

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 61.621.397:004.9/72

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій
к.т.н., доц. Нікітчук Т.М.

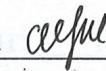
« 14 » грудня 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Аналіз побудови телемедичної мережі сільської
амбулаторії

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

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр. ТРМ-20-1

8.12.2021 р. 
(дата, підпис)

Новіцький М.А.

Керівник роботи
к.т.н., доц.

8.12.2021 р. 
(дата, підпис)

Коренівська О.Л.

Житомир
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему Аналіз побудови телемедичної мережі сільської
амбулаторії

Виконав: студент 2 курсу,
групи ТРМ-20-1 спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

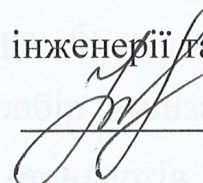
Новіцький М.А.

Керівник Коренівська О.Л.

Рецензент _____

«Затверджено»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій


Т.М. Нікітчук

« 15 » січня 2021 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Новіцький Максим Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз побудови телемедичної мережі сільської амбулаторії

затверджено наказом по університету від «08» листопада 2021 р. № 546/с

2. Мета дослідження Побудова телемедичної системи надання медичних послуг з урахуванням параметрів що передаються

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін. Передача медичних даних та зображень, відео, телефонії, проведення відеоконференцій по локальній телемедичній мережі

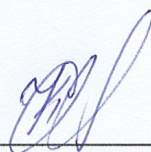
4. Основні задачі дослідження Порівняння засобів та методів побудови телемедичних мереж, визначення вимог та типів даних та методи передачі даних. Розроблення структури організації телемедичної мережі

5. Термін подання роботи до захисту грудень 2021 р.

6. Дата видачі завдання «_15_» січня 2021 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

(підпис)

Кореміська О.П.
(прізвище, ініціали)
Новіцький М.Ф.
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

У випускній кваліфікаційній роботі проводиться аналіз побудови телемедичної системи надання медичних послуг у сільській місцевості з врахуванням параметрів інформації котра буде передаватись та типу телемедичних послуг. В роботі проведено вибір реалізації типу проекрованої мережі, проведено порівняльний аналіз стандартів 802.11n та 802.11ac, обґрунтовано використання побудови безпроводної мережі за стандартом 802.11ac. Розраховано та розроблено структуру телемедичної мережі та реалізовано проєкт бездротової телемедичної мережі на основі стандарту 802.11 n.

РЕФЕРАТ

В роботі проведено аналіз побудови телемедичної мережі для надання медичних послуг в сільській місцевості із урахуванням параметрів що передаються та типу даних.

Пояснювальна записка містить 63 сторінки, складається з трьох розділів, містить 15 рисунків, 15 таблиць, 18 посилань на літературу.

В першому розділі проведений аналітичний огляд розвитку телекомунікаційно-інформаційних технологій в медицині, основні поняття та проблеми побудови. Досліджені методи побудови телемедичних мереж. Розглянуто переваги та недоліки провідних та безпроводних технологій, вибрано для подальшої реалізації побудову на основі безпроводних технологій. Проведено огляд основних протоколів для побудови бездротових телемедичних систем, також визначено їх технічні характеристики, рекомендації до застосування, переваги та недоліки.

В другому розділі було розглянуто структуру побудови телемедичної мережі в амбулаторії. Класифікація моделей, визначення вимог до побудови телемедичної мережі та розробка алгоритмів для них. Визначено методику організації безпроводної Wi-Fi мережі.

В третьому розділі проведений розрахунок телемедичної мережі. Визначення стандартів передачі даних та розрахунок їх швидкості передачі і кількості необхідних точок. Проведено вибір обладнання для мережі та вплив перешкод на зону покриття мережі 802.11.

В роботі також наведено висновки по проведеній роботі та список використаних літературних джерел.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 Аналітичний огляд розвитку телекомунікаційно-інформаційних технологій в медицині.....	10
1.1. Історія розвитку телемедицини.....	10
1.2. Основні поняття телемедицини, види та функціонування.....	11
1.3. Проблемні питання розробки телемедичних мереж.....	15
1.4. Технології побудови телемедичних мереж.....	17
1.5 Висновки до розділу 1.....	25
2 Структура побудови телемедичної мережі в амбулаторії.....	26
2.1 Класифікаційна модель побудови телемедичних мереж.....	26
2.2 Визначення вимог до побудови телемедичної мережі в амбулаторії....	30
2.3 Розробка алгоритму побудови телемедичної мережі.....	35
2.4 Організація безпроводної Wi-Fi мережі телемедицини.....	36
3 Розрахунок телемедичної мережі.....	44
3.1 Визначення стандарту передачі даних в телемедичній мережі.....	44
3.2 Розрахунок швидкості передачі телемедичної робочої станції.....	46
3.3 Розрахунок кількості точок доступу телемедичної мережі.....	47
3.4 Вибір обладнання для побудови телемедичної мережі.....	50
3.5 Розрахунок кількості точок доступу телемедичної мережі.....	54
3.6 Вплив перешкод на зону покриття мережі 802.11.....	57
Висновок по роботі.....	61
Використані літературні джерела.....	62

ВСТУП

Сьогодні телемедицина є одним з найбільш швидко зростаючих сегментів охорони здоров'я у світі.

Телемедицина – комплексне поняття, яке включає процеси консультацій, діагностики, лікування та профілактики в рамках сучасних медичних послуг, які надаються за допомогою засобів телекомунікацій та інформаційних технологій.

Характерними ознаками телемедицини є можливість надання клінічної допомоги в умовах подолання географічних бар'єрів, а також використання різних видів інформаційно-комунікаційних технологій з метою покращення здоров'я населення.

Ефективність сучасної телемедицини безпосередньо залежить від ефективної взаємодії між телемедичними мережами та телемедичними послугами, яке, у свою чергу, полягає у висуванні низки взаємних вимог, які можуть бути надані за їх використанням.

Актуальність розробки та досліджень обумовлена по-перше, сучасним епідемічним станом в Україні, коли стала дуже важливою можливість проведення дистанційних консультацій з лікарями, передача діагностичних даних та результатів лабораторних аналізів на відстань; по-друге, відповідно до програм держави щодо реформування системи охорони здоров'я в Україні важливу роль відіграє впровадження інформаційних технологій, здатних забезпечити доступність та високу якість надання медичної допомоги населенню незалежно від місця проживання та соціального статусу людини, що можна реалізувати використовуючи технології телемедицини [1-3].

В якості носіїв сучасної медичної інформації сьогодні широко використовуються цифрові можливості для передачі і обміну медичними даними та зображеннями у комп'ютерних мережах, рентгенівськими знімки, результатами комп'ютерної томографії, магнітно-резонансної томографії, лабораторних досліджень тощо.

Удосконалення існуючих та створення нових телемедичних інформаційних систем є одним з важливих факторів підвищення якості і

доступності кваліфікованої медичної допомоги населенню. В Україні у 2018 році впроваджено електронну систему охорони здоров'я eHealth, яка поєднує в центральній базі даних взаємодію 15 провідних медичних інформаційних систем, зокрема Helsi, EMCiMED, Доктор Елекс, MEDSTAR, MEDICS, МедЕйр, UASmart, MIC «Каштан», «Поліклініка без черг» та інші [1]. Впровадження нових та удосконалення існуючих медичних інформаційних технологій в Україні базується на виконанні міжнародних стандартів і протоколів. Широке впровадження телемедицини дозволить істотно підвищити ефективність надання медико-санітарної допомоги, якість діагностики соціально значущих захворювань на рівні первинної ланки та ефективність надання швидкої й невідкладної медичної допомоги.

Метою дослідження є проведення аналізу побудови телемедичної системи надання медичних послуг у сільській місцевості з врахуванням параметрів інформації що передається та типу телемедичних послуг для підвищення ефективності обміну медичними даними у локальній телемедичній мережі бездротового доступу в амбулаторії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі *задачі*:

1. Провести порівняльний аналіз існуючих засобів і методів побудови спеціалізованих мереж для обміну медичною інформацією.
2. Визначити вимоги до побудови телемедичної мережі, враховуючи вид інформації котра передається, її обсяги, частоту та дальність передачі.
3. Провести вибір типу передачі даних, аналіз стандартів передачі даних.
4. Розробити структуру організації телемедичної мережі амбулаторії.

Об'єкт дослідження – процес обміну медичними даними у телемедичних мережах.

Предмет дослідження – телемедична мережа для обміну медичними даними, методи і модель її побудови та функціонування.

Методи дослідження. При виконанні магістерського дослідження застосовувались методи: системного аналізу (для обґрунтування аспектів побудови телемедичної мережі), бібліосемантичний метод (для вивчення вітчизняного та світового досвіду і наукових підходів до вирішення

досліджуваної проблеми), метод інформаційного моделювання (для розроблення інформаційних моделей і методів), методи теорії біотехнічних систем (для розроблення функціональних схем та архітектури інформаційної мережі), методи мережевих технологій (для розрахунку та проектування локальної безпроводної телемедичної мережі).

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що: розроблено структурно-функціональну організацію телемедичної системи амбулаторії у вигляді сукупності апаратного, аналітичного та інформаційного ресурсів, які здійснюють зв'язок між вимірювальними сенсорами та цифровими засобами обробки даних при проведенні лабораторних досліджень, передачу результатів досліджень усім базовим робочим станціям лікарів, а також можливість внутрішньої передачі медичних даних та зовнішній зв'язок з користувачами телемедичних послуг.

Структура та обсяг роботи. Випускна кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел, який нараховує 18 найменувань; додатків. Загальний обсяг дисертації 63 сторінки, містить 15 рисунків і 15 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗВИТКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНО-ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В МЕДИЦИНІ

1.1 Історія розвитку телемедицини

Телемедицина налічує понад 120 років [1,2]. Першою країною, яка запустила проекти з телемедицини, стала Норвегія, що було продиктовано наявністю великої кількості важкодоступних регіонів для надання традиційної медичної допомоги. Другий проект було здійснено у Франції з метою забезпечення медичної допомоги морякам цивільного та військового флотів [2, 3].

Термін «телемедицина», який ввів R. Mark в 1974 році [1-3] в базі MEDLINE, об'єднує безліч телекомунікаційних та інформаційних методів, застосовуваних в охороні здоров'я, а також їх різноманітні клінічні додатки. У більш ранніх роботах зустрічаються терміни «телегнозія», телепсіхіатрія, діагноз за допомогою телебачення, «консультація з допомогою телебачення».

Проаналізувавши літературні джерела можна виділити наступні етапи розвитку телемедицини [1]:

- 1850-1920 рр. – ранній експериментальний період: поодинокі експерименти по передачі медичної інформації засобами телекомунікацій, перші кроки по інтеграції діагностичних приладів і засобів зв'язку, застосування телеграфного зв'язку в військово-польовій медицині та в екстрених ситуаціях;

- 1921-1954 рр. – період первинної систематизації: великі ефективні телемедичні мережі на основі радіозв'язку, що є основним інструментом медичної допомоги екіпажам морських суден і населенню ізольованих територій (в поєднанні з санітарною авіацією), експерименти по передачі біологічної інформації по каналах зв'язку, перші відеотрансляції;

- 1955-1979 рр. – період масштабного застосування: розквіт великих ефективних телемедичних мереж на основі інтерактивного відеоконференц-

зв'язку і транстелефонної електрокардіографії; впровадження інструментів біорадіотелеметрії; формування мобільної телемедицини на основі супутникового зв'язку; наукові дослідження в сфері телемедицини;

- 1981- 1990 рр. – період зміни технологій і поступового переходу до сучасної клінічної телемедицини: модернізація методології на тлі персоналізації комп'ютерної техніки, розвитку Інтернет, появи цифрової діагностичної апаратури. Цей період історії телемедицини називається етапом «дозрівання» і поступається місцем стійкому зростанню.

- З розвитком інформаційних технологій у 90-х роках ХХ століття розвиток телемедицини вступає в найбільш активну фазу, створюються різні ініціативи та проекти. У 2010-х роках інтеграція технологій телемедицини для розумного будинку (пристрої і програмне забезпечення для здоров'я і здоров'я, Інтернет речей), мабуть, стає все більш помітним явищем в галузі. Крім цього, медичні організації все частіше застосовують технології самоконтролю, хмарні технології та інноваційні підходи до аналізу даних для прискорення трансформації системи охорони здоров'я. Також формуються правові засади функціонування телемедицини та надання телемедичних послуг.

В Україні телемедицина вперше була застосована у 1935 році у Львові [1], коли професори Мар'ян Франке та Вітольд Липинський організували постійне використання телеелектрокардіографії (теле-ЕКГ). у відділенні інфекційних захворювань Державного загального шпиталю у Львов, (сучасна Львівська обласна клінічна лікарня). Хворі перебували у відділенні, а результати обстежень серця передавалися на 500 метрів в Інститут патології.

1.2 Основні поняття телемедицини, види та функціонування

При розгляді питань телемедицини варто розрізняти деякі поняття та визначення, які запроваджені наказами МОЗ від 26.03.2010 р. №261 «Про впровадження телемедицини в закладах охорони здоров'я» [4] та від 19.10.2015 р. №681 «Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я» [5].

Основні з них [1,4,5]:

Телемедицина – надання медичних послуг в умовах, коли відстань є критичним фактором, за допомогою інформаційно-комунікаційних технологій з метою обміну необхідною інформацією з метою діагностики, лікування та профілактики захворювань та травм, проведення досліджень та оцінок, а також для безперервної освіти медичних працівників.

Мережа телемедицини – сукупність телемедичних центрів та пунктів, об'єднаних інформаційно-комунікаційною інфраструктурою з метою надання доступу до послуг телемедицини споживачам.

Телемедичний центр – елемент мережі телемедицини, що забезпечує виконання клінічних, організаційних, навчально-методичних та наукових завдань, оснащений необхідними засобами лабораторної та інших видів діагностики та призначений для дистанційного діагностування та якісного лікування низки захворювань у реальному масштабі часу безпосередньо на місцях без доставки пацієнтів до спеціалізованих медичних центрів або з швидкою доставкою до найближчих медичних закладів із встановленим діагнозом та рекомендаціями провідних лікарів із лікування.

