робить його ефективним для живлення від батареї і, отже, може працювати навіть на елементах типу «таблетка». Незважаючи на те, що робоча напруга становить 3,3 В, більшість виводів допускають 5 В і, отже, можуть безпосередньо підключатися до 5 В МК, таких як Arduino.

Кожен модуль може зв'язуватися з 6 іншими модулями для передачі або отримання даних. Це робить його придатним для створення зіркових в додатках IoT. Крім того, вони мають широкий діапазон адрес 125 унікальних ідентифікаторів, тому в закритому просторі ми можемо використовувати 125 з цих модулів, які не заважатимуть один одному.

Схема підключення Arduino до модуля nRF24L01 і датчику DHT11 зображена на рисунку 3.4.

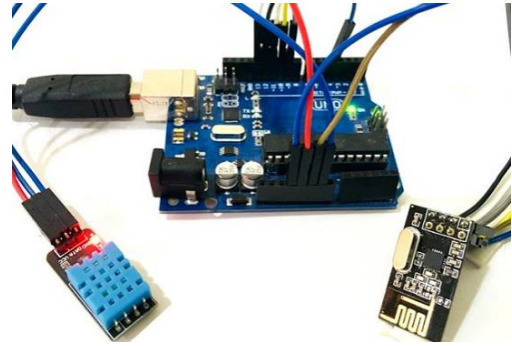
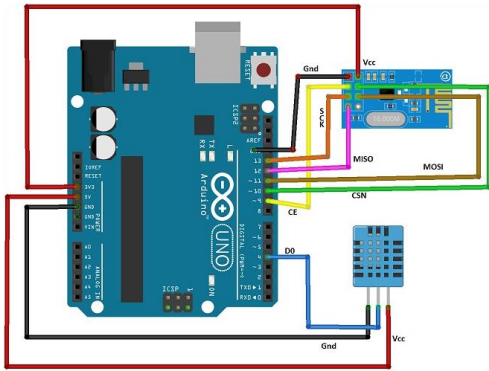


Рисунок 3.4 – Схема підключення Arduino до модуля nRF24L01 і датчика (на прикладі датчика DHT11)

NRF24L01 працює по SPI, тому в якості інтерфейсу будемо використовувати протокол SPI. Приклад коду наведено далі

```
include <SPI.h>
#include <RF24.h>
#include <BTLE.h>
#include <DHT.h> // Библиотека датчика температуры и влажности dht11
#define DHTPIN 4 // к какому цифровому контакту подключаем
#define DHTTYPE DHT11 // выбираем тип DHT как DHT11 или DHT22или другой датчик
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
RF24 radio(9, 10); // CE, CSN
BTLE btle(&radio);
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    delay(1000);
    Serial.print("BLE and DHT Starting... ");
    Serial.println("Send Temperature Data over BTLE");
    dht.begin(); // инициализировать датчик DHT11
    btle.begin("CD Temp"); // Максимум 8 символов типа char
    Serial.println("Successfully Started");
}
void loop() {
    float temp = dht.readTemperature(); // считать данные о температуре
    if (isnan(h) || isnan(t)) { // Проверить, не удалось ли выполнить какое-либо считывание, и
        // завершить работу досрочно (повторить попытку)
        Serial.println(F("Failed to read from DHT sensor!"));
        return;
    }
    Serial.print(" Temperature: "); Serial.print(t); Serial.println("&#194;°C ");
    nrf_service_data buf;
    buf.service_uuid = NRF_TEMPERATURE_SERVICE_UUID;
    buf.value = BTLE::to_nRF_Float(temp);
    if (!btle.advertise(0x16, &buf, sizeof(buf))) {
        Serial.println("BTLE advertisement failed..!");
    }
    btle.hopChannel();
}
```

```
delay(2000);  
}
```

Після завантаження коду і спряження смартфона з модулем nRF отримуємо значення в додатку nRF Temp 2.0 для BLE для Android.

Єдиний недолік використання даного модуля. В телефонах з версією Android 10 програма nRF Temp 2.0 може працювати некоректно (зазвичай не знаходить при скануванні пристрій). Без проблем програма nRF connect працює на телефонах з версією Android 9 і старіше.

Тому, для вирішення поставлених завдань в передачі даних на сервер, в ланцюгу архітектури системи, по якій передаються дані про стан пацієнта, після Arduino було використано Raspberry PI.

3.3 Використання модуля Raspberry PI для передачі медичних даних за технологією Wi-Fi

Модель Raspberry Pi 4B, з габаритами 85,6 мм × 56,5 мм, побудована на основі системи на кристалі (SoC) BCM2711, в якій використаний чотирьох ядерний процесор 1.5GHz ARM Cortex-A72 з тактовою частотою 1,5 ГГц.

Цей мікропроцесор має підтримку стандартного ARM GIC (Generic Interrupt Controller), що істотно пришвидшує роботу систем віртуалізації.



Рисунок 3.6 – Модуль Raspberry PI для передачі медичних даних

Підтримка Wi-Fi лишилась на рівні стандарту 802.11ac, але на відміну від попередньої серії додана підтримка Bluetooth версії 5.0. Мережевий адаптер Gigabit Ethernet, на відміну від попередньої версії Raspberry Pi3, працює на повну пропускну здатність та не обмежений 300 Мбіт/с шлюзу

USB 2.0. Raspberry Pi 4B підтримує технологію живлення через Ethernet (PoE) з встановленням додаткової плати розширення.

Замість одного порту HDMI нова серія має два порти мікро-HDMI. Здатна виводити сигнал в форматі HDMI 2.0 4K@60 Гц на один монітор, або 4K@30 Гц на два монітори, програвати відео в форматі 4K.

Живлення системи забезпечує порт USB Type-C.

