

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем
(повна назва інституту/факультету)
Кафедра телекомунікацій
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено
В.о. завідувача кафедри
_____ Явіся В.С. _____

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 04 ” червня _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка,
(код і назва)

спеціалізація Апаратно-програмні засоби електронних комунікацій
на тему: «Використання дронів в якості базових станцій стільникової наземної системи
радіодоступу»

Виконала: студент 4 курсу, групи ТЗ-61
(шифр групи)

Гринь Лілія Юріївна _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор Кравчук С.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій
магістерській дисертації
немає запозичень з праць
інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інститут телекомунікаційних систем

(повна назва)

Кафедра телекомунікацій

(повна назва)

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Явіся В.С.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

« 21 » січня 2020р

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Гринь Лілія Юріївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Використання дронів в якості базових станцій стільникової наземної системи радіодоступу

керівник роботи д.т.н. професор Кравчук Сергій Олександрович,

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

затверджені наказом по університету від 30 березня 2020 р. №

2. Термін подання студентом роботи 04.06.2020 р

3. Вихідні дані до роботи: малий стільник, сформований дроном у якості базових станцій, оптимальні розгортання DSC в умовах існування перешкод, так і в умовах відсутності перешкод;

4. Зміст роботи: 1) Особливості побудови та функціонування стільникового зв'язку

2) Аналіз бездротового зв'язку з беспілотними літальними апаратами

3) Аналіз використання дронів в якості базових станцій стільникової системи радіодоступу

4) Розрахунок системної моделі DSC в умовах існування перешкод, так і в умовах відсутності перешкод

5. Орієнтований перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо)

Слайд №1 Актуальність та мета, практична цінність роботи.

Слайд №2-4 Особливості побудови та функціонування стільникового зв'язку

Слайд №5-7 Бездротовий зв'язок з беспілотними літальними апаратами(БПЛА)

Слайд №8 використання дронів в якості базових станцій стільникової системи радіодоступ

Слайд №9 DSC в умовах існування перешкод, так і в умовах відсутності перешкод

Слайд №10 Висновки до роботи.

6. Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7.Дата видачі завдання 08.10.2019 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної Роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розробка, оформлення, узгодження та затвердження технічного завдання на дипломну роботу	17.10.2019- 28.10.2019	
2	Вивчення особливостей стільникового зв'язку	06.11.2019- 21.11.2019	
3	Аналіз бездротового зв'язку з використанням БПЛА	16.02.2020- 27.02.2020	
4	Аналіз малого стільника, сформований дроном у якості базових станцій	02.03.2020- 20.03.2020	

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломної роботи.

5	Розрахунок системної моделі DSC в умовах існування перешкод, так і в умовах відсутності перешкод	06.04.2020- 26.04.2020	
---	--	---------------------------	--

Студент _____ Гринь Л. Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Кравчук С. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Текстова частина бакалаврської дипломної роботи містить: 59 сторінка, 23 рисунків, 5 таблиці та 13 джерел.

Дана дипломна робота присвячена використанню дронів у якості базових станцій стільникової наземної системи радіодоступу.

На даний час ефективною технікою для надання послуг безпроводового абонентського доступу стає використання технології малого стільника, сформованого дроном, DSC (drone small cell). Такий дрон виступає у якості безпроводової базової станції, що встановлюється на літаючих об'єктах, таких як безпілотні літальні апарати (UAVs). Ефективне розгортання DSC при оптимізації області покриття є одним із ключових завдань впровадження даної технології. У даній роботі для сценарію низькорівневих аероплатформ проведено дослідження характеристик зони покриття DSCs, системних особливостей, пов'язаних з їх експлуатацією та управлінням.

Визначено оптимальну висоту зависання дронів в DSCs, яка призводить до максимальної зони покриття і мінімальної необхідної потужності передачі для одного DSCs. Проведено дослідження щодо розв'язання задачі забезпечення максимального охоплення для певної географічної області для двох сценаріїв: без перешкод і повна перешкода між DSC. Визначено вплив відстані між DSC на зону покриття і оптимальну відстань між DSC, що забезпечує максимальне покриття.

Ключові слова: стільниковий зв'язок з використанням безпілотних літальних апаратів, дрон-стільник, зона покриття

ABSTRACT

The text part of the bachelor's thesis: 59 pages., 24 pictures., 5 tables and 13 sources.

This thesis is devoted to the development of using of drones as a base station of a cellular ground system.

Currently, the use of drone small cell (DSC) technology is becoming an effective technique for providing wireless subscriber access services. Such a drone acts as a wireless base station, installed on flying objects such as unmanned aerial vehicles (UAVs). The efficient deployment of such DSCs while optimizing the covered area is one of the key design. In this paper, considering the low altitude platform (LAP), the advancements and discuss the challenges associated with their operation and management.