Телемедичний пункт – елемент мережі телемедицини, що забезпечує виконання клінічних завдань, оснащений необхідними засобами щодо дистанційного діагностування та консультацій.

Віддалений телемедичний пункт – елемент мережі телемедицини, що знаходиться на значній відстані від телемедичних центрів, оснащений необхідними засобами для дистанційного діагностування та консультацій з фахівцями телемедичних центрів та профільних стаціонарних медичних закладів.

Мобільний телемедичний пункт – елемент мережі телемедицини, оснащений необхідними засобами для діагностики та збору даних про стан пацієнта, обробки та відправлення цих даних фахівцями телемедичних центрів та профільних стаціонарних медичних установ для отримання консультацій у русі.

Локальна мережа телемедицини – сукупність телемедичних центрів та пунктів, об'єднаних інформаційно-комунікаційною інфраструктурою, що

забезпечує доступ споживачам до послуг телемедицини, які надаються у межах однієї одиниці (лікарня, поліклініка).

Регіональна мережа телемедицини – сукупність телемедичних центрів та пунктів, об'єднаних інформаційно-комунікаційною інфраструктурою, що забезпечує доступ споживачам до послуг телемедицини, які надаються Рекомендацією щодо побудови телемедичних мереж на локальному (окремі населені пункти), регіональному (райони, області) та національному рівнях з урахуванням особливостей країн регіону кількома одиницями (лікарні, медичні центри), які сконцентровані в межах однієї області (регіону).

Національна мережа телемедицини – сукупність телемедичних центрів та пунктів, об'єднаних інформаційно-комунікаційною інфраструктурою, що забезпечує доступ споживачам до послуг телемедицини, що надаються різними одиницями (лікарні, медичні центри, інститути), у масштабах держави з можливістю (за потреби) виходу на міжнародний рівень.

Телемедична мережа дає змогу [6]:

упорядкувати та систематизувати процес надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини;

забезпечити сумісність інформації та даних при наданні медичної допомоги із застосуванням телемедицини;

забезпечити використання медичних інформаційних стандартів у процесі надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини;

здійснювати контроль якості надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини.

Портал телемедицини повинен забезпечувати [6]:

сумісність даних та інформації незалежно від того, яка медична інформаційна система використовується в закладі охорони здоров'я, де його місце розташування, які рівень та вид надання медичної допомоги;

застосування медичних інформаційних стандартів;

ідентифікацію користувачів та цілісність даних, що передаються у телемедичній мережі;

автоматизацію процесу надання медичної допомоги із застосуванням телемедицини;

додержання вимог законодавства України щодо захисту персональних даних.

Основне призначення телемедицини – надання телемедичних послуг населенню. Узагальнено можна виділити три послуги телемедицини [6]:

1. Телеконсультації. Це послуга, яка полягає у процесі обговорення конкретного клінічного випадку між пацієнтом та лікарем або між лікарем та лікарем, з метою надання медичної допомоги, призначення лікування тощо.

2. Телемоніторинг. Це послуга, що є процесом віддаленого вимірювання показників функціонального стану пацієнта (тиск, пульс, температура тощо), з подальшою передачею отриманих даних медичному персоналу.

3. Теленавчання. Це послуга, що є процесом навчання з використанням сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, яка дозволяє проводити навчання або підвищення кваліфікації персоналу без відриву від роботи, дистанційно. Ця послуга орієнтована на безперервність процесу навчання медичного персоналу, що сприяє підвищенню їх кваліфікації та як наслідок підвищення якості медичних послуг. Теленавчання реалізується у вигляді відеоконференцій, семінарів, форумів, інтерактивних курсів тощо.

Більш розширений варіант телемедичних процедур [1]:

- телемедичне консультування, віддалене консультування та інструктаж;
- біотелеметрія (телемоніторинг);
- домашня (індивідуальна) телемедицина;
- телескринінг;
- телеприсутність;
- телеасистування;
- дистанційне навчання;
- дистанційне маніпулювання.

За характером надання послуги телемедицини можна розділити на дві групи – синхронні та асинхронні [1-3, 6]. Асинхронні послуги телемедицини – це обмін попередньо отриманими медичними даними між учасниками в різний час.

Синхронні послуги телемедицини надаються в режимі реального часу, за одночасної участі всіх сторін, наприклад відеоконференція. Синхронні послуги телемедицини діляться на on-line послуги (консультації, конференції) та на відстрочені (off-line консультації, конференції) послуги. Відстрочені консультації/конференції – це консультації лікарів віддалених медичних закладів з лікарями обласних та міських закладів охорони здоров'я з використанням медичних зображень та супровідної інформації про пацієнта за протоколами електронної пошти. Відкладені консультації поділяються на термінові (вимагають відповіді протягом 6 годин) та планові (вимагають відповіді протягом 24 годин).

Усі телемедичні послуги оперують такими типами медичних даних [1,6]:

- медичний запис;
- дані;
- чорно-білі/кольорові 2D зображення;
- тривимірні зображення (3D моделі);
- потокове відео, аудіо.

1.3 Проблемні питання розробки телемедичних мереж

Паралельно з розширенням впровадження телемедицини в практику лікарів залишаються невирішеними низка питань, які необхідно враховувати при проектуванні телемедичних систем.

1. Безпека та конфіденційність

Постачальники телемедичних послуг мають забезпечити правила конфіденційності [1, 6] в області захисту особистої конфіденційної інформації про стан здоров'я користувачів. Для цього потрібен комплексний підхід, який передбачає наявність надійного мережевого захисту та контрольоване управління правами доступу, може передбачати зберігання даних на периферійному сервері та передачу даних у хмару.

2. Інтернет речей та штучний інтелект у телемедицині [6]

За часів Інтернету речей надвисока швидкість з'єднання означає, що велика кількість медичних пристроїв та обладнання може бути підключена до сервера чи хмари. Внаслідок цього технологія телемедицини може використовувати дані в реальному часі для забезпечення вищої якості віддаленого обслуговування. Пацієнти можуть використовувати пристрої та інші медичні пристрої вдома, щоб вимірювати артеріальний тиск, температуру, частоту серцебиття і передавати результати для аналізу своєму лікарю. Постачальники послуг зможуть вводити записи пацієнтам, виписувати рецепти та додавати іншу інформацію, до якої буде забезпечений легкий доступ для фармацевтів та фахівців на своїх місцях.

Інтегровані носимі пристрої, відстежують життєві показники пацієнтів протягом дня і передають дані в хмару для їх регулярного аналізу як самими пацієнтами, так і постачальниками медичних послуг. Такий рівень моніторингу здатний допомогти пацієнтам з хронічними захворюваннями ретельніше стежити за своїм станом здоров'я, а також може запобігти необхідності в екстреному обслуговуванні та відвідуванні відділення невідкладної допомоги. Якщо пацієнти відчувають нездужання або у них виникли питання, вони можуть запланувати прийом у лікаря, використовуючи телемедицину; постачальник послуг може отримати доступ до поточних даних та надати консультацію.

Бригади невідкладної допомоги можуть використовувати пристрої телемедицини для отримання даних ЕЕГ, ЕКГ та іншу інформацію, передавати їх до лікарні, перебуваючи в дорозі. Фахівці можуть консультувати з питань необхідної екстреної допомоги, а співробітники лікарні зможуть краще підготуватись до прибуття пацієнта. Можливість негайного реагування на екстрені випадки може врятувати життя, особливо у разі інфарктів та інсультів.

Штучний інтелект надає нові можливості для телемедицини. Наприклад, штучний інтелект може давати підказки, які полегшать отримання історії хвороби під час прийому за допомогою телемедицини, динамічно вносячи корективи у запитання на підставі відповідей. Алгоритми штучного інтелекту можуть також допомагати з діагностикою захворювань.

Інші інструменти із застосуванням штучного інтелекту можуть надавати персоналізовані нагадування для прийому лікарських препаратів та рекомендувати необхідність перевірки стану пацієнта на основі персональних даних, отриманих в результаті моніторингу.

3. Впровадження гнучкої, безпечної IT-інфраструктури, включаючи стійкі мережеві можливості.
4. Сумісність рішень для пристроїв та програмного забезпечення.
5. Зрозумілі інтерфейси для пацієнта та постачальника послуг, включаючи зручний портал для клієнтів.

1.4 Технології побудови телемедичних мереж

На сьогоднішній день можна виділити дві основні технології побудови телемедичних мереж – провідна та безпроводна (бездротова).

Бездротова телемедична мережа [6]– розподілена мережа, що складається із безлічі датчиків і пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіосигналу. Область покриття таких мереж становить від декількох метрів до декількох кілометрів за рахунок здатності ретрансляції повідомлень від одного елемента до іншого. Безпроводна технологія має низку переваг над провідною, тому для подальшої побудови такої мережі розглянемо переваги та недоліки існуючих технологій бездротових мереж:

- простота розгортання;
- гнучкість архітектури мережі, коли забезпечується можливість динамічної зміни топології мережі при підключенні, пересуванні та відключенні мобільних користувачів без значних втрат часу;
- швидкість проектування та реалізації, що критично за жорстких вимог до часу побудови мережі;
- не потребує прокладання кабелів, не виникає проблем із поломкою проводів, їх від'єднанням, перетиранням та необхідністю ремонту;
- мобільність: відсутність мережних дротів дає можливість користуватися Інтернетом, безперешкодно переміщаючись усередині приміщення чи всієї будівлі;

- висока швидкість передачі інформації;

У той же час бездротові мережі на етапі їх розвитку не позбавлені серйозних недоліків. Насамперед, це залежність швидкості з'єднання та радіусу дії від наявності перешкод та від відстані між приймачем та передавачем. Один із способів збільшення радіусу дії бездротової мережі полягає у створенні розподіленої мережі на основі кількох точок бездротового доступу. При створенні таких мереж з'являється можливість перетворити будівлю на єдину бездротову зону та збільшити швидкість з'єднання незалежно від кількості стін (перешкод). Аналогічно вирішується і проблема масштабованості мережі, а використання зовнішніх спрямованих антен дозволяє ефективно вирішувати проблему перешкод, що обмежують сигнал.

Технологія Z-Wave Plus/Z-Wave, [7].

Z-Wave – це протокол безпроводного зв'язку, який використовується переважно для домашньої автоматизації. Це мережева сітка, що використовує радіохвилі низької енергії для зв'язку від пристрою до приладу, що дозволяє здійснювати безпроводний контроль житлових приладів та інших пристроїв, таких як управління освітленням, системи безпеки, термостати, вікна, замки, басейни та гаражні двері.

Z-Wave Plus – це протокол бездротового зв'язку, розроблений для побутової автоматизації, зокрема, керування обладнанням в офісах і приватних оселях (технологія “Розумний будинок”).

Протокол забезпечує сумісність пристроїв різноманітних виробників і працює на частотах до 1ГГц. Це дозволяє не використовувати додаткових заходів для зменшення впливу завад, які існують при роботі на частоті 2,4ГГц. В умовах прямої видимості досягається швидкість передавання даних на відстань до 30 м.

Переваги протоколу:

- віддалений моніторинг мережі через Інтернет чи мобільний телефон;
- зручність масштабування;
- мережа може бути побудована з допомогою ПЗ з відкритим кодом.

Недоліки протоколу:

- запуск мережі вимагає роботи висококваліфікованих спеціалістів;
- висока вартість для мереж з понад 30 вузлами;
- обмежений радіус дії і масштаби.

Технологія ZigBee [8].

ZigBee – мережева технологія орієнтована на задачі, що вимагають гарантованої безпечної передачі даних при відносно невеликих швидкостях і можливості тривалої роботи мережевих пристроїв від автономних джерел живлення (батарей). Дана технологія при малому енергоспоживанні підтримує не тільки прості топології мережі («точка-точка», «дерево» і «зірка»), а й стільникову (mesh) топологію з ретрансляцією і маршрутизацією повідомлень, містить можливість вибору алгоритму маршрутизації, в залежності від вимог програми та стану мережі, механізм стандартизації пристроїв – профілі пристроїв, бібліотеки стандартних кластерів, кінцеві точки, прив'язки, гнучкий механізм безпеки, а також забезпечує простоту розгортання, обслуговування та модернізації.

Основними сферами застосування технології ZigBee є безпроводні сенсорні мережі, автоматизація житла, медичне обладнання, системи промислового моніторингу та управління, а також побутова електроніка і «периферія» персональних комп'ютерів.

Переваги

- Здатність до самоорганізації та самовідновлення;
- стільникова (mesh-) топологія;
- захищеність;
- висока стійкість перед завадами;
- низьке енергоспоживання;
- відсутність необхідності отримання частотного дозволу;
- можливість побудови систем в режимі реального часу.

ZigBee призначений для радіочастотних пристроїв, де необхідна тривала робота від батарейок і безпека передачі даних по мережі, але низьку швидкість передачі даних.

Протокол ANT/ANT+ [1]

ANT/ANT+ – це пропрієтарний протокол, розроблений для обміну даними з сенсорами, що знаходяться на відстані 1 – 5 м. Переважно це: давачі серцевого ритму, давачі швидкості, давачі тиску тощо. Цей протокол має певні переваги над BLE в сфері енергоспоживання, а саме:

- менше споживає електроенергії при оголошенні сервісу;
- менше споживає електроенергії при скануванні та ініціюванні сеансу зв'язку;
- потребує менше трансакцій для кожного етапу сеансу зв'язку;
- при відправці однакового об'єму даних пересилає менше службової інформації.

Протокол реалізує топології: точка-точка, “зірка”, “дерево”. Згідно з специфікацією дозволяє мережі розміром до 65533 вузлів.

ANT+ є адаптивним синхронним протоколом. Мережа утворюється логічними з'єднаннями пар вузлів. При цьому один вузол грає роль ведучого, а другий – веденого. Але тому ж веденому дозволено бути ведучим відносно іншого вузла, з яким у нього інше логічне з'єднання.

Протокол ANT+ є протоколом з відкритим кодом, та основним недоліком його є менша поширеність порівняно з BLE чи ZigBee.