3.4 Архітектура програмного забезпечення віддаленої системи моніторингу медичних даних

Інтеграція програмного забезпечення є одним з найважливіших аспектів системи віддаленого моніторингу стану здоров'я. Це мозок, який вчиться функціонувати відповідно до гнучкості користувача. Починаючи від використання мікроконтролера IDE до використання набору інструментів розробки Android, складається архітектура програмного забезпечення віддаленої системи моніторингу стану здоров'я. Зчитування даних здійснюється Arduino IDE відкритим кодом, який можливо написати в модулі. Після цього Raspberry Pi надсилає дані в хмарне сховище.

Використовуване хмарне сховище є Google Firebase, що є платформою для зберігання та передачі даних з мобільних та веб-додатків, розроблене Google. За допомогою Android Studio була розроблена програма проекту, яка може віддалено отримувати доступ до бази даних Google Firebase, але разом із шифруванням від користувача до користувача. Це захищає персональну базу даних пацієнта доступ до несанкціонованого персоналу.



Рисунок 3.7 – Архітектура блоків модулів віддаленої системи моніторингу

3.5 Об'єднання сенсорів та модулів в єдину систему

Після того, як були визначені окремі конструкції схем та здійснено калібрування модулів, необхідно підключити всі датчики до Arduino Uno, щоб забезпечити його функціонування як єдину систему.

Arduino Uno виявляє значення з датчиків і відповідно їх обробляє, тоді як під час передачі, Raspberry Pi, підключений до Arduino, отримує дані від Arduino. Через складну обробку та аналіз дані передаються в хмарне сховище, в подальшому з якого доступні для аналізу.

Розраховані значення кожного з датчиків зберігаються у хмарному сховищі, до якого згодом отримав доступ розроблений додаток Android для віддаленої візуалізації.

Підключення модуля Raspberry Pi до модуля Ардуіно. Підключаємо мікроконтролери Raspberry Pi і Ардуіно таким чином, щоб обидві плати могли спілкуватися один з одним (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Плати контролерів, які використовуються при експерименті

Вмикаємо Raspberry Pi і за допомогою мови Python прописуємо:

```
import serial
import RPi.GPIO as GPIO
import time

ser=serial.Serial("/dev/ttyACM0",9600) #change ACM number as found from ls /dev/tty/ACM*
ser.baudrate=9600
def blink(pin):

    GPIO.output(pin,GPIO.HIGH)
    time.sleep(1)
    GPIO.output(pin,GPIO.LOW)
    time.sleep(1)
    return

GPIO.setmode(GPIO.BOARD)
GPIO.setup(11, GPIO.OUT)
while True:

    read_ser=ser.readline()
    print(read_ser)
    if(read_ser=="Hello From Arduino!"):
        blink(11)
```

Відкриваємо Arduino IDE (це програмне середовище розробки, що використовує C++ і призначене для програмування всіх плат Arduino) і завантажуюмо наступний код в Arduino:

```
String data="обчислення частоти CCC!";

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial.begin(9600);
```

```

}

void loop() {
// put your main code here, to run repeatedly:
Serial.println(data); //data that is being Sent
delay(200);
}

```

В інтерфейсі Raspberry Pi вмикаємо Serial і I2C в PiConfig.

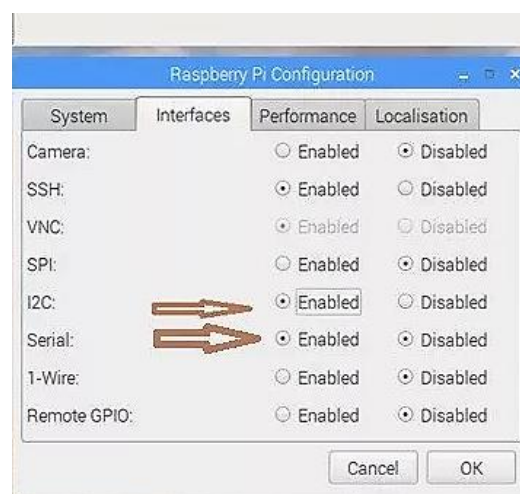


Рисунок 3.9 – Вікна інтерфейсу для налаштування з'єднання модулів Arduino і Raspberry Pi

Перезавантажуємо Raspberry Pi, відкриваємо термінал і виконуємо наступні команди:

```
sudo apt-get install python-serial
```

```
sudo pip install pyserial
```

Підключаємо Ардуіно до Raspberry Pi. Виконуємо:

```
ls /dev/tty*
```

Знаходимо рядок типу **/dev/ttyACM0**, перевіряємо числом 0,1,2...

```

pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
/dev/tty1 /dev/tty20 /dev/tty31 /dev/tty42 /dev/tty53 /dev/tty7
/dev/tty10 /dev/tty21 /dev/tty32 /dev/tty43 /dev/tty54 /dev/tty8
/dev/tty11 /dev/tty22 /dev/tty33 /dev/tty44 /dev/tty55 /dev/tty9
/dev/tty12 /dev/tty23 /dev/tty34 /dev/tty45 /dev/tty56 /dev/ttyACM0
/dev/tty13 /dev/tty24 /dev/tty35 /dev/tty46 /dev/tty57 /dev/ttyAMA0
/dev/tty14 /dev/tty25 /dev/tty36 /dev/tty47 /dev/tty58 /dev/ttyprintk
/dev/tty15 /dev/tty26 /dev/tty37 /dev/tty48 /dev/tty59
/dev/tty16 /dev/tty27 /dev/tty38 /dev/tty49 /dev/tty6
/dev/tty17 /dev/tty28 /dev/tty39 /dev/tty5 /dev/tty60
/dev/tty18 /dev/tty29 /dev/tty4 /dev/tty50 /dev/tty61
pi@raspberrypi: ~ $ ls /dev/tty*
/dev/tty /dev/tty19 /dev/tty3 /dev/tty40 /dev/tty51 /dev/tty62
/dev/tty0 /dev/tty2 /dev/tty30 /dev/tty41 /dev/tty52 /dev/tty63
/dev/tty1 /dev/tty20 /dev/tty31 /dev/tty42 /dev/tty53 /dev/tty7
/dev/tty10 /dev/tty21 /dev/tty32 /dev/tty43 /dev/tty54 /dev/tty8
/dev/tty11 /dev/tty22 /dev/tty33 /dev/tty44 /dev/tty55 /dev/tty9
/dev/tty12 /dev/tty23 /dev/tty34 /dev/tty45 /dev/tty56 /dev/ttyACM1
/dev/tty13 /dev/tty24 /dev/tty35 /dev/tty46 /dev/tty57 /dev/ttyAMA0
/dev/tty14 /dev/tty25 /dev/tty36 /dev/tty47 /dev/tty58 /dev/ttyprintk
/dev/tty15 /dev/tty26 /dev/tty37 /dev/tty48 /dev/tty59
/dev/tty16 /dev/tty27 /dev/tty38 /dev/tty49 /dev/tty6
/dev/tty17 /dev/tty28 /dev/tty39 /dev/tty5 /dev/tty60
/dev/tty18 /dev/tty29 /dev/tty4 /dev/tty50 /dev/tty61
pi@raspberrypi: ~ $