The optimal DSC altitude which leads to a maximum ground coverage and minimum required transmit power for a single DSC is derived. A study was conducted to solve the problem of ensuring maximum coverage for a specific geographical area for two scenarios: interference free and full interference between DSCs. The impact of the distance between DSCs on the coverage area is studied and the optimal distance between DSCs resulting in maximum coverage is derived.

Key words: cellular communications using unmanned aerial vehicles, drone cell, coverage area.

ЗМІСТ

I. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

1. Базові станції стільникового зв'язку
2. Мережі стільникового зв'язку
3. Основні технології стільникового зв'язку
 - 3.1 1-G технологія:
 - 3.2 2-G технологія:
 - 3.2.1 D-AMPS
 - 3.2.2 GSM
 - 3.2.3 JDC
 - 3.2.4 CDMA ONE
 - 3.3 2.5-G технологія
 - 3.4 3-G технологія
 - 3.4.1 CDMA 2000
 - 3.4.2 UMTS
 - 3.5 3.5-G технологія
 - 3.6 4-G технологія
 - 3.6.1 LTE
 - 3.6.2 WiMAX
- 4.1 Мережа радіодоступу
- 4.2 C-RAN

5. Висновки

II. АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

1. Характеристики БПЛА
2. Аналіз БПЛА
3. Бездротовий зв'язок з безпілотними літальними апаратами
4. Висновки

III. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ У ЯКОСТІ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ СТІЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ РАДІОДОСТУПУ

1. Дрон в якості базових станцій
2. Drone cells
3. Переваги використання DSC
4. Висновки

IV. Оптимізація розгортання DSC в умовах існування перешкод, так і в умовах відсутності перешкод

1. Модель каналу повітря-земля
2. Оптиміальна висота для одного DSC
3. DSC в умовах перешкод так і в умовах відсутності перешкод
 - 3.1 Два DSC без перешкод
 - 3.2 Випадок коли два DSC заважають один одному
4. Численні результати
5. Висновки

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

3GPP (3rd Generation Partnership Project) - партнерський проект розвитку зв'язку 3-го покоління,

AMPS (Advanced Mobile Phone Service) - вдосконалена мобільна телефонна служба

BBU (Battery Backup Unit)- резервний акумулятор

C-RAN (Cloud-RAN)- мережу радіодоступу на основі хмари

CDMA (Code Division Multiple Access - множинний доступ з кодовим поділом

CEPT (Conference of European Post and Telecommunications)- європейська конференція поштових і телекомунікаційних

CH (coating holes)- отвори покриття

CNPC(control and non-payload communication) - управління і зв'язок без навантаження

DA (demanding areas)- вимогливі області

D-AMPS (Digital Advanced Mobile Phone System) Цифрова вдосконалена система мобільного телефону

DSC (Drone small cells)- малий стільник, сформований дроном

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) - підвищена швидкість передачі даних для розвитку GSM

ETSI (European Telecommunications Standards Institute) - Європейський інститут стандартів в телекомунікації

FANET - літаюча спеціальна мережа

FDD (Frequency Division Duplex) – дуплексний канал з частотним поділом

FDMA (Frequency Division Multiple Access) - множинний доступ з частотним поділом

FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access) - торгова марка для послуг 3G, що надаються японським оператором стільникового зв'язку NTT DoCoMo

GPRS (General Packet Radio Service) - пакетна радіозв'язок загального користування

GSM (Global System for Mobile communications - глобальна система мобільного зв'язку

HAP(high altitude platform) - високорівнева платформа

HetNets- Гетерогенна комп'ютерна мережа

HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) - високошвидкісна пакетна передача даних від базової станції до мобільного телефону

HSPA (High Speed Packet Access - високошвидкісна пакетна передача даних

IMT-DS (International Mobile Telecommunications - Direct Spread)) - пряме розширення спектра (DS-CDMA) з дуплексним розносом

IMT-TC (International Mobile Telecommunications - Time Code) - кодово-часовий поділ каналів TDMA/CDMA з тимчасовим дуплексним розносом

IPv4(Internet Protocol version 4) - четверта версія інтернет протоколу (IP).

JDC (Japanese Digital Cellular) - японський стандарт цифрового стільникового зв'язку