Протокол Wireless USB (W-USB) [7]

Wireless USB (W-USB) – технологія, створена у зв'язку з популярністю USB інтерфейсу і покликана забезпечити переваги USB у сфері бездротового зв'язку. Ця технологія забезпечує швидкість 480 Мбіт/с на відстані до 3 метрів і 110 Мбіт/с на відстані до 10 метрів, що дозволяє використовувати її в офісах, наукових і державних установах та в побуті.

Wireless USB архітектура дозволяє підключення до 127 пристроїв безпосередньо до хоста, який є унікальним для системи і переважно інтегрований у комп'ютер. Для безпечного з'єднання використовуються механізми авторизації і шифрування з'єднання.

Та, незважаючи на високу швидкість передавання W-USB на частоті 3,1-10,6 ГГц, модулі цієї технології є дорогими та важкодоступними в непромислових кількостях.

Протоколи Bluetooth [8]

Залежно від класу Bluetooth-пристроїв такі підмережі мають призначення:

а) з використанням Bluetooth класу 1 дальністю 100 м – для підключення віддалених пристроїв (принтерів, проекторів тощо у актових, концертних залах та ін.);

б) з використанням Bluetooth класу 2 дальністю 10 м – для підключення пристроїв для зважування, спортивних тренажерів, медичного обладнання, торговельного обладнання.

в) з використанням Bluetooth класу 3 дальністю 1 м – для більш конфіденційної передачі даних між мережевими пристроями (мобільними абонентами, принтерами, сканерами та ін.).

Переваги Bluetooth-рішень також у тому, що вони не потребують прямої електромагнітної видимості між учасниками трафіку.

Під час розгортання Bluetooth-сегментів мережі слід також враховувати, що технологію версії 2.0 доцільно застосовувати для невимогливих до швидкості застосувань (до 3 Мбіт/с). Для передачі достатньо великих обсягів інформації планують Bluetooth версії 3.0, який здатний для оптимізації трафіку передавати управління зв'язком стандарту Wi-Fi N. Специфікація стандарту Bluetooth 4.0 є найбільш енергозберезувальною завдяки непостійній передачі сигналу. Приймач знаходиться наготові і включається тільки тоді, коли йому подається сигнал з іншого пристрою, в інший час він не діє. Час установлення з'єднання – 5 мс, відстань до 100 м, швидкість до 1 Мбіт/с. Забезпечує добру безпеку завдяки 128-бітному шифруванню AES. Активно рекламується для організацій спортивних залів, медичних центрів (лікарняних палат у стаціонарах для вимірювання температури, пульсу та ін. із застосуванням різноманітних датчиків), впровадження автоматизованих технологій вимірювання в лічильниках газу, води, тепла.

На теперішній час технологія Bluetooth може бути використана для підключення до мереж таких об'єктів, як ноутбуки, точки доступу, принт-сервери, мобільні телефони, принтери, комплекти гучного зв'язку для

автомобіля, відеокамери та ін., що випускаються з вбудованими Bluetooth-портами.

Для об'єктів мереж, які не мають апаратних бездротових інтерфейсів, можуть бути використані відповідні адаптери («свистки»), які зазвичай підключають на USB-порт пристрою, що треба підключити у бездротовий сегмент мережі.

Протоколи Bluetooth Low Energy [8]

Bluetooth Low Energy (BLE) – протокол для створення персональних мереж, основними сферами застосування є охорона здоров'я, спорт, охоронні системи, індустрія розваг, побутові застосування, Інтернет-речей (IoT).

Істотною перевагою специфікації є наднизьке пікове енергоспоживання, середнє енергоспоживання і енергоспоживання в режимі простою, що дасть змогу створити систему, яка працює з датчиками безперервно та не вимагає постійного джерела живлення.

BLE визначає 40 радіочастотних каналів з кроком 2 МГц. Адаптивний механізм стрибкоподібної перебудови частоти використано для протидії перешкодам, загасанню сигналу та інтерференції. Цей механізм вибирає один з 37 доступних каналів передавання даних для зв'язку протягом заданого часового інтервалу.

Усі фізичні канали використовують GFSK-модуляцію [11]. Коефіцієнт модуляції знаходиться в діапазоні від 0,45 до 0,55, що забезпечує знижену пікову споживану потужність.

Технологія Wi-Fi

Найпоширенішою на сьогодні є технологія Wi-Fi (стандарт 802.11). Wi-Fi є протоколом, що дозволяє електронним пристроям підключатися до бездротової мережі LAN, переважно з використанням 2,4 ГГц і 5 ГГц радіодіапазонів [8, 9]. Протокол є одним з найпоширеніших, існує значний об'єм літератури, де його описано.

Стандарт IEEE 802.11 є базовим стандартом для побудови бездротових локальних мереж (WLAN). Стандарт IEEE 802.11 [10] 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.

Сьогодні побудова Wi-Fi систем відбувається за такими стандартами [10]:

802.11b є найпоширенішим стандартом, з яким працюють і роутери. Він підтримується будь-якими комп'ютерами та смартфонами. Заявлена фахівцями швидкість трафіку у разі досягає позначки 11 Мб/с. Проте практика показує, що цей параметр рідко перевищує показник 6 Мб/с. Назвати стандарт бездоганим складно – на нього негативно впливають радіопристрої, IP-камери та мікрохвильові печі.

802.11a – це стандарт, що функціонує на більш високих частотах. Це є причиною можливої втрати сигналу під час використання у приміщенні з товстими перегородками. Однак швидкість передачі даних стандарту помітно вище, ніж у попереднього, і становить, відповідно до специфікації, 54 Мбіт/с (на практиці близько 30 Мбіт/с). Експлуатація цього стандарту передбачає введення в експлуатацію дорогого обладнання. Він зручний для бездротової магістралі або WLAN.

802.11g функціонує на частоті 2,4 ГГц і має максимальну пропускну здатність, що дорівнює 54 Мб/с, а тому впевнено замінює попередника. Цей тип може похвалитися чудовою зворотною сумісністю з попередніми протоколами.

802.11n – це один з найсучасніших і високотехнологічних стандартів, що забезпечує передачу трафіку на швидкостях, що досягають 300 Мб/с. Він обернено сумісний з вищеописаними форматами, а також є топовим варіантом для реалізації максимальних можливостей покриття в системі з великою кількістю кінцевих клієнтів.

Мережі Wi-Fi підтримують спосіб керування доступом до фізичного середовища (радіоканалу), що використовує метод множинного доступу із упізнаванням несучої й усуненням колізій (CSMA-CA). В таблиці 1.1 наведено порівняльну характеристику стандартів IEEE 802.11 [10].

Таблиця 1.1 – Основні характеристики стандартів IEEE

Стандарт	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
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	5 ГГц
Кількість абонентів на один канал	64	64	64	64	
Доступ до радіоканалу	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA	CSMA-CA
Метод передачі	DSSS, OFDM	BPSK, CCK	DSSS, OFDM	MIMO	MIMO
Максимальна швидкість, Мбіт/с	54	11	54	480	До 3 Гбіт/с
Сумісність	802.11 n	802.11 a	802.11 b/n	802.11 a/b/g	802.11 a/b/g/ n
Метод модуляції	BPSK, QPSK OFDM	BPSK, QPSK OFDM	BPSK, QPSK OFDM	BPSK, QPSK, 16, (64)- QAM	BPSK, QPSK, QAM
Дальність зв'язку в приміщенні, м	10-20	20-100	20-50	50-100	300

Узагальнена порівняльна характеристика технологій бездротових мереж наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика мереж бездротового зв'язку

	ZigBee	Z-Wave	BLE	ANT	Wi-Fi	W-USB
Частотний діапазон, МГц	868/915/2400	8968/908(всі) 2400(с.400)	2400-2483	2400-2483	2483-5500	3100-10600
Швидкість передавання, Кбіт/с	20/40/250	9.6/40 (з 200 с.) 200(с.400)	1000	1000	100- >54000	110000- 480000
Кількість вузлів	1 маршрутизатор обслуговує до 32 вузлів	1 маршрутизатор обслуговує до 32 вузлів	1 ведучий обслуговує 7 ведених	1 ведучий обслуговує 7 ведених	Мін. 2 вузла	1 хост обслуговує до 127 вузлів
Радіус дії, м	10-100	30-100	50	30	150	3-100
Типи пристроїв чи ролі вузлів	Координатор, маршрутизатор, кінцевий пристрій	Координатор, маршрутизатор, ведений	Ведучий і ведений	Ведучий і ведений	Точка доступу, клієнт	Хост, периферійний пристрій
Піковий струм споживання вузла, мА	<150	21 (режим пробудження) 36 (режим передачі)	12,5	17	116 (при 1,8В)	<500

Метод CSMA-CA полягає в наступному. Для визначення стану каналу (зайнятий або вільний) використовується алгоритм оцінки рівня сигналу в каналі, відповідно до якого виконується вимірювання потужності сигналів на вході приймача і якість сигналу. Якщо потужність прийнятих сигналів на вході приймача нижче граничного рівня, то канал вважається вільним, якщо ж їхня потужність вище граничного значення, то канал вважається зайнятим.

На сучасному етапі розвитку технологія бездротових мереж Wi-Fi є найбільш зручною в умовах вимагають мобільність, простоту встановлення та використання. Головними перевагами бездротових мереж є велика швидкість розгортання та зручність при роботі з мобільними пристроями.

1.5 Висновки до розділу 1

В розділі проведено огляд основних технологій які можна використати для побудови телемедичної мережі медичної амбулаторії. Розглянуто переваги та недоліки провідних та безпроводних технологій, вибрано для подальшої реалізації побудову на основі безпроводних технологій. Проведено огляд основних протоколів для побудови бездротових телемедичних систем, також визначено їх технічні характеристики, рекомендації до застосування, переваги та недоліки. Проведений ґрунтовний огляд дозволяє використати технологію Wi-Fi для нашої розробки. 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.

Розробка моделей і алгоритмів збору інформації для безпроводної телемедичної мережі дозволить скоротити час збору даних з давачів, а також її енергоспоживання. Завдяки чому підвищиться енергоефективність безпроводної телемедичної мережі та оптимізується трафік.

РОЗДІЛ 2

СТРУКТУРА ПОБУДОВИ ТЕЛЕМЕДИЧНОЇ МЕРЕЖІ АМБУЛАТОРІЇ

2.1 Класифікаційна модель побудови телемедичних мереж

Мережа телемедицини може бути описана з позицій інформаційно-комунікаційних технологій [6]. Основні складові мережі для телемедицини та використовувані мережеві технології побудови телемедичних мереж наглядно представимо на рис. 2.1, 2.2.

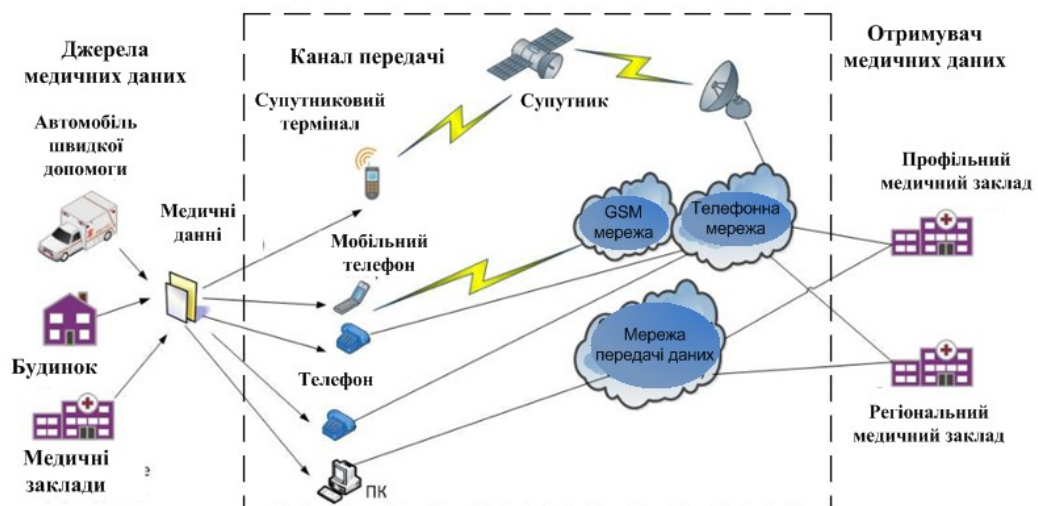


Рисунок 2.1 – Складові та мережеві технології побудови телемедсистем

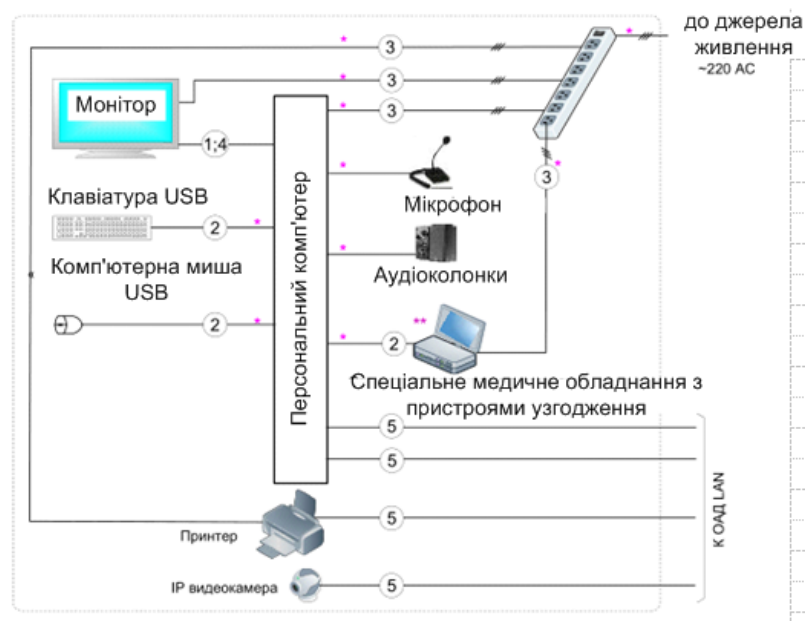


Рисунок 2.2 – Типова схема підключення телемедичної робочої станції

1 – HDMI – кабель, 2 – USB – кабель, 3 – кабель електроживлення, 4 - DV/VGA кабель, 5 – patch-cord СКС, * - стандартні кабеля, ** - спеціалізоване медичне обладнання

При класифікації телеметричних мереж виникають об'єктивні складнощі, пов'язані із дуже широким переліком завдань, вирішуваних подібними системами. Пропонується використовувати наступну модель 3-х факторної класифікації:

За потребами до оперативності передачі показань пристроїв апаратних та програмних датчиків [6]:

- миттєвої передачі: передача показників ініціюється одразу після моменту їх фіксації;
- із низькою латентністю: передача показників відбувається із незначною затримкою у часі, яка складає одиниці або десятки секунд;
- із високою латентністю: передача одиничних показань або груп вибірок відбувається із значною затримкою у часі.