```

Рисунок 3.10 – Вікно програмного коду для налаштування з'єднання модулів Arduino і Raspberry Pi

Відкриваємо Python і замінюємо **ser = serial.Serial("dev/ttyACM1", 9600)** на знайдений номер ACM.

Raspberry Pi була запрограмована відповідно до наведених алгоритмів. Спочатку порти датчика ініціалізувались, потім вихідні дані були взяті з кожного з датчиків. Для вимірювання стандартних значень частоти серцевих скорочень, температури тіла та сатурації використовувались відповідні бібліотечні функції та математичні формули для розрахунку значень.

Таким чином, датчики підключено до Arduino, а значення передаємо і отримуємо від Raspberry Pi. Тобто, можна відокремити обчислювальні завдання (виконуються Raspberry Pi) і керуючі завдання (виконуються Ардуіно).

3.6 Передача даних на сервер

Коли мікросхема завершує зчитування, вона продовжує надсилати дані на сервер. Зв'язок здійснюється за протоколом Web-Sockets. Цей API забезпечує двонаправлений зв'язок між клієнтом та сервером через TCP-з'єднання (Chopra, 2015), мікросхема здійснює HTTP та TCP-з'єднання спочатку, щоб можна було реалізувати протоколи Web-Socket. Для встановлення з'єднання спочатку запит робиться в HTTP, в ньому клієнт просить сервер оновити з'єднання. Його перевага полягає в безперервному зв'язку з сервером, що дозволяє передавати дані в режимі реального часу, з невеликою затримкою.

SQLite – це дуже проста у використанні база даних. З командного рядка виконуємо наступне:

```
sqlite3 pulseox.db "CREATE TABLE pulseox(stampdate text, stamptime text, spo2 text, bpm text, id integer primary key)"
```

Це створить файл, який називається pulseox.db, у поточному каталозі, який містить єдину таблицю, як визначено вище.

Щоб перевірити базу даних та стовпець id, використано таку команду insert / select:

```
sqlite3 pulseoxdb "INSERT into pulseox(stampdate, stamptime, spo2, bpm)
values('12/30/14','08:00:00','SPO2=100%','BPM=100');SELECT *from pulseox"
12/30/14|08:00:00|SPO2=100%|BPM=100|1
```

Тепер, коли база даних налаштована, можна перейти до синтаксичного аналізу даних у режимі реального часу та збереження їх у таблицю.

3.6.1 Розміщення даних у хмарних базах даних. Google Firebase – це хмарна платформа, як зазначалось вище, що дозволяє створювати бази даних у реальному часі. Тобто, наша мета передавати дані з Arduino, що підключений до Raspberry Pi, для надсилання даних до бази даних у реальному часі.

Зазначаємо наступну команду в терміналі, щоб встановити пакет Python для Google Firebase «sudo pip» запити на встановлення «python-firebase».

```
cd ~/Documents/Codebase
nano firebase_dht.py
```

Відредагуємо наступний рядок (рядок 9 у наведеному нижче коді) і додамо URL-адресу Firebase

```
https://OUR_FIREBASE_URL.firebaseio.com/
```

Для запуску коду:

```
python firebase_dht.py
import RPi.GPIO as GPIO
from time import sleep
from firebase import firebase
import Adafruit_DHT

sensor = Adafruit_DHT.DHT11
pin = 4

firebase = firebase.FirebaseApplication('https://YOUR_FIREBASE_URL.firebaseio.com/',
None)
firebase.put("/", "/temp", "0.00")
firebase.put("/", "/humidity", "0.00")

while True:
    humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(sensor, pin)
    if humidity is not None and temperature is not None:
        str_temp = ' {0:0.2f} *C '.format(temperature)
        str_hum = ' {0:0.2f} %'.format(humidity)
        print('Temp={0:0.1f}*C Humidity={1:0.1f}%'.format(temperature,humidity))
        firebase.put("/", "/temp",str_temp)
        firebase.put("/", "/humidity",str_hum)
    else:
```

```
print('Failed to get reading. Try again!')
sleep(5)
```

3.6.2 Скрипт для збору та вставки даних. Запуск сценарію оболонки як фоновий процес, який відкриває послідовний пристрій і постійно перевіряє наявність даних. Коли він читає рядок, він «рубав» його (з необроблених даних один пробіл є роздільником) і вставляє рядок в базу даних. Буде використовувати PHP як мову сценаріїв та PDO як розширення API для підключення до бази даних.

```
$ser = fopen("/dev/ttyUSB0","r");

$dbh=new PDO('sqlite:/var/www/pulseox.db');
$query=$dbh->prepare("INSERT into pulseox (stampdate, stamptime, spo2, bpm) VALUES (
:param0, :param1, :param2, :param3);");

while (!feof($ser)) {
    $buffer = fgets($ser);
    $din = explode(" ", $buffer);
    $query->bindParam(':param0', $din[0]); # stampdate - 12/30/14
    $query->bindParam(':param1', $din[1]); # stamptime - 08:00:00
    $query->bindParam(':param2', $din[3]); # spo2 - SPO2=100%
    $query->bindParam(':param3', $din[4]); # bpm - BPM=123
    $query->execute();
}
```

Для стислості було видалено виявлення помилок із наведеного вище коду, наприклад, перевірку, чи не вдається відкрити послідовний пристрій, чи перевірку різних помилок бази даних.