LAP(Low altitude platform)- низькорівнева платформа
LoS (Line of sight) – пряма лінія видимості
LTE (Long-Term Evolution) - довготривалий розвиток,
MAN (Metropolitan Area Network) -Міська обчислювальна мережа
MCE- Міжнародний союз електрозв'язк
MIMO (Multiple Input Multiple Output)- множинні входи, множинні виходи
MS (Mobile Station) - загальноприйняте позначення для мобільної станції абонента
MSC (Mobile Switching Centre)- Центр мобільних станцій
NMT (Nordic Mobile Telephone) - мобільний телефон північних країн
NTT (Nippon Telephone and Telegraph system - японська система телефону і телеграфу
NTT DoCoMo - найбільший японський оператор мобільного зв'язку
OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing - мультиплексування з ортогональним частотним поділом каналів
PCN (Pavement Classification Number) - класифікаційне число покриття
PDC (Personal Digital Cellular) - стандарт мобільного телефонії другого покоління з тимчасовим поділом каналу
PSTN (Public Switched Telephone Network) - Комутована телефонна мережа загального користування
QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)- квадратурная фазовая манипуляція
QoS (quality of service)- якість обслуговування
RAN - (Radio access network) - мережу радіодоступу в різних стандартах стільникового зв'язку
RAT (Remote Access Troja)- средство удалённого управления
SC (Single Carrier)
SOFDMA (Scalable OFDM Access)
RTMS (Radio Telephone Mobile System - мобільна радіотелефонна система
SIM (Subscriber Identification Module) - модуль ідентифікації абонента
SMS (Short Message Service) - служба коротких повідомлень
TACS (Total Access Communications System) - загальнодоступна система зв'язку
TBS (traffic break points)- розрив трафіку
TDD (Time Division Duplex) - дуплексний канал з часовим поділом
TDMA (Time Division Multiple Access) - множинний доступ з тимчасовим поділом
UAS (unmanned aerial system) -безпілотні літальні апарати
UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)- Універсальна Мобільна Телекомунікаційна Система
VoIP (Voice over Internet Protocol) - це голосовий зв'язок через інтернет
WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)- широкополосный CDMA
Wi-Fi (Wireless Fidelity) -бездротова правдивість відтворення
WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) - це одна з технологій бездротового ширококутового доступу в інтернет
АЦП- аналого-цифрове перетворення

БПЛА- безпілотні літальні апарати
БС – Базова станція

Актуальність роботи

Останнім часом за допомогою повітряних базових станцій для підтримки наземної мережі отримали значну увагу. Зокрема, малий стільник, сформований дроном, (DSC) може виступати в якості повітряних базових станцій для підтримки стільникових мереж в умовах підвищеного попиту і перевантаження, або з метою забезпечення громадської безпеки та ліквідації наслідків стихійних лих. Наприклад, в надзвичайних ситуаціях, таких як землетруси або повені, коли деякі наземні базові станції пошкоджені, або під час великих громадських заходів, таких як Олімпійські ігри, де величезні попит на зв'язок, спостерігається, що мережі необхідно надати допомогу, щоб забезпечити необхідну ємність і охоплення. У цих випадках розгортання DSC, що діють в якості базових станцій, є надзвичайно корисна для забезпечення поліпшеної якості обслуговування (QoS) для наземних користувачів.

Метою роботи є максимізувати ефективність покриття DSC шляхом розрахунку оптимальних значень висоти DSC

Об'єкт дослідження – малий стільник, сформований дроном у якості базових станцій;

Предмет дослідження - оптимальні розгортання DSC в умовах існування перешкод, так і в умовах відсутності перешкод;

I. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ

1. Базові станції стільникового зв'язку

Базова станція стільникового зв'язку - це пристрій для передачі і прийому електромагнітних хвиль в радіочастотному діапазоні. Антени стільникової базової станції є джерелом радіочастотного випромінювання, яке передається через просторовий обсяг соти, яку вона обслуговує.

Хоча термін «базова станція» зазвичай відноситься до стільникового зв'язку, базові станції обслуговують всі типи бездротового зв'язку. Базова станція зазвичай є каналом в мережі додаткових базових станцій, що охоплює велику географічну область та надає стільникові і інші послуги зв'язку.

Базові станції можуть виконувати такі функції:

- Стільниковий зв'язок: це основна функція базової станції як частини мережі стільникового зв'язку.
- Точка бездротового доступу: базова станція може служити в якості точки, що забезпечує доступ до комп'ютерних мереж зв'язку (таким як Інтернет і безпроводні мережі, через модеми), а також до персональних цифрових аксесуарів, таким як кишенькові комп'ютери, планшети і мобільні телефони.
- Складання карт і навігація : базова станція може доповнювати супутникову навігаційну систему: географічне місце розташування базових станцій відоме, і вони постійно відстежують різницю у відстані між цим місцем розташування і даними про місця розташування, що отримуються через супутникові навігаційні системи. Базові станції відправляють інформацію про різні відстані в навігаційну систему, а поправки, отримані через її прилади, дозволяють навігаційним програмам точніше визначати місце розташування.
- Посередництво між пристроями зв'язку: базові станції можуть служити посередниками в автономних системах бездротового зв'язку (таких як двосторонні радіоприймачі або портативні приймачі). Якщо один передавач в цій системі віддаляється від діапазону прийому системи зв'язку, зв'язок може бути включена через одну або кілька базових станцій

Базова станція є центральною точкою, через яку мобільні телефони з'єднуються по всьому світу. Базові станції здійснюють передачу на велику кількість мобільних пристроїв одночасно, тому їх вихідна потужність висока в порівнянні з вихідною потужністю мобільного телефону. Однак на типовому відстані близько 6-10 метрів сила передачі стільникового вузла знижується до дуже низького рівня.