За типом організації живлення мережі [6]:

- стаціонарні: живлення всіх вузлів, незалежно від функціонального навантаження, здійснюється від зовнішньої мережі живлення або від елементів живлення високої ємності;
- напівстаціонарні: живлення вузлів, які піддаються найбільшому мережевому навантаженню, здійснюється від зовнішньої мережі живлення або від елементів живлення високої ємності; кінцеві вузли мають автономні елементи живлення;
- автономні: ретранслятори та рядові вузли мережі мають особисті обмежені автономні джерела живлення.

За розрахунком строку служби мережі [6]:

- короткострокового функціонування: від кількох годин до кількох днів;
- середньострокового функціонування: до кількох місяців;
- довгострокового функціонування: до кількох років.

Найбільш поширеними є два типу систем:

довгострокового функціонування із низьким рівнем латентності та стаціонарні системи довгострокового функціонування з миттєвою реакцією. Зрозуміло, що підходи, які використовуються при побудові подібних систем,

розрізняються діаметрально. Найбільший інтерес представляє перший клас систем.

Дослідження показують, що в цьому випадку необхідно застосовувати найбільш прості мережеві топології (зірка та кластерне дерево), складні алгоритми маршрутизації та часової синхронізації, специфічні методи розділення каналу передачі даних.

З погляду інформаційно-комунікаційних технологій мережа телемедицини може бути поділена на два сегменти (рис. 2.3):

- сегмент LAN (внутрішній) – забезпечує підключення телемедичних робочих станцій до мережі та передачу даних всередині об'єкта мережі телемедицини;

- сегмент WAN (зовнішній) – забезпечує підключення об'єкта телемедицини до зовнішньої мережі передачі даних (Інтернет) для забезпечення взаємодії з іншими об'єктами мережі телемедицини.

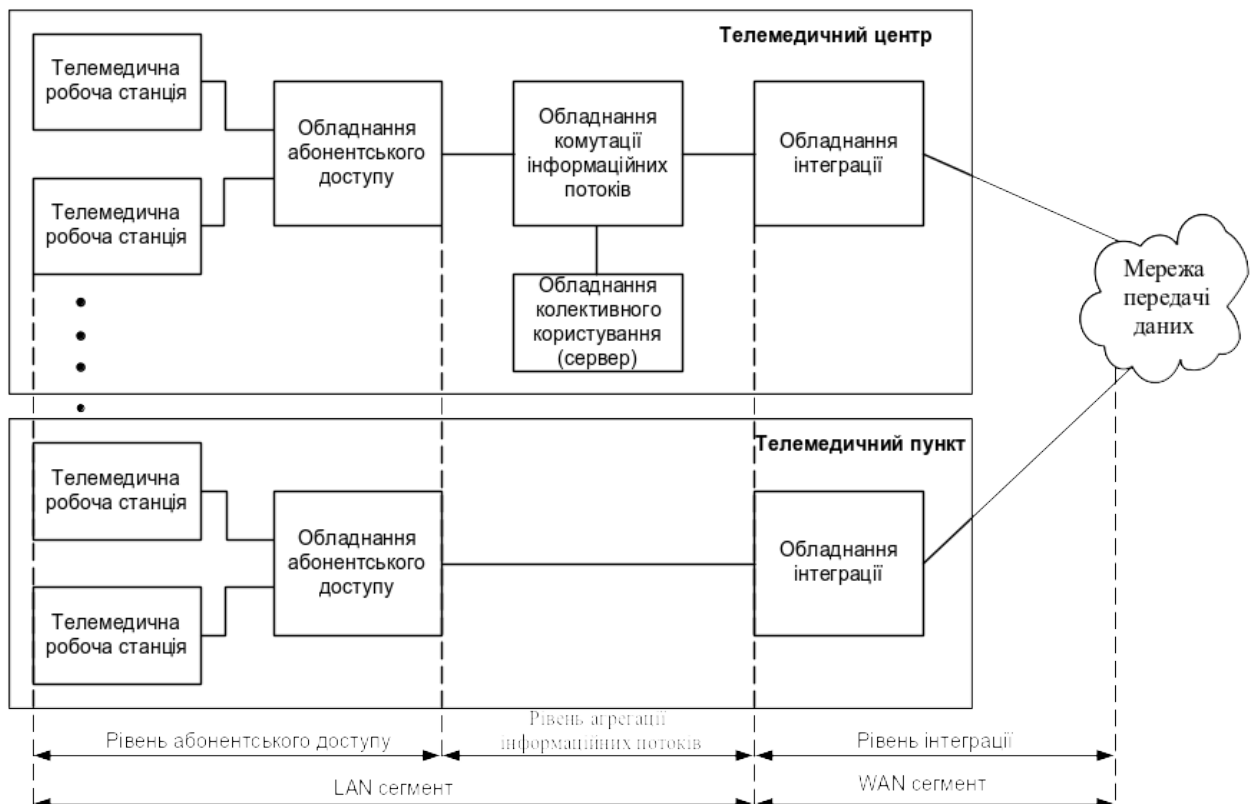


Рисунок 2.3 – Узагальнена схема телемедичної мережі

У сегменті LAN присутні такі елементи:

- Телемедичні робочі станції;
- Обладнання колективного користування (сервера);

- Обладнання абонентського доступу;
- Обладнання комутації інформаційних потоків;
- Канали передачі даних.

У сегменті LAN (рис. 2.2) можна виділити два рівні ієрархії:

- рівень абонентського доступу – забезпечує підключення телемедицинських робочих станцій до мережі;
- рівень агрегації інформаційних потоків – забезпечує розподіл інформаційних потоків усередині мережі телемедицини.

У сегменті WAN присутні такі елементи:

- обладнання інтеграції з мережею провайдера послуги доступу до зовнішньої мережі передачі даних (наприклад, Інтернет);
- канали передачі даних.

Як рівні сегмента WAN можна виділити рівень інтеграції, який забезпечує підключення (інтеграцію) сегмента LAN до зовнішньої мережі передачі даних (наприклад, Інтернет).

Залежно від типу об'єкта мережі телемедицини, функції деяких рівнів можуть бути об'єднані та виконуватися одним типом обладнання. Наприклад, у мобільному телемедицинському пункті (мобільна медична лабораторія, карета швидкої допомоги) LAN сегмент може бути об'єднаний з WAN сегментом, а функції всіх рівнів реалізуються одним мережевим пристроєм, який за допомогою радіоканалу підключається до сегменту мережі LAN мережі телемедицини районної/міської лікарні [6]. З іншого боку, LAN сегмент телемедицинського пункту може мати повноцінну структуру із присутністю всіх рівнів ієрархії.

Залежно від того, де розташоване обладнання провайдера, сегмент WAN також може бути реалізований у двох варіантах:

- Обладнання провайдера розміщується безпосередньо на території об'єкта мережі телемедицини;
- обладнання провайдера розміщується на його технічному майданчику та об'єкт мережі телемедицини підключається до нього.

На сучасному етапі розвитку використовують наступні мережеві технології для телемедицини (табл. 2.1) [6].

Таблиця 1.1 – Характеристики мережевих технологій телемедицини

Мережева технологія	Швидкість, Мбіт/с	LAN сегмент		WAN сегмент
		Рівень абонентського доступу	Рівень агрегації інформаційних потоків	Рівень інтеграції
Ethernet (Fast, Gigabit, 10 Gigabit)	100 1000 10000	+	+	
Wi-Fi	500	+		
Супутникова технологія доступу	100			+
4G (LTE)	30	+		+
xDSL ADSL VDSL	25 50			+
Пасивна оптична мережа PON	1000			+
Активна оптична мережа	1000			+

2.2 Визначення вимог до побудови телемедичної мережі амбулаторії

Для побудови мережі телемедицини необхідно визначити вимоги до мережі та порівняти їх з можливостями доступних для побудови мереж телемедицини мережевих технологій.

При проектуванні телемедичних мереж і систем необхідно вирішувати низку питань[6]:

- розробка структури телемедичного центру, який працює безпосередньо в структурі закладу охорони здоров'я і включає в себе сервер і телемедичні робочі станції. Основною технічною вимогою до сервера є його надійність, за якої, ймовірність пошкодження зберігаємих на ньому даних повинна бути мінімальною. Це досягається цілою низкою технічних рішень (RAID-диски, компакт-диски, магніто-оптичні диски тощо), серед яких

найбільшого поширення отримав так званий подвійний сервер, який представляє собою два абсолютно розділених сервера з дублюванням інформації на обидва. При виході першого з них з ладу, другий автоматично переключається на його місце з максимальною затримкою 1-3 хвилини, що є допустимим для такого варіанту. Сервер повинен мати DICOM-інтерфейс, джерело безперебійного живлення, статичну IP-адресу і програму серверної бази даних SQL [1,11];

- побудова телемедичної робочої станції, до складу якої входить комплекс апаратно-програмного забезпечення у вигляді багатопрофільного автоматизованого робочого місця фахівця з двома моніторами: звичайним (роздільна здатність 1024x1024) і спеціальним радіологічним (роздільна здатність 3000x3000, а число відтінків сірого – до 4096); обсягом оперативної пам'яті – до 1 Гб; потужним комп'ютером для потужної обробки зображень; спеціальним софтом для потужної обробки зображень; мережевою картою тощо [6, 11];

- розробка телемедичного диспетчерського центру з мережею телемедичних пунктів, які, перш за все, забезпечують телескринінг первинної діагностичної інформації з її передачею на телемедичний диспетчерський пункт, який представляє собою цілодобовий диспетчерський пункт, де чергують кваліфіковані лікарі, готові до проведення відеоконференцій і відеоконсиліумів за участі високопрофесійних фахівців [1];

- організація телемедичного кабінету в конфігурації телемедичної робочої станції з розширеним комплектом діагностичних засобів для оцінки стану пацієнта і технічних – для проведення широкоформатних відеоконференцій;

- побудова віддаленої телемедичної станції.

Окремим питанням є питання розробки структури телемедичної мережі або системи, яка повинна відповідати таким вимогам:

1. Швидкість мережі – від 100 Мбіт і вище для роботи в «реальному» часі, коли лікар може замовити зображення пацієнта з архіву і тут же його побачити.

2. Відсутність проблеми «останньої ланки».

3. Захищеність мережі за такими вимогами та умовами [6, 12, 13]:

- класичний захист типу firewall, коли сам медичний заклад вибирає, хто до нього може приєднуватися і як. Причому цей вибір обмежений не фізичними рамками мережі, а диктується тільки практичними потребами. Купівля окремого firewall (VPN) сервера цілком вирішує цю задачу.

- при бажанні, до мережі клініки може бути підключений будь-який зовнішній користувач, наприклад, лікар тієї ж клініки, що працює з дому.

Захист створюється за допомогою Virtual Private Network.

4. Зв'язок між організаціями здійснюється через шлюзові сервери. Як правило, це окремий МС, виділений для спілкування з зовнішнім світом.

Наявність такого МС покращує і ефективність і безпеку внутрішньої мережі клініки.

У структурі телемедичного центру повинен бути адміністратор – людина, здатна стежити за правильністю роботи мережі і своєчасно виправляти всі її збої.

Програмне забезпечення повинно підтримувати такі елементи стандарту:

1. DICOM Storage Provider.
2. DICOM Query / Retrieve.
3. DICOM Echo, Find, Get, Move, Store, Print.
4. Діагностичний показ монохромних зображень (як мінімум).
5. Основні функції налаштувань вікна яскравості, збільшення, вимірювань, анотацій та ін.
6. Потужні функції фільтрації зображень, 3-х мірного перегляду, аналізу та інші.
7. Підтримку багаторівневих призначених для користувача прав.
8. Стиснення і архівацію зображень.
9. Роботу через Інтернет.
10. Мінімальність системних вимог.

У мініальному обсязі, як уже було сказано, ТМС можна створити вже на базі існуючого комп'ютерного обладнання. Будь-який нормальний ПК

може бути використаний як в МС, так і в РС (не кажучи вже про ДРС, де будь-який ПК підійде за визначенням).

Основною вимогою до ТММ є вимоги до послуг, що буде надавати мережа. До телемедичних послуг належать дистанційні медичні консультації, консилиуми, контроль фізіологічних параметрів організму пацієнта, проведення діагностичних і лікувальних маніпуляцій, обмін результатами обстеження пацієнта, інші медичні послуги, а також медичні відеоконференції, відеосемінари, відеолекції, що здійснюються у вигляді обміну електронними повідомленнями з використанням телекомунікацій.

Сьогодні телемедицина стає важливою галуззю в обміні професійним досвідом, сфері медичного обслуговування людей, дистанційному навчанні, підвищенні рівня кваліфікації медичних працівників без відриву від діяльності на основному місці роботи.

При проектуванні мережі телемедицини необхідно брати до уваги характеристики медичних даних, такі як середній обсяг даних, тип трафіку, у яких режимах та які показники якості необхідно забезпечити (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Характеристики медичних даних

Тип медичних даних	Середній об'єм, Мб	Допустима затримка	Тип трафіку
Медичний запис (ПІБ пацієнта, лікаря, проведені дослідження, назначені аналізи, тощо)	До 1 с	1с	дані
Дані (результати аналізів, звіти по використанню ліків, посібники)	До 50	Не нормується	Дані, зображення
Чорно-біле статичне зображення (рентгенівські знімки, КТ, МРТ, ЕКГ тощо)	До 100	1 с	Дані, зображення
Кольорове статичне зображення (кольорові знімки КТ, МРТ, ЕКГ...)	До 500	1 с	Дані, зображення
Тримірні зображення (об'ємні моделі внутрішніх органів)	До 1000	400 с	Дані, відео
Потокове відео, аудіо (передача аудіовізуальної інформації між учасниками)	Залежить від тривалості	До 100 мс	Аудіо, відео, дані

Для забезпечення необхідних характеристик якості телемедичних послуг необхідно використовувати канали передачі даних відповідних пропускних здібностей. У табл. 4 показана залежність часу передачі від обсягу відданих даних та швидкості каналу передачі, дані отримані за допомогою онлайн калькулятора розрахунку середнього часу передачі даних через мережу [6].