Коли кожен рядок зчитується, команда "explode" вірізає рядок у кожен фрагмент даних. Потім кожен фрагмент даних прив'язується до правильного розташування в операторі SQL бази даних перед виконанням SQL [33].

3.6.3 Затримка передачі даних. У реальній передачі відбувається:

- втрата пакетів, а потім повторна передача
- затримка по шляху передачі.

Емпіричне правило для ланцюгів від 1 до 10 Мегабіт в секунду полягає у зменшенні пропускної здатності на

- Від 10 до 15% для внутрішньоконтинентальної передачі
- Від 20 до 25% для основних економік північної півкулі (Великобританія, Європа, США),

3.6.4 Шифрування. Додавання шифрування (IPSec або SSL) ще більше збільшить кількість переданих даних. Фактичний вплив буде сильно залежати від середнього розміру пакета. IPSec зазвичай додає до заголовка 40 байт, що менше впливає на велику передачу даних з MTU 1350 байт, ніж для інтерактивної сесії, обмін пакетами з MTU 400 байт.

Часто забувають про затримку шифрування та дешифрування, що робить передачу більш прихованою.

3.6.5 Розрахунок експериментальної передачі даних з медичних датчиків. Якщо ми передаємо ці дані (без шифрування) зі швидкістю 10 мегабіт в секунду:

$224\,000\,000\,000 \text{ bits} / 10\,000\,000 \text{ bits per second} = 22400 \text{ seconds} = 373 \text{ minutes.}$

І потім, згідно відомих значень:

Додати 20% для передачі даних з Великобританії в США.

Додати 10% для шифрування в IPSec.

Отримуємо:

$373 \text{ minutes} * 20\% * 10\% = 492 \text{ minutes.}$

Довжина захищених даних. Необхідно оцінити довжину даних, які є предметом захисту, тобто довжину даних, які надходять у алгоритм автентифікації або шифрування. Рисунок 3.11 ілюструє, які частини пакета захищені протоколом АН (a), ESP (b) або тим і іншим (c), та обчислює довжину певних заголовків [31]. У таблиці (c) довжина захищених полів підсумована для всіх можливих комбінацій АН та ESP. Слід зазначити, що автентифікація АН, на відміну від ESP, захищає також новий IP-заголовок, за винятком так званих змінних полів, тобто полів, які шляхом маршрутизації через мережу змінені. Незмінні поля в IP заголовки мають довжину 12 байт.

Таблиця 3.1

Довжина захищених даних

Ауентифікація/Шифрування	Довжина захищених даних (крім корисного навантаження та ESP)
AH / -	78 bytes / -
- / ESP	- / 40 bytes
ESP / ESP	56 bytes / 40 bytes
AH / ESP	92 bytes / 40 bytes

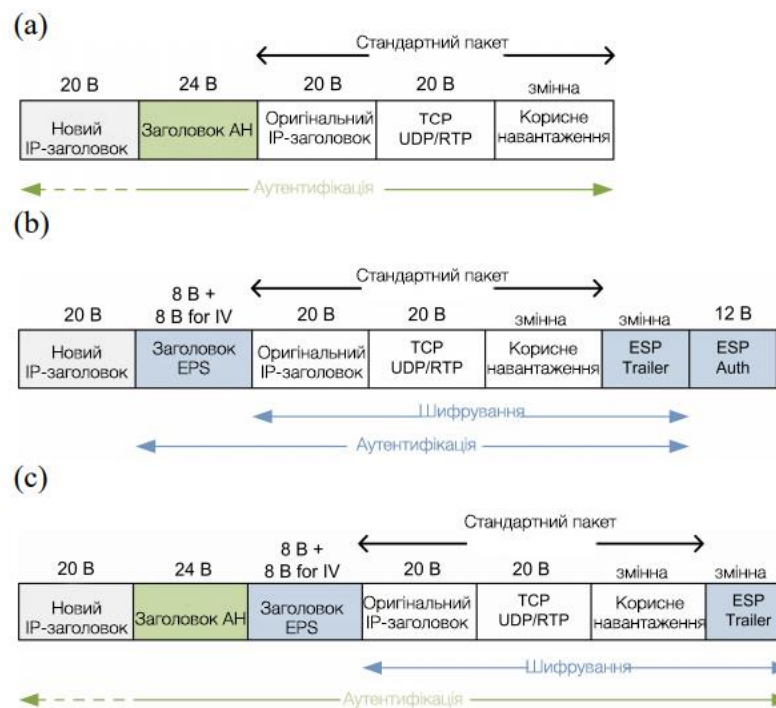


Рисунок 3.11 – Довжина даних, захищених протоколом (a) AH, (b) ESP, (c) обома

Якщо ми виразимо це математично, загальна кількість зашифрованих даних, включаючи заповнення та корисне навантаження, буде (згідно [31]):

$$N_{alg} = \left\lceil \frac{N'_{alg} * b + 2}{4} \right\rceil * 4 \quad (3.1)$$

де N_{alg} – довжина зашифрованих даних без заповнення (тобто корисне навантаження плюс заголовки),

b – розмір блоку.