2.Мережі стільникового зв'язку

Інфраструктура мережі, яка забезпечує безпроводний стільниковий зв'язок для абонентів, зазвичай складається з чотирьох основних компонентів, які скоординовані і взаємозв'язані:

- Комутувана телефонна мережа загального користування (PSTN) - інфраструктура лінійної мережі забезпечує інтерфейс між системами стільникового зв'язку і системами лінійного зв'язку.
- Центр мобільних станцій (MSC) підтримує близько 100 000 абонентів і близько 5000 підключень, що проводяться одночасно. Станційний центр виконує функції контролю зв'язку.
- Базова станція
- Пристрої (обладнання) кінцевого користувача - такі як мобільні телефони, планшети, ноутбуки.

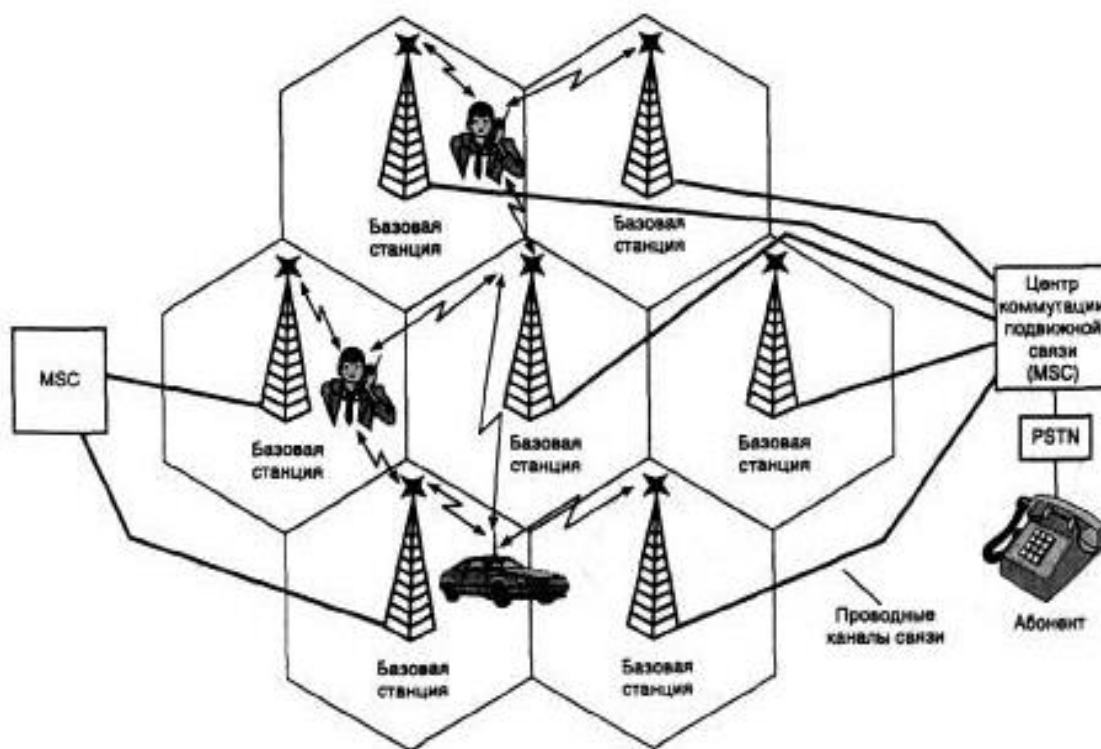


Рис.1 Основні складові систем стільникового зв'язку

Стільниковий зв'язок є формою технології зв'язку, яка дозволяє використовувати мобільні телефони. Мобільний телефон - це пристрій, який забезпечує одночасну передачу і прийом радіосигналів. Стільниковий зв'язок заснована на географічному розподілі зони покриття зв'язку на соти. Кожній соті виділяється певна кількість частот (або каналів), які дозволяють великій кількості людей одночасно вести розмови.

Стільникові телефонні мережі пропонують мобільний зв'язок для більшості з нас. У стільникової мережі базові станції розподілені по регіону, причому кожна базова станція покриває невелику область. Кожна частина невеликої області називається сотою. Стільникові телефони в межах соти з'єднуються з

базовою станцією соти для зв'язку. Коли стільниковий телефон переміщається з однієї зони в іншу, його з'єднання також буде перенесено з однієї базової станції на нову базову станцію. Нова базова станція - це базова станція соти, в яку стільниковий телефон тільки що переїхав.

Стільникові мережі - це радіо або мобільні мережі, які розділені на стільники. Кожна осередок має функціональну базову станцію з обмеженою потужністю, яка дозволяє повторно використовувати частоти в різних осередках без перешкод. Наприклад, частота, яка використовується базовою станцією в соте, може використовуватися будь-якими іншими сотами, які розділені відносним відстанню. Стільникові мережі є дуже ефективним способом використання обмежених частот.