Таблиця 2.3 – Середній час передачі даних за секунди, залежно від обсягу даних і швидкості каналу передачі

Швидкість, Мбіт/с	1	5	10	20	25	50	100	1000
Об'єм, Мб								
1	9	2	1	1	1	1	0,1	0,1
10	82	17	9	5	4	2	1	0,1
50	410	82	41	21	17	8	5	1
100	820	164	82	41	33	17	9	1
500	4096	820	410	205	164	82	41	5
1000	8192	1639	820	410	328	164	82	9

Таблиця 2.4 – Параметри рекомендуємих швидкостей передачі інформації в TPC

Тип телемедичної робочої станції	Рекомендуємо швидкість, Мбіт/с		Рекомендуєма швидкість, Мбіт/с	Додаткове оснащення до базового
	Обладнання абонентського доступу	Обладнання комутації інформаційних потоків;	Обладнання інтеграції	
Універсальна TPC	1000	10000	1000	Відеокамера UHD та система аудіозв'язку
Базова TPC	100	1000	50	Система аудіозв'язку
Діагностична TPC	1000	10000	1000	Відеокамера HD та система аудіозв'язку
Віддалена TPC	10	100	10	Відеокамера SD та система аудіозв'язку

Для передачі відео рекомендуються наступні швидкості: Стандартної якості – до 10 Мбіт/с, високої якості – до 20 Мбіт/с, ультрависокої якості – до 100 Мбіт/с.

В літературі дано рекомендації до вибору каналу зв'язку для мереж телемедицини, які наведено в таблиці 2.4 [6].

2.3 Розробка алгоритму побудови телемедичної мережі

Загальний алгоритм побудови телемедичної системи показано на рис. 2.3. На рис. 2.4 наведено алгоритм надання телемедичної послуги.

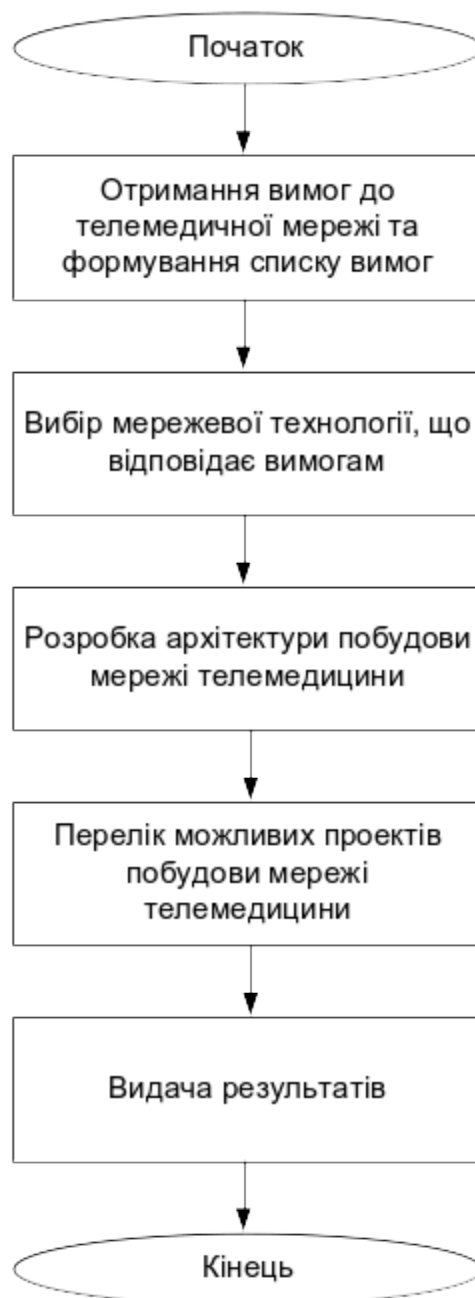


Рисунок 2.4 – Узагальнений алгоритм побудови телемедичної мережі (ТММ)

2.4 Організація безпроводної Wi-Fi мережі телемедицини

Режими роботи Wi-Fi

Виділяють три режими організації бездротових мереж WiFi [10, 15]:

1. Епізодична мережа (Ad-Hoc або IBSS – Independent Basic Service Set). Режим Ad-Hoc є найпростішою структурою локальної мережі (рис.2.5), коли абонентські станції взаємодіють безпосередньо одна з одною. Така структура зручна для термінового розгортання мереж. Для її створення необхідний мінімум обладнання – кожна абонентська станція повинна мати у своєму складі адаптер WLAN.

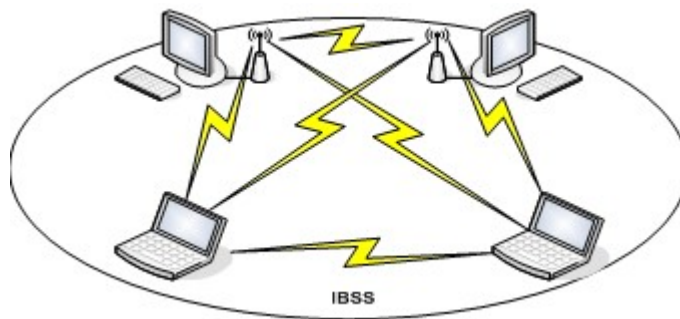


Рисунок 2.5 – Мережа Ad-Hoc

2. Основна зона обслуговування Basic Service Set (BSS) або Infrastructure Mode. У режимі BSS вузли мережі взаємодіють між собою не безпосередньо, а через точку доступу (Access Point, AP). У режимі BSS всі вузли взаємодіють між собою через одну AP, яка може відігравати роль моста для підключення до зовнішньої кабельної мережі (рис. 2.6).

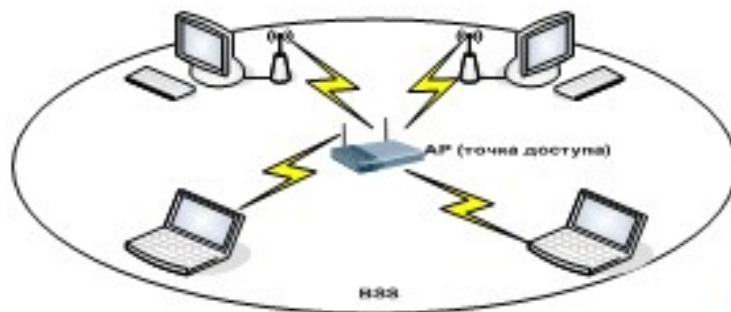


Рисунок 2.6 – Мережа BSS

3. Розширена зона обслуговування ESS - Extended Service Set. Режим ESS дозволяє поєднати кілька точок доступу, тобто. поєднує кілька

мереж BSS (рис. 2.7). У разі точки доступу можуть взаємодіяти і друг з одним. Розширений режим зручно застосовувати тоді, коли необхідно об'єднати в одну мережу кілька користувачів або підключити кілька провідних чи бездротових мереж.

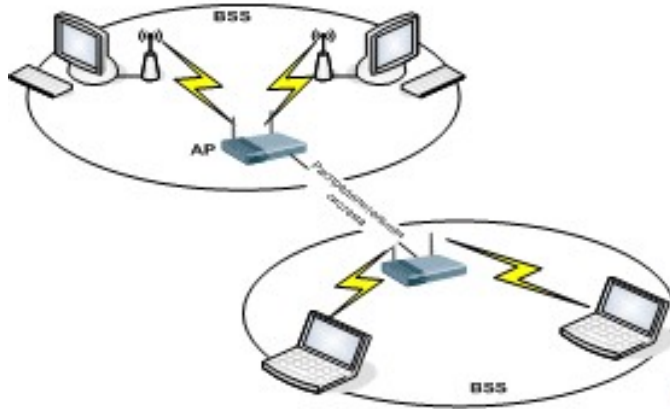


Рисунок 2.7 – Мережа ESS

Одним із основних питань при організації WLAN-мереж є розмір покриття. На цей параметр впливає відразу кілька факторів:

- 1) Використовувана частота (що вона більша, тим менша дальність дії радіохвиль).
- 2) Наявність перешкод між вузлами мережі (різні матеріали по-різному поглинають та відображають сигнали).
- 3) Режим функціонування – Infrastructure Mode або Ad Hoc.
- 4) Потужність передавального обладнання та чутливість приймаючого обладнання.

Точки доступу

Для організації з'єднань використовуються точки доступу (ТД). Девайси такого типу дозволяють створювати підключення між дротовою мережею Ethernet і бездротовою, об'єднаною по Wi-Fi. За фактом, ТД являє собою міст для трансляції та конвертування інформації з бездротового формату у формат зв'язку провідного типу. Точка доступу не роздає IP адреси, не з'єднується до провайдера, а також не має власного брандмауера тощо. Вона просто отримує інтернет-трафік від роутера або модему, і роздає його бездротовою мережею.

Сьогодні існує кілька різних варіантів мережевих конфігурацій для ТД. Особливості створення кожного сценарію полягають у технологічних нюансах конкретної моделі. Необхідно пам'ятати про те, що більшість маршрутизаторів здатні працювати не тільки в режимі точки доступу, але і в інших.

Точки доступу можуть функціонувати в таких режимах роботи (рис. 2.8) [14]:

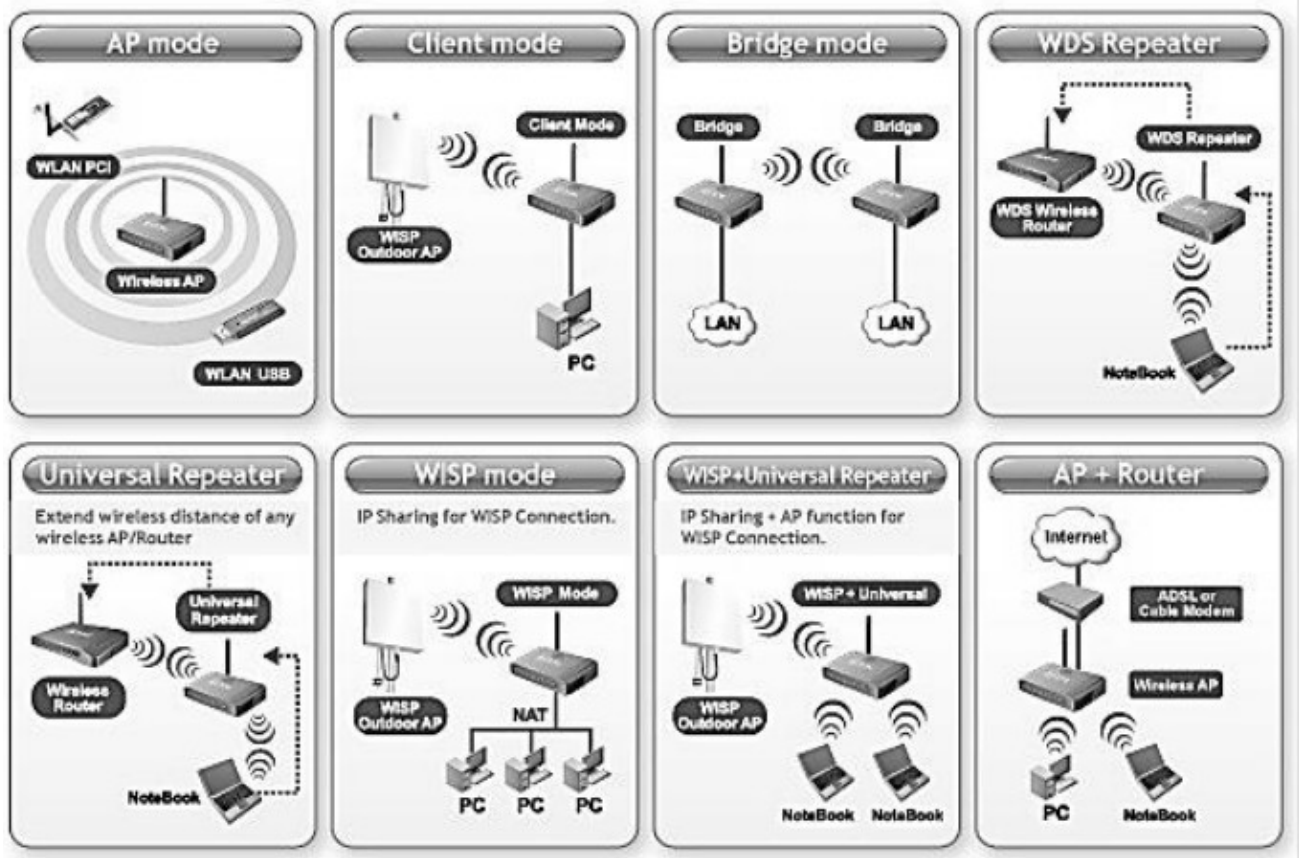


Рисунок 2.8 – Режими роботи точок доступу

а) точка доступу (Access Point Mode) – працює як концентратор для підключення бездротових користувачів. За декількох підключень до однієї ТД смуга пропускання, наприклад, 54 Мбіт/с ділиться на кількість підключених користувачів;

б) клієнт точки доступу (Wireless Client) – для підключення до іншої ТД;

в) міст (Point-to-Point, Bridge Mode) – для об'єднання двох кабельних ЛОМ через бездротовий міст. У цьому режимі бездротові клієнти не зможуть підключатися до точки доступу, оскільки вона налаштована на роботу тільки

з віддаленою точкою доступу, що працює в аналогічному режимі. Основна перевага використання цього режиму полягає в тому, що при об'єднанні двох сегментів мережі використовується вся можлива пропускна здатність бездротового каналу;

г) міст з точкою доступу (Point-to-Multipoint) – для роботи в ролі мосту і концентратора одночасно. Дозволяє з'єднати до шести кабельних ЛОМ. У цьому режимі бездротові клієнти не зможуть підключатися до ТД, оскільки вона налаштована на роботу тільки з віддаленою точкою доступу, що працює в аналогічному режимі;

д) WDS (Wireless Distribution System) та WDS with AP – дозволяє одночасно підключати бездротових клієнтів до ТД, які працюють у режимі Bridge (міст, точка – точка) і Multipoint Bridge (міст, точка – багато точок). Однак швидкість передачі даних у бездротових клієнтів у такому режимі буде близько 1/3 від швидкості передачі даних між точками доступу;

е) повторювач (Universal Repeater) – для збільшення радіусу дії бездротової мережі. Точка доступу дозволяє розширити діапазон дії бездротової мережі за допомогою повторення сигналу від віддаленої точки доступу. Для цього в налаштуваннях точки доступу слід вказати MAC-адресу віддаленої точки доступу (опція MAC-clone). Для режиму Repeater рекомендується використовувати точки доступу від одного виробника, зроблені на однаковому чіпсеті. Кілька точок доступу дозволяють організувати «соти» (англ. «mesh») – зони для впевненого прийому, які «накладаються» одна на одну. При цьому, при зміні точок доступу відбувається короточасний розрив зв'язку;

ж) клієнт маршрутизатора WISP (Wireless Internet Service Privider Client Router) – для спільного підключення до Інтернету (підключення роутера до точки доступа провайдера та ретрансляція сигналу цієї ТД) домашніх і офісних комп'ютерів з портами Ethernet без додаткового маршрутизатора;

з) повторювач WISP (WISP Repeater) – для організації спільного доступу до Інтернету комп'ютерів як з портами Ethernet, так і з бездротовими інтерфейсами без установки додаткового маршрутизатора.