Значення "+2" у чисельнику обумовлене полем. Хоча АН не мають спеціального поля для заповнення, алгоритми автентифікації HMAC-SHA-1 та HMAC-MD5 працюють також із блоками, в даному випадку 64 байтовими [33], [34]. Таким чином, довжина автентифікованих даних буде

$$N_{alg} = \left\lceil \frac{N'_{alg}}{64} \right\rceil * 64 \quad (3.2)$$

де N_{alg} – довжина автентифікованих даних без заповнення (тобто корисне навантаження плюс заголовки).

Наприклад, у випадку 20-байтового корисного навантаження лише для аутентифікації АН буде

$$N_{alg} = \left\lceil \frac{20=78}{64} \right\rceil \times 64 = 2 \times 64 = 128 \text{ байти}, \quad (3.3)$$

для 1390 байт корисного навантаження

$$N_{alg} = \left\lceil \frac{1390=78}{64} \right\rceil \times 64 = 23 \times 64 = 1472 \text{ байта}. \quad (3.4)$$

3.7 Захист та конфіденційність при передачі медичних даних

Аутентифікація в службах OAuth2. Для безпечного доступу до Інтернет-сервісу користувачам необхідно пройти автентифікацію до служби – вони повинні надати підтвердження своєї особи. Для програми, яка отримує доступ до сторонньої служби, проблема безпеки є ще більш складною. Щоб отримати доступ до послуги, користувач повинен мати не тільки автентифікацію, але й дозвіл діяти від імені користувача.

Стандартним способом роботи з аутентифікацією для сторонніх служб є протокол OAuth2. OAuth2 надає єдине значення, яке називається токеном аутентифікації, яке представляє як ідентичність користувача, так і дозвіл програми діяти від імені користувача. В роботі реалізовуємо підключення до сервера Google, який підтримує OAuth2. Хоча служби Google використовуються як приклад, продемонстровані методи працюють на будь-якій службі, яка правильно підтримує протокол OAuth2.

Використання OAuth2:

- Отримання дозволу користувача на доступ до онлайнової служби за допомогою його облікового запису.

- Автентифікація до Інтернет-сервісу від імені користувача.
- Обробка помилок автентифікації.

Щоб почати використовувати OAuth2, необхідно знати кілька речей про API, до якого необхідно отримати доступ:

- URL-адреса служби, до якої необхідно отримати доступ.
- Сфера автентифікації, яка є рядком, що визначає конкретний тип доступу, про який вимагає ваша програма.

Наприклад, область автентифікації доступу лише для читання до Google Tasks – це «Перегляд завдань», а область автентифікації доступу для читання та запису до Google Tasks – «Керування завданнями».

- Ідентифікатор клієнта та секрет клієнта – це рядки, що ідентифікують додаток до служби. Необхідно отримати ці рядки безпосередньо у власника служби. Google має систему самообслуговування для отримання ідентифікаторів клієнта та паролей. У статті [34] «Авторизація та використання REST API» пояснюється, як використовувати цю систему для отримання цих значень для використання з API Google Tasks

Запит інтернет-дозволу. Для додатків, націлених на Android 6.0 (рівень API 23) і вище, сам метод `getAuthToken` не вимагає жодних дозволів. Однак, щоб виконувати операції з маркером, потрібно додати дозвіл на INTERNET до файлу-маніфесту, як показано в наступному фрагменті коду:

```
<manifest ... >
    <uses-permission android:name="android.permission.INTERNET" />
    ...
</manifest>
```

Запит маркера аутентифікації. Щоб отримати маркер, потрібно викликати `AccountManager.getAuthToken`. Наступний фрагмент показує, як працювати з низкою зворотних викликів, щоб отримати маркер:

```
AccountManager am = AccountManager.get(this);
Bundle options = new Bundle();
```

```

am.getAuthToken(
    myAccount_,           // Account retrieved using getAccountsByType()
    "Manage your tasks",  // Auth scope
    options,              // Authenticator-specific options
    this,                 // Your activity
    new OnTokenAcquired(), // Callback called when a token is successfully acquired
    new Handler(new OnError())); // Callback called if an error occurs

```

У цьому прикладі `OnTokenAcquired` – це клас, який реалізує `AccountManagerCallback`. Виклики `AccountManager.run()` на `OnTokenAcquired` з `AccountManagerFuture`. Якщо виклик вдавсь, маркер знаходиться всередині набору.

Отримати маркер із набору можна наступним чином:

```

private class OnTokenAcquired implements AccountManagerCallback<Bundle> {
    @Override
    public void run(AccountManagerFuture<Bundle> result) {
        // Get the result of the operation from the AccountManagerFuture.
        Bundle bundle = result.getResult();

        // The token is a named value in the bundle. The name of the value
        // is stored in the constant AccountManager.KEY_AUTHTOKEN.
        String token = bundle.getString(AccountManager.KEY_AUTHTOKEN);
        ...
    }
}

```

Якщо все вірно, `Bundle` містить дійсний маркер у ключі `KEY_AUTHTOKEN`.

Програми можуть тривіально розглянути перші два випадки, як правило, просто показуючи користувачеві повідомлення про помилку. Якщо мережа не працює або користувач вирішив не надавати доступ, програма з цим мало що може зробити. Останні два випадки є дещо складнішими, оскільки, програми, що працюють належним чином, автоматично обробляють ці збої.

Третій випадок помилки, маючи недостатньо облікових даних, передається через Комплект, який ми отримуємо у своєму AccountManagerCallback (OnTokenAcquired з попереднього прикладу). Якщо Пакет містить дозвіл у ключі KEY_INTENT, тоді аутентифікатор повідомляє нам, що йому потрібно взаємодіяти безпосередньо з користувачем, перш ніж він зможе дати нам дійсний маркер.