Сота обслуговує певну область, і її розмір залежить від кількості користувачів і варіюється в залежності від максимальної кількості користувачів, що обслуговуються в цій конкретній галузі, і трафіку. Розмір клітин в густонаселених районах порівняно більше, ніж кластери клітин в сільській місцевості. Форма осередку може бути квадратної або шестикутної.

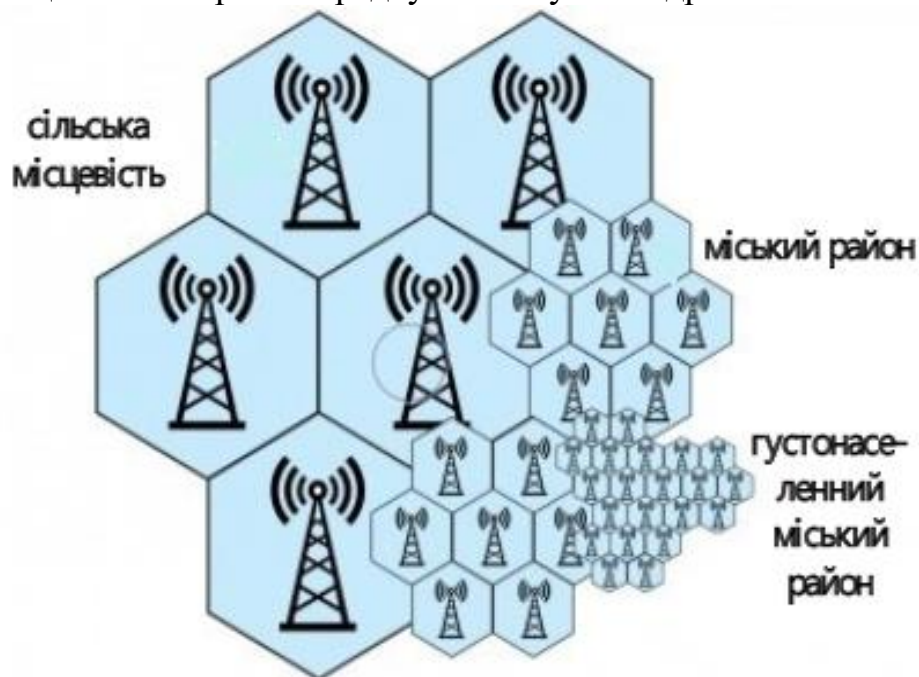


Рис.2 покриття зв'язку

шляхом просторового розподілу на соти з базовими станціями

Для роботи стільникових мереж потрібна фіксована інфраструктура (див. рис.4). Мережа містить фіксовану інфраструктуру і кілька мобільних вузлів. Мобільні вузли підключаються до стаціонарної інфраструктури через бездротові канали. Вони можуть переміщатися із зони дії однієї базової станції за межі зони дії базової станції, і вони можуть переміщатися в зони дії інших базових станцій. Фіксована інфраструктура є стаціонарною або в основному стаціонарною, включаючи базові станції, лінії зв'язку між базовими станціями і, можливо, інші звичайні мережеві пристрої, такі як маршрутизатори. Зв'язки між базовими станціями можуть бути дротяними або бездротовими. Зв'язки повинні бути більш істотними, ніж ці зв'язки між

базовими станціями і мобільними вузлами, з точки зору надійності, дальності передачі, пропускної спроможності і так далі.