Усі точки доступу можна розділити за способом підключення: через USB порт та порт підключення Ethernet – RJ45. Останні користуються найбільшим успіхом, тому що найбільш прості в налаштуванні та управлінні, а також мають більшу швидкість передачі в локальну мережу. Для створення бездротової мережі всередині приміщень використовують кімнатний варіант приладу. Він має меншу вартість і, як правило, великий естетичний вигляд. Працюють такі точки доступу в межах однієї чи кількох кімнат.



Рисунок 2.9 – Види точок доступу: а, б – внутрішні; в, г – зовнішні

Самі ж пристрої можна розділити на чотири основні групи:

CPE. Обладнання цієї категорії, що поставляється брендами MikroTik, EnGenius, Tenda, має вуличне виконання, підтримують технології PoE, останні стандарти бездротового зв'язку. Так, Wi-Fi точка доступу Tenda W1500A розрахована на роботу у радіусі 5 км зі швидкістю обробки пакетів 150 Mbps. Вона оснащена найпотужнішою антеною з високим коефіцієнтом посилення, що дозволяє гарантувати стабільний сигнал на далеких відстанях.

Enterprise. Точка доступу Enterprise розрахована на експлуатацію як усередині приміщень, так і на вулиці. Вона функціонує у двох діапазонах частот – 2,4 ГГц та 5 ГГц, підтримує всі протоколи PoE та більшість стандартів Wi-Fi. За необхідності придбати потужніший апарат доцільним буде купити точку доступу Ubiquiti промислового класу, таку, як модель UniFi AP. Вона відрізняється швидким використанням, комфортним і легким управлінням. Максимальна мобільність, компактність та швидке розгортання мережі досягаються завдяки наявності програмного контролера UniFi 3.0.

SOHO. Точка доступу Wi-Fi для ефективної організації роботи невеликого офісу та великих підприємств. Обладнання цього рівня

поставляється більшістю відомих виробників. Асортимент каталогу Ruba Technology пропонує продукти з базовим набором функцій, так і оснащені додатковими можливостями. Прикладом якісного та потужного пристрою є точка доступу Cisco серії WAP321-E-K9, оснащена двома всеспрямованими антенами. Вона одночасно функціонує у трьох режимах – AP, міст (Bridge) та Access Point WDS.

Базова станція призначена для забезпечення передачі сигналу в вуличних умовах. Вона відрізняються ергономічним дизайном, високою функціональністю, наявністю корпусу. До базового набору функцій більшості моделей входить підтримка стандартів WiFi 802.11 a/b/g/n/ac, робота в діапазоні частот від 900 МГц до 2,4 ГГц, режим репітера, мосту та роутера.

Wi-Fi адаптери

Для підключення до бездротової мережі Wi-Fi достатньо мати ноутбук або кишеньковий персональний комп'ютер (КПК) з підключеним Wi-Fi адаптером.

Будь-який бездротовий Wi-Fi адаптер повинен відповідати декільком вимогам [14]:

1. необхідна сумісність із стандартами;
2. робота в діапазоні частот 2,4 ГГц – 2,435 ГГц (або 5 ГГц);
3. підтримувати протоколи WEP та бажано WPA;
4. підтримувати два типи з'єднання "точка-точка" та "комп'ютер сервер";
5. підтримувати функцію роумінгу.

Існує три основні різновиди Wi-Fi адаптерів, що розрізняються за типом підключення:

Підключені до USB порту комп'ютера. Такі адаптери компактні, їх легко налаштовувати, а інтерфейс USB забезпечує функцію "гарячого підключення";

Комп'ютери, що підключаються через PCMCIA слот (CardBus). Такі пристрої розташовуються всередині комп'ютера (ноутбука) та підтримують

будь-які стандарти, що дозволяють передавати інформацію зі швидкістю до 108 Мбіт/с;

Пристрої, вбудовані безпосередньо в материнську плату комп'ютера. Найперспективніший варіант. Такі адаптери встановлюються на ноутбук серії Intel Centrino. І, зараз використовуються на переважній більшості мобільних комп'ютерів. Усі види бездротових адаптерів представлені малюнку 2.10.



Рисунок 2.10 – Бездротові адаптери:

а – з USB портом, б – формату PCMCIA, в – вбудований в материнську плату

Вибір активного мережного обладнання підсистеми передачі даних

Мережеве обладнання підсистеми передачі даних LAN сегменту інфраструктурно складається з комутаторів та маршрутизаторів, що працює по технології Ethernet

До комутаторів ТМС ОАД та ОАІП висуваються такі вимоги [6]:

- кількість портів магістральних (WAN) – не менше 2;
- кількість портів доступу (LAN) 10/100/1000/10000 BaseT – залежно від кількості та типів обладнання, що підключається;
- комутаційна матриця, не гірша – 45 Гб/с;
- розмір таблиці MAC адрес, не менше – 8К;
- підтримка VLAN;
- підтримка STP;
- Підтримка L2, L3;
- буфер пам'яті, не менше – 4 Мб;
- швидкість передачі пакетів, не менше – 40 млн. пакетів/с;
- обсяг оперативної пам'яті, не менше – 128 Мб;

- обсяг flash-пам'яті, не менше - 32 Мб;
- тип живлення: АС 220В або DC 24-60В;
- можливість монтажу в 19” шафу.

До маршрутизаторів ТМС висуваються такі вимоги:

Маршрутизатори мають забезпечити передачу пакетів даних між сегментами різних мереж і задовольняти такі вимоги:

- модульний (слотовий) конструктив;
- кількість портів доступу (LAN), щонайменше: - 4 x10 /100 BASE-T Ethernet;

Основними вимогами до маршрутизаторів є кожен фрагмент ТМС наведено у таблиці 2.5 [6].

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики активного мережного обладнання

Характеристики	Обладнання абонентського доступу	Обладнання інтеграції	Обладнання комутації інформаційних потоків
Вбудовані інтерфейси WAN Ethernet	Не менше 2	Не менше 2	Не менше 2
Додаткові порти 10/100 Ethernet	+	+	+
Кількість та швидкість портів LAN	Не менше 24	Не менше 16	Не менше 16
Підтримка VPN	+	+	+
Підтримка VoIP	+	+	+
Підтримка TCP/IP	+	+	+

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНОК ТЕЛЕМЕДИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Визначення стандарту передачі даних в телемедичній мережі

На сьогоднішній день, для забезпечення перерахованих в розділі 2 вимог до телемедичної мережі, можна скористатися стандартами 802.11n та 802.11ac. Порівняльна характеристика стандартів наведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики стандартів 802.11n та 802.11ac

Стандарт	802.11n	802.11ac
Частотний діапазон, ГГц	2,4, 5	5
Смуга пропускання, МГц	40	80
Доступ до радіоканалу	CSMA-CA	CSMA-CA
Метод передачі	MIMO	MIMO
Швидкість передачі даних, Мбіт/с	6 - 480	До 3 Гбіт/с
Сумісність	802.11 a/b/g	802.11 a/b/g/ n
Метод модуляції	BPSK, QPSK, 64- QAM	BPSK, QPSK, 256- QAM
Радіус зв'язку, м	500	100000

Для вибору стандарту реалізації нашої мережі проведемо експеримент для порівняння роботи Wi-Fi приймачів, що працюють у обох стандартах.

Для проведення експерименту була зібрана тестова схема з однією точкою доступу та двома Wi-Fi приймачами. В якості приймачів розглянули Wi-Fi адаптер Asus (802.11ac, 3x3:3 MIMO, 80 MHz) та Wi-Fi адаптер Buffalo (802.11n, 3x3:3 MIMO, 40 MHz).

В якості джерела сигналу використали точку доступу D-Link DAP 2695, яка підтримує обидва стандарти.

Експеримент проводився шляхом чергового тестування кожного приймача. Для кожного приймача точка доступу налаштовувалась на необхідний стандарт.

При передачі одного потоку даних реалізація 802.11ac особливою перевагою 802.11ac не спостерігається (табл. 3.2), при збільшенні кількості потоків Wi-Fi адаптер 802.11n перестає збільшувати швидкість прийому вже на трьох потоках, досягнувши максимальної швидкості 165 Мбіт/с, в той час як 802.11ac продовжує збільшувати швидкість аж до семи потоків. Показник питомої швидкості на потік очікувано зменшується, досягаючи 62 Мбіт/с на потік для стандарту 802.11ac, тоді як для стандарту 802.11n ефективна пропускна спроможність $165/3 = 55$ Мбіт/с.

Таблиця 3.2 – Результати експерименту

Кількість потоків	1	2	3	4	5	6	7	8
Стандарт								
802.11n	111,039	145,571	164,583	165,517	160,824			
802.11ac	169,937	295,007	352,229	386,338	416,477	427,836	438,516	440,311

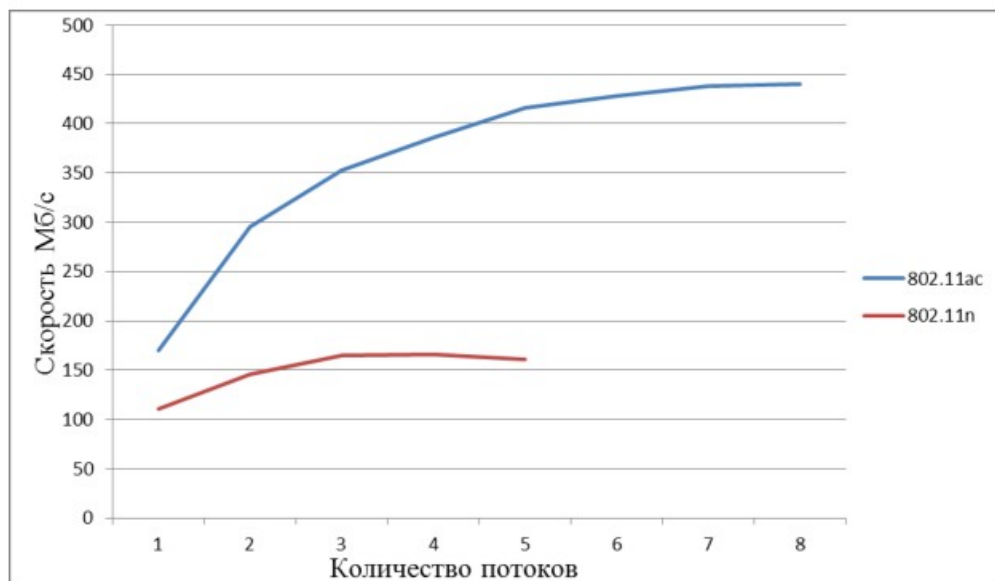


Рисунок 3.1 – Порівняльна характеристика стандартів 802.11n та 802.11ac

Таким чином ми спостерігаємо майже втричі більшу швидкість передачі даних у стандарту 802.11ac, що забезпечує велику ємність і масштабованість потоку (рис. 3.1). Тому для реалізації телемедичної мережі амбулаторії з заявленими вимогами варто використати стандарт 802.11ac. Для забезпечення гнучкості мережі, виберемо точку доступу яка підтримує обидва стандарти.

3.2 Розрахунок швидкості передачі телемедичної робочої станції

Для подальшого розрахунку необхідно врахувати технологію фізичного рівня (802.11), конфігурацію МІМО (1×1:1, 2×2:2, 3×3:3), які канали підтримуються (для діапазону на 2,4 ГГц – канали 1-13, для діапазону 5ГГц, канали 36-64), ширина каналу (20, 40 або більше МГц), потужність передавача, максимальну швидкість на фізичному рівні.

Наша мережа розрахована на 100 користувачів, з них 20 користуються комп'ютерами або ноутбуками, 55 смартфонами або планшетами, 15 IP-телефонів, 10 камер відео спостереження, з яких відеопотоки передаються на сервер. Максимальна пропускна спроможність, яка знадобиться для всіх сервісів буде дорівнювати сумі пропускних спроможностей всіх складових мережі.

Електронна пошта: середній розмір повідомлення візьмемо 500 кбайт, максимальна пропускна спроможність для трафіку електронної пошти становитиме $(500 \text{ кбайт} \times 100 \text{ хостів}) / 1 \text{ с} = 50\,000 \text{ кбайт/с}$ або 400 Мбіт/с.

Телефонія та відеоспостереження у своїй структурі передачі потоків схожі: обидва види трафіку передаються з використанням протоколу UDP і мають більш менш фіксовану швидкість передачі. Головні відмінності в тому, що у телефонії потоки є двонаправленими і обмежені часом виклику, відеоспостереження потоки передаються в одному напрямку і, як правило, є безперервними.