Причин для того, щоб аутентифікатор повернув запит може бути багато. Можливо, це перший раз, коли користувач увійшов до цього облікового запису. Можливо, термін дії облікового запису користувача закінчився, і їм потрібно увійти ще раз, або, можливо, їхні збережені облікові дані неправильні.

Сам модуль аутенфікації буде розроблено у повній мірі в подальшому.

Підключення до онлайн-сервісу. У наведеному нижче прикладі показано, як можливо підключитися до сервера Google. Google використовує галузевий стандартний протокол OAuth2 для аутентифікації запитів.

API Google вимагає, щоб було надавано чотири значення з кожним запитом: ключ API, ідентифікатор клієнта, секрет клієнта та ключ аутентифікації. Перші три надходять із веб-сайту консолі Google API. Останнє – це значення рядка, яке отримане, викликавши AccountManager.getAuthToken (). Ми передаємо їх на сервер Google як частину запиту HTTP.

```
URL url = new URL("https://www.googleapis.com/tasks/v1/users/@me/lists?key=" +
your_api_key);
URLConnection conn = (URLConnection) url.openConnection();
conn.addRequestProperty("client_id", your_client_id);
conn.addRequestProperty("client_secret", your_client_secret);
conn.setRequestProperty("Authorization", "OAuth " + token);
```

Якщо запит повертає код помилки HTTP 401, маркер відхилено. Як зазначалося, найпоширенішою причиною цього є те, що термін дії маркера закінчився. Виправлення просто: зателефонувати

AccountManager.invalidateAuthToken ()).

Оскільки токени, термін дії яких минув, є настільки поширеним явищем, і виправити їх настільки просто, багато програм просто припускають, що термін дії маркера закінчився, ще до того, як звернутись до нього [35]. Цей модуль також в розробці, але перше підключення з мобільного додатку, що представлений нижче, отримано.

3.8 Додаток інформаційно-телекомунікаційної системи передачі даних

Нам потрібно відобразити останній зареєстрований рівень кисню та частоту серцевих скорочень на веб-сторінці. Спочатку необхідно розмістити частину PHP-коду на просту веб-сторінку для отримання даних.

На наступному кроці:

```
$dbh = new PDO('sqlite:/var/www/pulseox.db');
$query=$dbh->prepare("SELECT stampdate, stamptime, spo2, bpm from pulseox order by id
desc limit 1");
$query->execute();
$result=$query->fetch();

echo "$result[0] $result[1] $result[2] $result[3]";
```

Поки що ми отримуємо лише такий результат:

```
01/03/15 07:33:18 SPO2=094% BPM=090
```

Також потрібно показати на веб-сторінці середній рівень кисню та частоту серцевих скорочень за останню годину. Наступний код – це те, як було отримано ці 2 значення:

```
$query=$dbh->prepare("SELECT round(avg(substr(bpm,5,3)),1), round(avg(substr(spo2,6,3)),1)
from pulseox where bpm != 'BPM=---' and spo2 != 'SPO2=---%' and id > ((select max(id) from
pulseox) - 3600)");
$query->execute();
$result=$query->fetch();
```

```
$avg_bpm = $result[0];
$avg_spo2 = $result[1];
```

Аналогічно повторюємо код для температури та частоти серцевих скорочень.

Візуалізація додатку. Оглянувши різні бібліотеки, нам для цього потрібно використовувати візуалізацію Google. Нижче наведено код, який перетворює результати php у формат, зрозумілий Google Visualization. Цей код також встановлює текстову мітку для кожного датчика.

```
var bpm_data = google.visualization.arrayToDataTable([[ 'Label', 'Value'],[ 'BPM', <?php echo $chart_bpm_data; ?>]]);
var spo2_data = google.visualization.arrayToDataTable([[ 'Label', 'Value'],[ 'SPO2', <?php echo $chart_spo2_data; ?>]]);
var avg_bpm_data = google.visualization.arrayToDataTable([[ 'Label', 'Value'],[ 'AVG BPM', <?php echo $chart_avg_bpm_data; ?>]]);
var avg_spo2_data = google.visualization.arrayToDataTable([[ 'Label', 'Value'],[ 'AVG SPO2', <?php echo $chart_avg_spo2_data; ?>]]);
```

Інтерфейс додатку контролю параметрів з датчиків, які описані та розроблені в роботі представлено на рисунку 3.11.

Однак будь-що в хмарі має ризик втрати конфіденційності. Щоб запобігти цьому, додаток шифрується обліковими даними для входу в цілях безпеки.