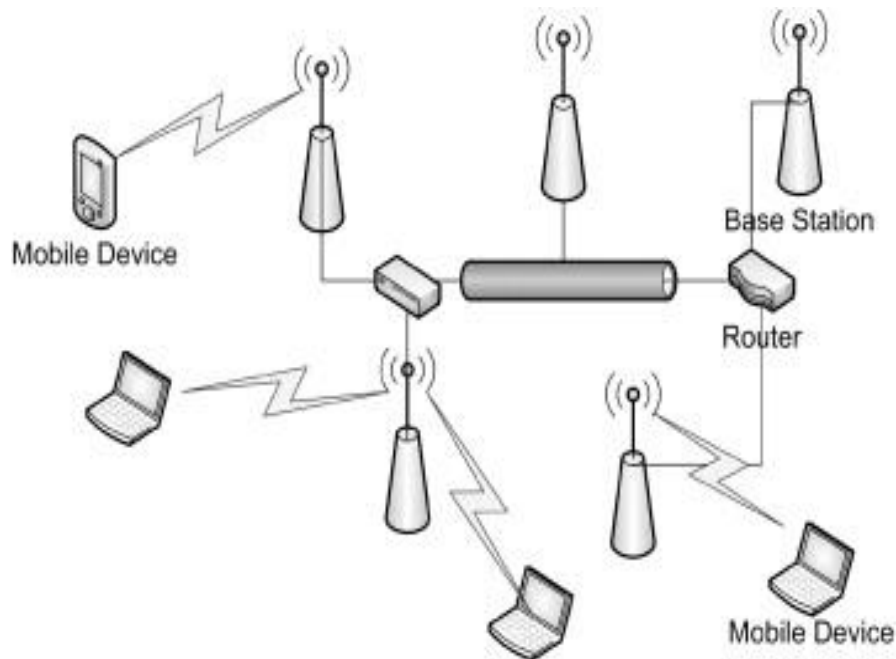


Рис.3 Стільникова мережа

Фіксована інфраструктура служить магістраллю мережі, забезпечуючи високошвидкісне і стабільне з'єднання для всієї мережі в порівнянні зі зв'язком між базовою станцією і мобільним вузлом. У більшості випадків мобільні вузли не зв'язуються один з одним безпосередньо, не проходячи через базову станцію. Пакет від вихідного мобільного вузла до мобільного вузла призначення, швидше за все, буде спочатку переданий на базову станцію, до якої підключений вихідний мобільний вузол. Потім пакет ретранслюється в межах фіксованої інфраструктури до досягнення базової станції призначення, до якої підключений мобільний вузол призначення. Базова станція призначення може потім доставити пакет на мобільний вузол призначення, щоб завершити доставку пакета.

3. Основні технології стільникового зв'язку

3.1 1-G технологія

До першого покоління відносяться аналогові стандарти мереж стільникового зв'язку, які були розроблені в кінці 70-х. Перша мережа була побудована і введена в комерційну експлуатацію в 1979 році в Японії. Сам по собі 1G дозволяв тільки здійснювати дзвінки і приймати їх. Причому це єдине покоління бездротової мобільного зв'язку, в якому використовувалися аналогові радіосигнали.

стандарти 1G:

- AMPS (вдосконалена мобільна телефонна служба) - широко застосовувалася в США, Канаді, Центральній і Південній Америці, Австралії.

- TACS (загальнодоступна система зв'язку) - застосовувалася в Англії, Італії, Іспанії, Австрії, Ірландії,
- NMT-450 і NMT-900 (мобільний телефон північних країн) - застосовувався в Скандинавії і в багатьох інших країнах; був третім за популярністю серед аналогових стандартів світу
- C-450 - застосовувалися в Німеччині і Португалії;
- RTMS (мобільна радіотелефонна система) - використовувалася в Італії;
- Radiocom 2000 – застосувувалась у Франції;
- NTT - застосовувалася в Японії

Табл. 1 Характеристики аналогових стандартів сотової зв'язи

Характеристика	AMPS	TACS	NMT-450	NMT-900	Radiocom 2000	NTT
Диапазон частот, МГц	825-845 870-890	935-950 (917-933) 890-905 (872-888)	453-457,5 463-467,5	935-960 890-915	424.8-427.9 418.8-421.9	925-940 870-885
Радиус соты, км	2-20	2-20	2-45	0,5-20	5-20	5-10
Мощность передатчика БС, Вт	45	50	-	-	-	25
Ширина полосы частот канала, кГц	30 (12,5)	25	25	25/12,5	12,5	25
Время переключения на границе соты, мс	250	290	1250	270	-	800
Минимальное отношение сигнал/шум, дБ	10 (6,5)	10	15	15	-	15

Недоліки 1G:

- Аналогові сигнали були схильні до перешкод. Так що спілкування було гучним.
- Аналогові системи не підтримують адекватні системи шифрування, прослуховування неможливо контролювати.

3.2 2-G технологія:

У 1990-х роках з'явилися системи мобільного зв'язку 2G, в основному з використанням стандарту GSM. телефонні системи 2G відрізнялися від попереднього 1-G покоління використанням цифрової передачі замість аналогової, а також впровадженням удосконаленої і швидкої сигналізації від телефону до мережі.

Бездротовий зв'язок другого покоління - це набір стандартів, розроблених для мобільного зв'язку, які підтримуються і описуються Міжнародним союзом електрозв'язку (МСЕ). Ця технологія використовує алгоритми CODEC (стиснення-декомпресія) для стиснення і мультиплексування голосових даних. Завдяки цій технології 2G може об'єднувати більше викликів на одиницю пропускної здатності і пропонує такі послуги, як SMS і електронна пошта. Існує перевірка помилок, і якість голосу може бути покращено шляхом зниження мінімального рівня шуму.

2G в першу чергу ділиться на дві технології. Стандарти множинного доступу з тимчасовим поділом (TDMA) включають GSM, який переважає у

всьому світі, ексклюзивний PDC для Японії, iDen, який використовується в деяких частинах США і Канади, і D-AMP, який є попередником GSM. Інший зріз 2G - це множинний доступ з кодовим поділом (CDMA), який тепер використовується менше в порівнянні з TDMA через GSM. Найбільш відома технологія CDMA - IS-95 або cdmaOne, використовувана в деяких частинах Азії та Америки.

Недоліком 2G є те, що він дуже залежить від близькості і розташування до вишок, і його цифровий характер тільки посилить цю проблему. Аналогові сигнали вироджуються на відстані, послідовно приводячи до статичної електрики до тих пір, поки сигнал не стане нерозбірливим, в той час як цифровий сигнал різко обривається або втрачається і спотворюється через його зубчастої, включеної-виключеною природи. Це означає, що, коли сигнал 2G стає менше, частота пропущених викликів і голоси з роботизованим звучанням стає більш поширеною.