Щоб оцінити необхідну пропускну здатність для трафіку телефонії, припустимо, що в піки активності кількість одночасних з'єднань, що проходять через шлюз, може досягати 15. Швидкість одного потоку становить приблизно 1 Мбіт/с. Таким чином, у періоди найбільшої активності користувачів необхідна пропускна спроможність у ядрі мережі становитиме 150 Мбіт/с.

Відеокамери передають потоки по 4 Мбіт/с кожна. Необхідна пропускна здатність дорівнюватиме сумі швидкостей всіх відеопотоків: $4 \text{ Мбіт/с} \times 10 \text{ камер} = 40 \text{ Мбіт/с}$.

Якщо передається діагностичне відеозображення – то потік високої якості має швидкість передачі 100 Мбіт/с. таких приладів може бути максимум 15, тому сумарний потік складає 1500 Мбіт/с

Сумарна пропускна здатність телемедичної мережі: $400 + 1500 + 100 + 150 = 2150$ Мбіт/с. Врахувавши, що реальна швидкість передачі складає половину номінальної, то для забезпечення розрахованої гарантованої пропускної здатності мережі необхідно цей показник подвоїти. Тобто пропускна здатність мережі максимальна має складати 4300 Мбіт/с. Візьмемо з запасом на загальний трафік 5000 Мбіт/с. Пропускна здатність одного абонента тоді складе 50 Мбіт/с.

3.3 Розрахунок кількості точок доступу телемедичної мережі

Такими чином сформуємо початкові дані до розрахунку:

- $N = 100$ – максимальне число користувачів, що одночасно працюють в мережі.

- $F = 50$ Мбіт/с – необхідна гарантована швидкість для одного користувача.

- $D_T = 0,55$ – частка планшетів і смартфонів.

- $D_L = 0,2$ – частка ноутбуків, комп'ютерів.

$D_V = 0,1$ – частка камер відеоспостереження.

$D_{IP} = 0,15$ – частка телефонії.

- $D_{2,4\text{GHz}} = 0,55$ – частка пристроїв, що працюють в діапазоні 2,4 ГГц.

- $D_{5\text{GHz}} = 0,45$ – частка пристроїв, що працюють в діапазоні 5 ГГц.

Планшетні комп'ютери використовують 20 МГц канал в один потік, що забезпечує теоретичну швидкість роботи 72 Мбіт/с. Реальна швидкість при цьому буде приблизно в два рази меншою і буде дорівнювати $F_T = 35$ Мбіт/с.

Ноутбуки використовують 20 МГц канал в два потоки, що забезпечує теоретичну швидкість роботи 144 Мбіт/с. Реальна швидкість при цьому буде приблизно в два рази меншою і буде дорівнювати $F_L = 70$ Мбіт/с.

Для визначення числа точок доступу необхідно визначити кількість робочих станцій, які будуть працювати в діапазоні 2,4 та 5 ГГц [15].

$$N_{2,4} = N \cdot D_{2,4},$$

$$N_5 = N \cdot D_5,$$

де $D_{2,4/5}$ – коефіцієнт використання діапазону 2,4 та 5 ГГц, N – загальна кількість робочих станцій в мережі.

$$N_{2,4} = 100 \cdot 0,55 = 55,$$

$$N_5 = N \cdot k_5 = 100 \cdot 0,45 = 45.$$

Визначаємо процент часу використання радіоканалу A_t однією робочою станцією при передачі визначеного типу трафіка

$$A_t = V/V_{max},$$

де V – необхідна швидкість передачі даних, V_{max} – максимальна швидкість передачі даних, на якій може працювати дана робоча станція (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Пропускна спроможність послуг телемедичної мережі [6]

Категорія	Необхідна пропускна здатність
Пошта, соц..сторінки, веб-браузери	500 Кбіт/с – 1 Мбіт/с
Відео конференція	384 Кбіт/с – 1 Мбіт/с
Відео стандартного дозволу	1 – 1,5 Мбіт/с
Відео високого дозволу	2 – 5 Мбіт/с
Передача файлів	5 Мбіт/с
Віддалене навчання	2 – 4 Мбіт/с
Інтернет-телефонія	27-39 Кбіт/с

$$V_{max} = V_{maxf} \cdot c,$$

де c – коефіцієнт втрат пропускної здатності, який вибирають з діапазону 0,4-0,6. Коефіцієнт показує рівень падіння швидкості передачі даних на транспортному рівні в порівнянні з максимальною швидкістю на фізичному рівні (з табл.. 2). Значення $c = 0,4$ (максимальна швидкість передачі складає 40% від максимальної швидкості на фізичному рівні) використовується при проектуванні високонавантажених мереж, $c = 0,6$ – використовується при невеликому навантаженні мережі.

$$A_t = (V / V_{maxф} \cdot c),$$

Таблиця 3.4 – Усереднені параметри основних типів пристроїв мережі [16]

Прилад	Тип радіомодуля	Канали підтримки	Ширина каналу, МГц	Потужність передавача, дБм	Максимальна швидкість передачі при 20 МГц, 40 МГц, Мбіт/с
Смартфони	802.11n/g	1-13, 36-64	20	11	65-72
Планшети	802.11n/ac	1-13, 36-64	20/40	11-14	65-72
Ноутбуки, ПК	802.11n/ac	1-13, 36-64	20/40	17-20	216/450
Відеокамери IP-телефонія	802.11n/ac	1-13, 36-64	20/40	11-14	65-72

$$A_{t1} = (70 / 70 \cdot 0,5) = 0,357, \text{ для планшетів та смартфонів,}$$

$$A_{t2} = (50 / 400 \cdot 0,5) = 0,00625, \text{ для комп'ютерів та ноутбуків,}$$

$$A_{t2} = 2(50 / 400 \cdot 0,5) = 0,125, \text{ для телефонії та відеокамер.}$$

Загальний процент часу використання радіоканалу всіма робочими станціями в кожному діапазоні

$$N_{зар2,4} = A_{t2,4} \cdot N_{2,4},$$

$$N_{зар5} = A_{t5} \cdot N_5$$

$$N_{зар2,4} = 0,357 \cdot 55 = 19,635,$$

$$N_{зар5} = (0,125 + 0,00625) \cdot 45 = 5,91$$

Визначаємо кількість радіо модулів, що працюють у діапазонах

$$N_{R2,4} = N_{\text{зар}2,4} / 80\%,$$

$$N_{R5} = N_{\text{зар}5} / 80\%.$$

$$N_{R2,4} = A * D_{2,4},$$

$$N_{R2,4} = 19.635 * 0,8 = 15,7,$$

$$N_{R2,4} = 5,91 * 0,8 = 4,728.$$

В формулах враховано, що радіо модуль може обробляти корисну інформацію тільки 80% часу, інша 20% затрачується на обробку службового та керуючого трафіку.

З отриманих даних визначимо кількість точок доступу.

Таким чином нашу телемедичну мережу можна реалізувати використавши 16 точок доступу на 2,4 ГГц та 5 точок доступу на 5 ГГц, або використавши 5 точок доступу стандартів 802.11n, 802.11ac, які забезпечують роботу одразу у двох діапазонах.

3.4 Вибір обладнання для побудови телемедичної мережі

Для побудови мереж в медичних, офісних приміщеннях часто використовують обладнання фірми "Cisco System", за рахунок високої якості, завадо захищеності та функціональним можливостям. Але всі прилади Cisco мають величезний недолік – дуже висока вартість. Тому в нашому проекті використаємо обладнання компаній D-Link, яка випускає обладнання такої ж якості, але за помірними цінами. Рішення D-Link дозволяють створювати повністю бездротові мережі, забезпечуючи мобільність користувачів та збільшуючи їх продуктивність, мають високу швидкість, безпеку та масштабованість.

Точка доступу

Виберемо точку доступу D-Link DAP-2695 [17].

Пристрій розрахований на роботу у двох частотних діапазонах і характеризується сумарною пропускнуою здатністю 1750 Мбіт/с (450 Мбіт/с – у смузі 2,4 ГГц, 1300 Мбіт/с – у смузі 5 ГГц).



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд точки доступу DAP-2695

Таблиця 3.5 – Характеристики точки доступу DAP-2695

Підтримувані стандарти	802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, 802.3ab, 802.3af, 802.3at,
Мережеве керування	http, telnet, SNMP, MIB
Алгоритми шифрування даних	WEP-шифрування; керування доступом за допомогою MAC-адреси; внутрішній сервер Radius; протоколи HTTPS, SSH, WPA.
Діапазон частот, ГГц	2,4; 5
Модуляція	DSSS, OFDM
Живлення	PoE, вхідна напруга 48 В
Потужність передавача, дБ	26,5, 6 антен по 6 дБ (підсилення)

Точка доступу оснащена шістьма знімними антенами. Управління пристроєм здійснюється віддалено за допомогою D-Link AP Manager II або модуля SNMP-керування D-View.

Для бездротового комутатора для керування бездротовими точками доступу виберемо комутатор D-Link DWS-3024.

Він придатний для створення безпечних, високопродуктивних, масштабованих, керованих дротяних та бездротових комутованих локальних мереж.

На роботу мережі будуть впливати прилади, що працюють у діапазон 2,4 ГГц, пристрої Bluetooth, інші Wi-Fi пристрої, що працюють на тих же каналах. На цій хвилі створюються перешкоди радіотелефонами та мікрохвильовками.

Бездротовий комутатор

Серія комутаторів DWS-4026 [17] включає уніфіковані дротяні/бездротові комутатори Gigabit Ethernet наступного покоління, що підтримують ряд розширених функцій. Завдяки можливості управління до 64 бездротових точок доступу DWL-8600AP та до 256 точок доступу DWL-8600AP у кластері комутаторів, DWS-4026 є повнофункціональним та економічним рішенням для середнього та великого бізнесу та провайдерів послуг. Комутатор DWS-4026 підтримує гнучкі функції управління і, залежно від вимог клієнта, використовується як бездротовий контролер у базовій/бездротовій мережі або гігабітний комутатор рівня 2+ з підтримкою PoE для кінцевих користувачів. За допомогою налаштування централізованого керування WLAN та функцій керування, DWS-4026 дозволяє мережним адміністраторам підтримувати управління, безпеку, резервування та відмовостійкість, необхідні для простого та ефективного масштабування та керування мережами. Вид DWS-4026 представлений малюнку 2.3.



Рисунок 3.3 – Беспроводной коммутатор DWS-4026

Комутатор DWS-4026 забезпечує високу безпеку каналу: підтримує новітню функцію WIDS, призначену для виявлення несанкціонованих точок доступу та несанкціонованих клієнтів, а також різноманітних загроз безпеці бездротової мережі. Іншими функціями безпеки є WPA/WPA2 Enterprise, 802.11i, адаптивний портал та автентифікація на основі MAC-адрес. Для провідних клієнтів DWS-4026 використовує функцію Dynamic ARP Inspection (DAI) та DHCP Snooping для забезпечення максимальної безпеки. Спільне

використання функцій Dynamic ARP Inspection (DAI) та DHCP Snooping запобігає загрозам найвищого рівня, наприклад, “man-in-the-middle” та ARP poisoning. Завдяки підтримці інших розширених функцій безпеки, таких як керування доступом 802.1X, запобігання атакам DoS, керування широкомовним штормом і захищений порт, DWS-4026 забезпечує надійну і централізовану безпеку, надаючи максимальну відмовостійкість мережі.

Бездротові клієнти можуть скористатися перевагами гнучкого та безперервного роумінгу між точками доступу, керованими комутатором DWS-4026, навіть якщо вони не знаходяться в одній підмережі. Оскільки DWS-4026 використовує різні механізми, такі як попередня аутентифікація та кешування ключів, бездротові клієнти можуть вільно переміщатися в зоні дії мережі без необхідності повторної аутентифікації. DWS-4026 підтримує функцію тунелювання між точками доступу, яка використовується для підтримки роумінгу рівня 3 для бездротових клієнтів без перенаправлення будь-яких даних трафіку до уніфікованого комутатора. Це допоможе значно оптимізувати мережевий трафік та зберегти смугу пропускання.

DWS-4026 розроблено та оптимізовано для трафіку Voice over Wireless, завдяки таким функціями, як Auto-VoIP та Voice VLAN. Функція Auto-VoIP узгоджує потоки VoIP і надає їм обслуговування вищого класу, ніж звичайного трафіку. Устаткування VoIP використовує популярні протоколи керування викликом, такі як SIP, H.323 та SCCP. Функція Voice VLAN дозволяє портам комутатора передавати голосовий трафік з певним пріоритетом, рівень пріоритету забезпечує розділення мовного трафіку та трафіку даних із високим пріоритетом, що надходять на порт. Voice QoS дозволяє адміністраторам призначати пріоритет трафіку, чутливого до затримок, та зберігати його цілісність.

DWS-4026 підтримує функцію «відновлення» мережі, що збільшує стійкість до бездротової мережі. Для забезпечення безперервного підключення існуючих клієнтів комутатор виконує балансування навантаження між точками доступу, коли мережевий трафік досягає певного порогового значення. У той же час, комутатор відхиляє підключення нових клієнтів до точки доступу для того, щоб уникнути перевантаження смуги

пропускання. Завдяки функції «відновлення» мережі та балансуванню навантаження між точками доступу, комутатор DWS-4026 може ефективно керувати смугою пропускання, оптимізувати трафік WLAN та забезпечити зону максимального покриття.

Крім функціонування в якості керуючого пристрою бездротової комутації, DWS-4026 може також використовуватися як стандартний провідний комутатор рівня 2+ з розширеним функціоналом, включаючи підтримку динамічної маршрутизації пакетів (RIPv1/v2), функції безпеки ACL, багаторівневої якості обслуговування (QoS), VLAN , IGMP/MLD Snooping. Крім цього, комутатори підтримують оптичні порти 10-Gigabit. Все це дозволяє підприємству об'єднувати бездротову мережу із провідною мережевою інфраструктурою. При заміні існуючої інфраструктури 10/100 Мбіт/с для підключення настільних комп'ютерів на гігабітне підключення можна використовувати комутатор DWS-4026 як пристрій керування бездротовою мережею, комутатор LAN або універсальний пристрій, що виконує функції дротового комутатора та контролера бездротової мережі.