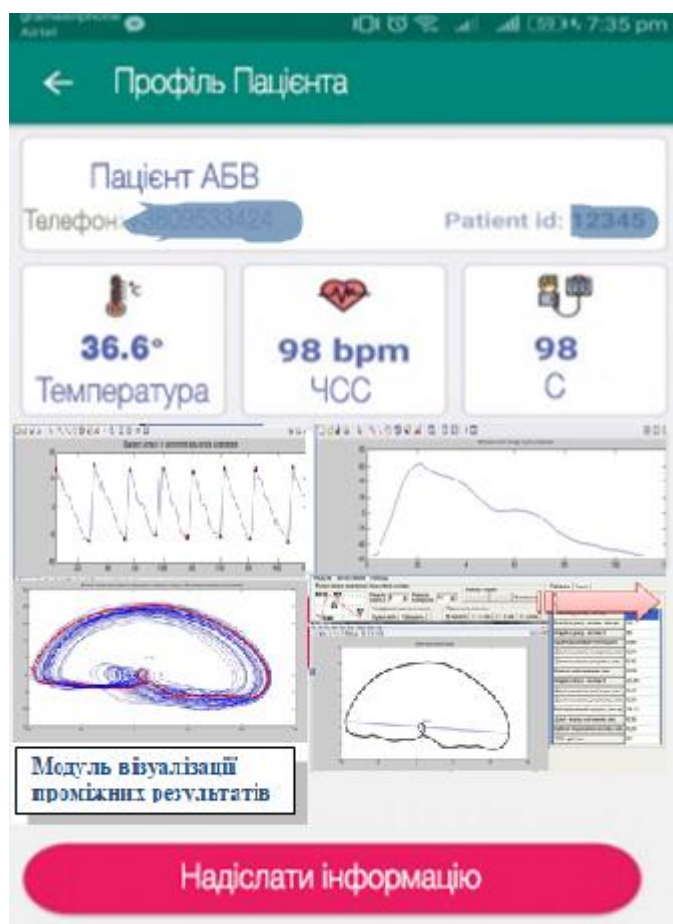
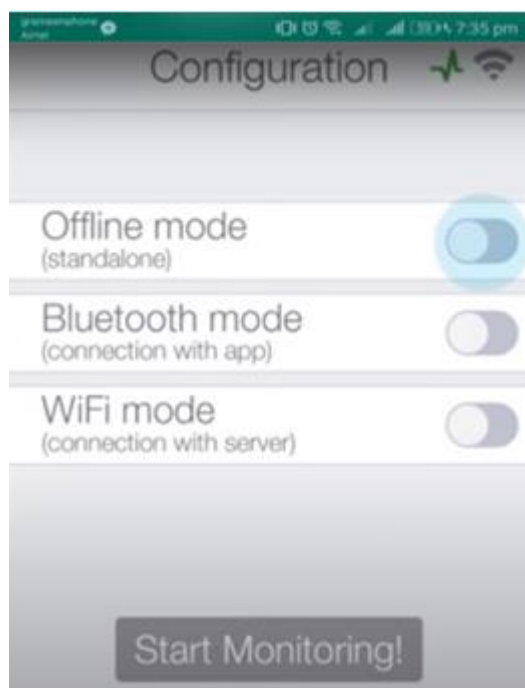


Рисунок 3.11 – Інтерфейс додатку контролю параметрів



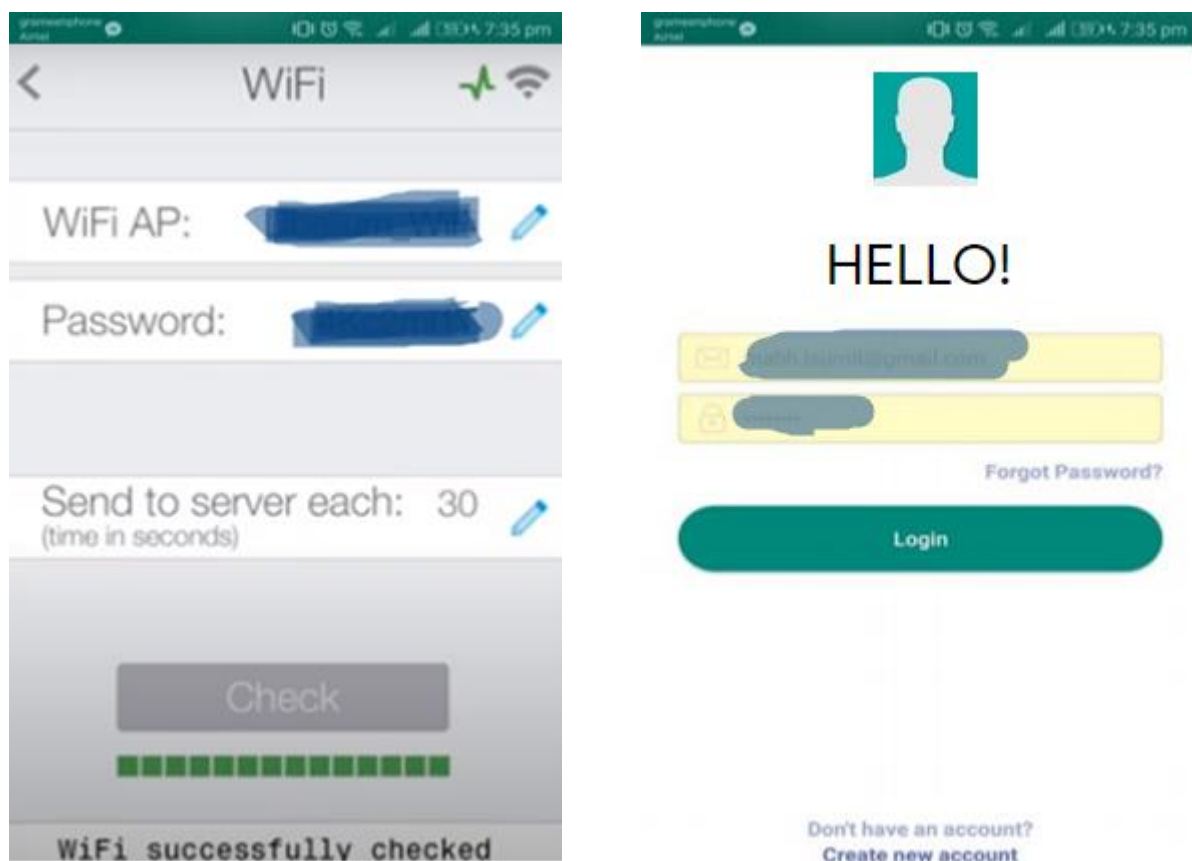


Рисунок 3.12 – Додаток із запитом на реєстраційні дані користувача

Висновки до розділу 3

Проведено дослідження по передачі медичних даних з давачів (сенсорів) на телефон Android з використанням Arduino і модуля NRF24L01 через Bluetooth (BLE). Але з врахуванням недоліків, з'ясованих в ході роботи, запропонована методика передачі даних на віртуальний сервер та на мобільний додаток за допомогою модуля Raspberry PI за технологією Wi-Fi.