переваги 2G:

- що цифрові сигнали споживають менше енергії акумулятора, що дозволяє мобільним акумуляторів працювати довго.
- Цифрове кодування покращує чіткість голосу і знижує рівень шуму в лінії.
- Цифрові сигнали вважаються екологічно чистими.
- Цифрове шифрування забезпечує секретність і безпеку даних і голосових викликів.

У 1982 році СЕРТ створила групу для розробки наземної системи бездротового зв'язку загального застосування GSM (франц. Groupe Spécial Mobile). У 1989 році обов'язки СЕРТ взяв на себе ETSI. на початку GSM працювала тільки для країн, які входили в ETSI, але через деякий час GSM реалізували і інші регіони. З цього часу GSM вже розшифровувалося як Global Special Mobile.

Основні цифрові стандарти систем стільникового зв'язку другого покоління:

- D-AMPS - цифровий AMPS
- GSM (Global System for Mobile communications - глобальна система мобільного зв'язку
- CDMA
- JDC - японський стандарт цифрового стільникового зв'язку.

Табл. 2. Порівняння систем стільникового зв'язку другого покоління (2G)

Характеристика	GSM	D-AMPS	JDC	CDMA
Метод доступу	TDMA	TDMA	TDMA	CDMA
Число речевих каналів на несущую	8(16)	3	3	32
Робочий діапазон частот, МГц	935-960 890-915 (1710-1785) (1805-1880)	824-840 869-894	810-826 940-956 1429-1441 1447-1489 1501-1513	824-840 869-894
Разнос каналів, кГц	200	30	25	1250
Еквівалентна полоса частот на один розмовний канал, кГц	25(12.5)	10	8.3	-
Вид модуляції	0.3 GMSK	$\pi/4$ DQPSK	$\pi/4$ DQPSK	QPSK
Швидкість передачі інформації, кбіт/с	270	48	42	57.6
Швидкість перетворення мови, кбіт/с	13(6.5)	8	11.2(5.6)	9.6
Алгоритм перетворення мови	RPE-LTR	VSELP	VSELP	-
Радіус соти, км	0.5-35.0	0.5-20.0	0.5-20.0	0.5-25.0

3.2.1 D-AMPS

Стандарт D-AMPS - цифрова система стільникового зв'язку другого покоління (2G). Найбільше використовувався в Північній Америці та переважно в США і Канаді.

D-AMPS - це цифрова версія AMPS, яка забезпечує TDMA для AMPS, щоб отримати три канали для кожного окремого каналу AMPS, а отже, потроїти число можливих викликів в одному каналі, що, дозволить потроїть пропускну здатність. D-AMPS використовує існуючу технологію AMPS для безпечного і простого переходу від аналогових до цифрових систем в тій же області, що дозволяє швидко відновити AMPS, оригінальну аналогову стандартну систему для стільникового зв'язку в США і Канаді.

Стандарт D-AMPS передбачає аналого-цифрове перетворення голосового потоку, завдяки чому з'являється можливість використовувати алгоритми забезпечення безпеки доступу, додаткові сервіси і більш ефективно використання виділеного спектра частот. D-AMPS використовує для зв'язку ту ж смугу частот, що і AMPS, від 824 до 894 МГц. Смуга частот розділена на дві: 824-849 МГц для висхідній лінії (мобільний телефон на базову станцію) і 869-894 МГц для низхідній лінії (базова станція - мобільний телефон). Виділені смуги частот висхідній і низхідній лінії зв'язку спочатку діляться на частотні канали по 30 кГц, кожен з яких використовує FDMA, а потім застосовується TDMA, що додатково розбиває кожен з цих каналів по 30 кГц на три тимчасові інтервали. Цифрове стиснення голосу також використовується для ефективного використання існуючої ємності. Зв'язок в мережах D-AMPS також зашифрована для забезпечення безпеки.