3.5 Розрахунок дальності роботи бездротового каналу зв'язку

Розрахуємо дальність передачі сигналу за методикою наведеною в [11, 14].

Для прикладу визначимо дальність роботи каналу зв'язку для технології 802.11n, ас в 40 МГц каналі, що об'єднує канали 36 і 40, при швидкості передачі, що дорівнює 50 Мбіт/с.

Вихідні дані взяті з паспортних даних точки доступу:

- Потужність передавача P_t , дБм = 26,5 дБм
- Коефіцієнт підсилення штатної антени передавача G_t , дБі = 6 дБі.
- Коефіцієнт підсилення штатної антени приймача G_r , дБі = 1 дБі.

Виведемо параметр дальності з формули втрат у вільному просторі:

$$FSL = 33 + 20(\lg F + \lg D)$$

де FSL –втрати у вільному середовищі (дБ);

F – центральна частота каналу на якому працює система (МГц), табл. 3.6;

D – відстань між двома точками (км).

Звідси отримаємо формулу дальності зв'язку

$$D = 10^{\left(\frac{FSL}{20} - \frac{33}{20} - \lg F\right)}.$$

Таблиця 3.6 – Центральні частоти каналів 802.11 в діапазоні 2,4 ГГц та 5 ГГц

Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц
1	2412	5	2432	9	2452	13	2472
2	2417	6	2437	10	2457	14	2484
3	2422	7	2442	11	2462		
4	2427	8	2447	12	2467		

Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц	Номер каналу	Частота МГц
--------------	-------------	--------------	-------------	--------------	-------------	--------------	-------------

Піддіапазон UNII-1

36	5180	40	5200	44	5220	48	5240
----	------	----	------	----	------	----	------

Піддіапазон UNII-2

52	5260	56	5280	60	5300	64	5320
----	------	----	------	----	------	----	------

Піддіапазон UNII-2 Extended

100	5500	112	5560	124	5620	136	5680
104	5520	116	5580	128	5640	140	5700
108	5540	120	5600	132	5660		

Піддіапазон UNII-3

149	5745	153	5765	157	5785	161	5805
-----	------	-----	------	-----	------	-----	------

Втрати у вільному середовищі також можна знайти за формулою

$$FSL = K - SOM$$

де SOM – запас в енергетиці радіозв'язку (дБ), параметр, що враховує температурний дрейф чутливості приймача і вихідної потужності передавача, погодні умови. Параметр SOM приймається рівним 10-20 дБ.

Параметр втрат визначається сумарним підсиленням системи K :

$$K = P_t + G_t + G_r - P_{min} - L_t - L_r,$$

де P_t – потужність передавача (дБмВт), з паспорта ТД, G_t – коефіцієнт підсилення передаючої антени, з паспорта ТД, G_r – коефіцієнт підсилення приймаючої антени, з паспорта адаптера, P_{min} – чутливість приймача на даній швидкості (табл. 3.7), з таблиці нижче, L_t – втрати сигналу в кабелі та виводах передаючого тракту, L_r – втрати сигналу в кабелі та виводах приймаючого тракту, параметрами втрат для нашої системи можна знехтувати, оскільки їх необхідно враховувати тільки при використанні зовнішніх винесених антен.

Таблиця 3.7 – Залежність чутливості від швидкості передачі даних для

Швидкість мБіт/с	Чутливість дБм	Швидкість мБіт/с	Чутливість дБм
802.11g 2,4 ГГц			
54	–66	18	–83
48	–71	12	–85
36	–76	9	–86
24	–80	6	–87
802.11n 5 ГГц			
15	–96	90	–86
30	–95	120	–83
45	–92	135	–77
60	–90	150	–74

Тоді

$$K = P_t + G_t + G_r - P_{min}.$$

$$K = 26,5 + 6 + 1 - (-91) = 124,5,$$

$$FSL = 124,5 - 20 = 104,5.$$

Центральна смуга частот об'єднаного 40 МГц каналу (36 + 40)

дорівнюватиме $F = 5190$ МГц.

Розрахуємо відстань між антенами, згідно з формулою

$$D = 10^{((104,5-33)/20 - \lg 5190)} = 10^{(-0,1421)} = 0,7209 \text{ км} = 720,9 \text{ м}.$$

Для 2,4 ГГц, центральна частота 2,472 ГГц

$$K = 26,5 + 6 + 1 - (-68) = 101,5.$$

$$FSL = 101,5 - 20 = 81,5.$$

$$D = 10^{((81,5-33)/20-\lg 2472)} = 10^{(-0,965)} = 0,1024 \text{ км} = 102,4 \text{ м}.$$

3.6 Вплив перешкод на зону покриття мережі 802.11

При розміщенні точок доступу дуже важливо визначити, з яких матеріалів зроблені стіни, перекриття, конструкційні елементи і меблі в приміщенні, і вже з урахуванням цього проводити розміщення обладнання і вибір антен, які будуть використовуватися разом з точками доступу. Наприклад, однією з поширених помилок при розміщенні точок доступу, є установка точки з всюдинаправленою (омні) антеною біля металевої або залізобетонної стіни або конструкції. В цьому випадку металева поверхня буде відбивати сигнал. Діаграма направленості антени зміниться стане наведеною. До того ж виникне потужне багатопроменеве поширення (multipath), так як половина випромінюваної потужності буде йти до металевої стіни/поверхні і, відбиваючись назад, створить інтерференцію своєму ж корисному випромінюванню.

Іншим прикладом може бути розміщення точки біля ємностей і труб в водою, яка інтенсивно поглинає високочастотне випромінювання (особливо в частотному спектрі 2,4 ГГц). Основним методом вирішення є винесення точок доступу з внутрішніми антенами (або самих зовнішніх антен) за межі перешкод, забезпечуючи безперешкодне випромінювання з врахуванням діаграми спрямованості антен. Вплив матеріалу стін і перегородок, встановлених в приміщенні, можна оцінити по табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Рівень втрат сигналу при проходженні через різні середовища [14]

Перешкода	Додаткові втрати, дБ	Ефективна відстань, %
Відкритий простір	0	100

Вікно без тонування (металізованого покриття)	3	70
Вікно з тонуванням (металізованим покриттям)	5-8	50
Дерев'яна стіна	10	30
Міжкімнатна стіна (15,2 см)	15-20	15
Несуча стіна (30,5 см)	20-25	10
Бетонна підлога/стеля	15-25	10-15
Монолітне залізобетонне перекриття	20-25	10

Ефективна відстань складає величину, до якої зменшиться радіус дії після проходження відповідної перешкоди в порівнянні з відкритим простором. Наприклад, якщо без перешкод радіус дії Wi-Fi досягає 100 м, то після проходження першої міжкімнатної стіни він зменшиться до 15% від цієї величини, тобто до 15 м, а після другої – до 15% вже від цього значення (до 2,2 м).

Також необхідно враховувати, що рівень сигналу зменшується пропорційно квадрату відстані, тому швидкість швидко падає природним шляхом у міру віддалення від точки доступу.

У нас по плану, якщо розміщати точки доступу в коридорі, то сигнал при проходженні до робочого місця проходить через 1 стіну. Тому реальна відстань, на якій буде гарний сигнал складатиме $720,9 * 10 \% = 72$ м для 5 ГГц діапазону та $102,4 * 10 \% = 10,24$ м для 2,4 ГГц діапазону. Усередненні значення по точкам доступу дають показник 30 м.

Проведений розрахунок показує, що для реальної амбулаторії, розміри якої вказані на рис. 3,4 достатньо 3 точки доступу. Але теоретичні викладки необхідно перевірити програмним моделюванням.

Загальна площа приміщення – 360 м². Комутатор розміщено в кімнаті охорони.

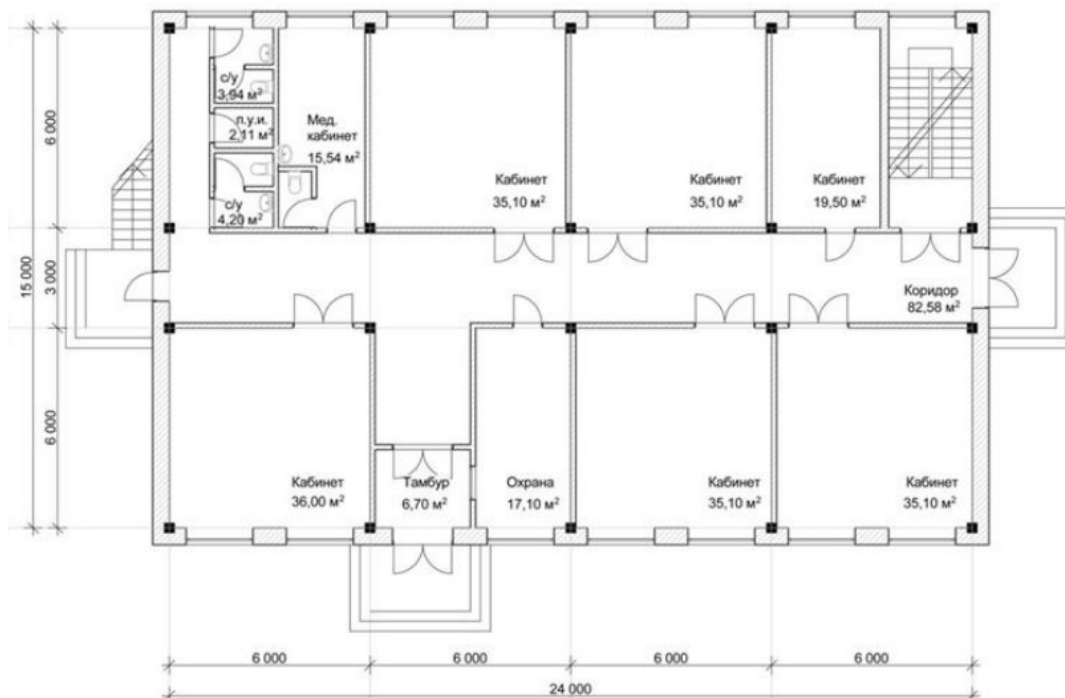


Рисунок 3.4 – План амбулаторії



Рисунок 3.5 – Результати моделювання по розміщенню точок доступу

ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В результаті виконання випускної кваліфікаційної роботи проведено аналіз принципів побудови телемедичної системи надання медичних послуг у сільській місцевості. Підставою для розробки було проведення проектування телемедичної мережі в амбулаторії с. Новий Завід для підвищення ефективності обміну медичними даними. При проведенні роботи було враховано вид інформації котра передається, необхідні максимальні швидкості для її передачі, забезпечення захисту інформації, вплив факторів зовнішнього середовища на рівень сигналу тощо.

В результаті роботи були вирішені такі *задачі*:

1. Проведено порівняльний аналіз існуючих засобів і методів побудови спеціалізованих мереж для обміну медичною інформацією. В результаті було сформовано структуру телемедичної системи на локальному рівні.
2. Визначено вимоги до побудови телемедичної мережі, враховуючи вид інформації що передається, її обсяги, частоту та дальність передачі.
3. Проведено вибір типу передачі даних, аналіз стандартів передачі даних.
4. Розроблено структуру організації телемедичної мережі амбулаторії с. Новий Завод.

Проект може бути використаний при впровадженні технологій телемедицини або формуванні телемедичних центрів.

ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конспект лекції з телемедицини. Доступ: <https://learn.ztu.edu.ua/course/view.php?id=4335>
2. Кобринский, Б.А. Телемедицина в системі практичної охорони здоров'я / Б.А. Кобринский. – 2-ге вид., стер. – К.: Дірект-Медіа, 2016. – 238 с.
3. Гарнец А.А. Проблеми впровадження медичних інформаційних систем. Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля, 2013, №4(193), Ч2, с. 29-33
4. Наказ МОЗ. №261 від 26.03.2010 р «Про впровадження телемедицини в закладах охорони здоров'я»
5. Наказ МОЗ №681 від 19.10.2015 р. «Про затвердження нормативних документів щодо застосування телемедицини у сфері охорони здоров'я».
6. Телекомунікаційні системи та мережі. Структура та основні функції [Електронний ресурс] / В. В. Поповський та ін. Т. 1. Харків: СМІТ. Друге видання. Виправлено та доповнено. 2018. Режим доступу: <http://www.znanius.com/3534.html>.
7. 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
8. Комп'ютерні мережі. Конспект лекцій /Укл.: Зав'ялець Ю.А. – Чернівці, 2015. – 183 с.
9. Павликевич М. Телекомунікаційні мережі. Мережі IP – Л.: Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 216 с.
10. Старик Ю.І. Проект радіомережі на основі технології Wi-Fi для збору телеметричних даних з електричних підстанцій [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/29840/2/dyplom_Staryk.pdf

11. IEEE Std 802.11, 1999 Edition (Reaff 2003), Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks – Specific requirements – Specifications.
12. Грицунов О. В. Інформаційні системи та технології: навч. посіб. для студентів за напрямом підготовки «Транспортні технології» / О. В. Грицунов; Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 222 с.
13. Стеклов В.К., Беркман Л.Н. Проективання телекомунікаційних мереж – К., «Техніка», 2002. – 792 с.
14. Медична безпека мереж Wi-Fi - <http://wi-life.ru/stati/wi-fi/marketingovye-statii-2/medicinskaya-bezopasnost-setej-wi-fi>.
15. Яковина В.С. Основи безпеки комп'ютерних мереж: Навчальний 6 «Анатомия беспроводных сетей» / Сергей Пахомов. – Компьютер-Пресс, №7, 2002
16. Теорія телетрафіку: навч.посіб./ В.Я. Воропаєва, В.І. Бессараб, В.В. Турупалов, В.В. Червинський. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2011. –202 с.
17. Журавська І. М. Проективання та монтаж локальних комп'ютерних мереж :[навчальний посібник] / І. М. Журавська. – Миколаїв : Видавництво ЧДУ ім. Петра Могили, 2016. – 396 с.
18. Офіційний сайт компанії D-Link - <http://www.dlink.ua>.