ВИСНОВКИ

У роботі проведено дослідження та розробка інформаційно-телекомунікаційної системи передачі медичних даних – системи, що забезпечує збирання, пошук, оброблення та передачу інформації для подальшого аналізу.

Проведено дослідження по передачі медичних даних з давачів (сенсорів) на телефон Android з використанням Arduino і модуля NRF24L01 через Bluetooth (BLE). Але з врахуванням недоліків, з'ясованих в ході роботи, запропонована методика передачі даних на віртуальний сервер та на мобільний додаток за допомогою модуля Raspberry PI за технологією Wi-Fi.

Тобто, в роботі було розв'язано поставлені задачі:

- проведено аналіз каналів зв'язку, стандартів, протоколів та технологій передачі медичних даних;
- зроблено вибір типу технології безпроводної передачі медичних даних;
- проведено дослідження модулів для передачі медичних даних до мобільного пристрою/сервера;
- запропоновано уніфіковану модель взаємодії медичного обладнання в мережі;
- розроблено макет додатку з візуалізацією медичної інформації.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Coiera E. Guide to medical informatics, the Internet and telemedicine. – Chapman and Hall Medical, 2020. – 376 p
- [2] Jor Rodrigues. Health Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. – USA: IGI Global, 2019. – 1140 p.
- [3] Сергєєв-Горчинський О.О. Методи та моделі підвищення завадостійкості інформаційно-телекомунікаційних систем медичного призначення / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Київ, НТУУ «Київський політехнічний інститут», 2016. – 174 с.
- [4] Кошева Л.О. Стандарти передачі медичної інформації в телемедичних системах / Л.О. Кошева, О.С. Корпан, Є.О. Павлов Інформаційні технології в медицині. Системи обробки інформації. – Випуск 2 (109). – 2017. С. 255-258.
- [5] Bluetooth low energy possibilities in healthcare [Електронний ресурс] –
 Режим доступу: <https://www.electronicsspecifier.com/news/blog/bluetooth-low-energy-possibilities-in-healthcare>
- [6] M. A. Matin, R. Rahman, Android-Based Telemedicine System for Patient-Monitoring, North South University, Bangladesh, 2022. – 190 p.
- [7] [Електронний ресурс] Режим доступу:
<https://ehealth.gov.ua/2022/08/19/pershi-telemedychni-platformy-vzhe-pratsyuyut-v-ukrayini/>
- [8] Буковина : наукова бібліотека [Електронний ресурс] / БукЛіб. –
 Режим доступу: <http://buklib.net>.
- [9] Кветний Р. Основи техніки передавання інформації: підручник / Р. Н. Кветний, М. М. Компанець, С. Г. Кривогубченко, А. Я. Кулик. – Вінниця: УНШЕРСУМ-Вінниця, 2022. – 348 с.
- [10] Чернега В. Розрахунок і проектування технічних засобів обміну і передачі інформації / В. С. Чернега. – К., 1990. – 168 с.

[11] Про радіочастотний ресурс України / Закон України від 01.06.2000 № 1770-III, в редакції від 24 червня 2004 р.

[12] Центр дистанційного навчання [Електронний ресурс] / Національна академія державного управління при Президентові України. – Режим доступу: <http://www.uaadlc.org.ua>.

[13] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://medstat.gov.ua/ukr/main.html>

[14] Злепко С.М. Метод передачі медичної інформації та її збереження в базі даних / С.М. Злепко, П.Г. Прудіус, В.В. Сергєєва, С.В. Тимчик // Медична інформатика та інженерія. - 2009. - № 4. - С. 85-90. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mii_2009_4_17

[15] Шевчук А.В. Система дистанційного моніторингу пацієнтів в умовах COVID-19 /А.В. Шевчук, Д.С. Морозов // Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/01/99-2.pdf>

[16] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://telemed24.ua/articles/telemedecina-v-ukraini>

[17] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ehealth.gov.ua/2022/08/19/pershi-telemedychni-platformy-vzhe-pratsyuyut-v-ukrayini/>

[18] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://global.newmedicine.com.ua/>

[19] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://doctoronline.care/>

[20] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medinet.com.ua/>

[21] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://medikit.ua/>

[22] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://martabot.pro/>

[23] <https://tech.eu/2018/02/02/medopad-funding/>

[24] [Електронний ресурс]. Режим доступу:

<https://www.mobihealthnews.com/tag/medopad>

[25] [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ilab.xmedtest.net>.

[26] Health Level Seven International. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.hl7.org>

[27] Jor Rodrigues. Health Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications. – USA: IGI Global, 2010. – 1140 p.]

[28] Макаренко А.Ю., Парфенова А.О., Могильний С.Б. Бездротові технології передачі даних Wi-Fi, Bluetooth та ZigBee / Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Радіотехніка». Радіоапаратобудування. – 2017. – №41.

[29] Оліфер В.Г., Оліфер Н.А. Комп'ютерні мережі. Принцип, технології, протоколи (в перекладі з англ). – К: "Ресурс", 2020. – 672 с.

[30] Старик Ю.І. Проект радіомережі на основі технології Wi-Fi для збору телеметричних даних з електричних підстанцій [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/29840/2/dyplom_Staryk.pdf

[31] 13 IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications

[32] 14 IEEE Std 802.11a-1999 (Reaff 2003), Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements.

[33] 15 IEEE Std 802.11b-1999, Supplement to IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements

[34] 16 IEEE Std 802.11g-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications

[35] 17 IEEE Std 802.11i-2004, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements

[36] 18 IEEE Std 802.11n-2009, IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks.

[37] [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://www.blemobileapps.com/blog/use-bluetooth-low-energy-technology-healthcare/>

[38] M. A. Matin, R. Rahman, Android-Based Telemedicine System for Patient-Monitoring, North South University, Bangladesh, 2012.

[39] IEEE 802.15.4. Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003