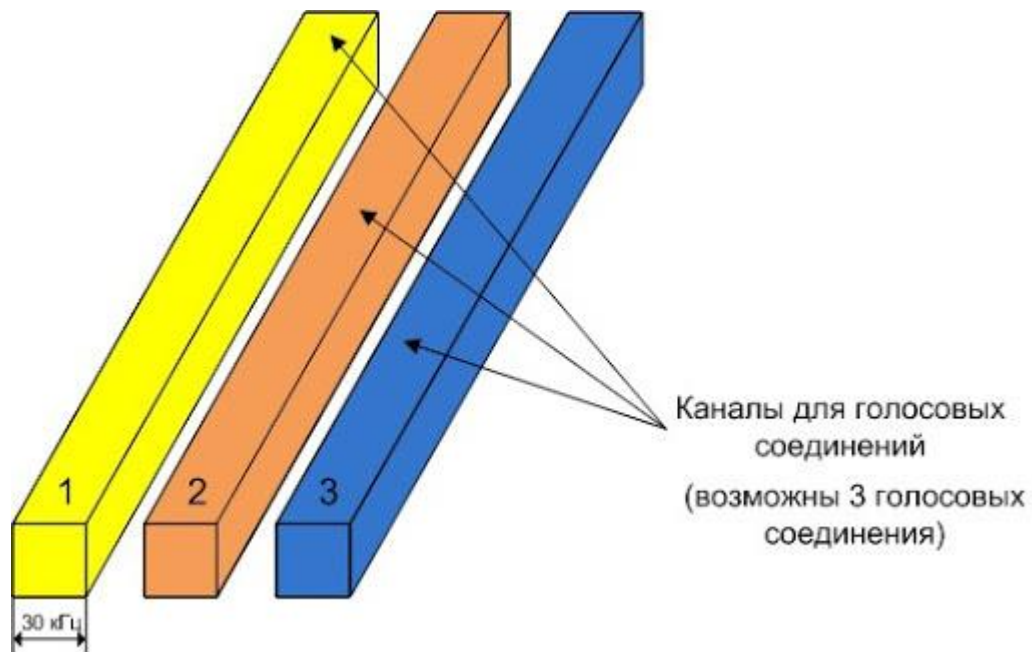


Рис.4 Принцип побудови радіоінтерфейсу системи стандарту AMPS

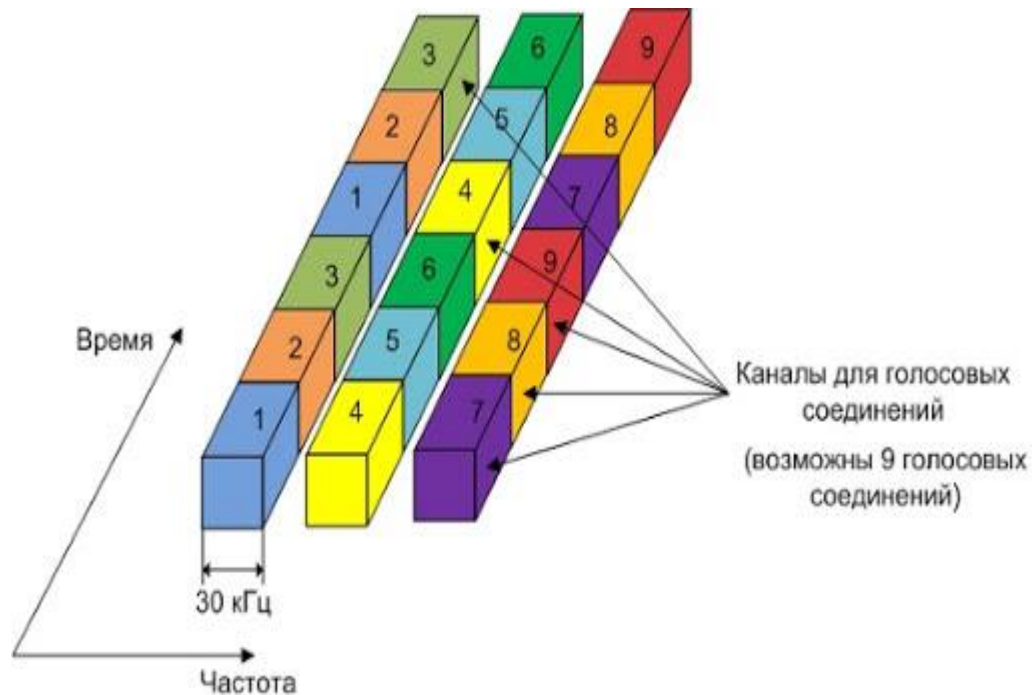


Рис.5 Принцип побудови радіоінтерфейсу системи стандарту DAMPS

Через те, що TDMA була застосована до цієї цифрової версії AMPS, її часто називають TDMA, що може бути трохи заплутаним, враховуючи, що вона використовує як FDMA, так і TDMA.

3.2.2 GSM

GSM (Глобальна система мобільного зв'язку) - це стандарт мобільних мереж другого покоління. У вісімдесятих роках була сформована група для розробки загального стандарту мобільного зв'язку. Хоча стандарт заснований на системі множинного доступу з тимчасовим поділом, його технологія використовує цифрові сигнальні і мовні канали і вважається другою

системою (2G) для мобільних телефонів. Кінцеві користувачі GSM першими скористалися недорогим реалізацією SMS. Будучи мережею, стандарт стільникового зв'язку використовує соти для забезпечення бездротового зв'язку абонентам, що знаходяться в безпосередній близькості від цих сот. Чотири основні соти, які становлять мережу GSM, називаються: макросами, мікро, піко і фемто. Телефони GSM можуть бути ідентифіковані наявністю SIM. SIM-карта дозволяє користувачеві перемикатися з одного GSM-телефону на інший.

Одним з основних переваг стандарту GSM є можливість переміщатися і перемикатися між операторами за допомогою окремих мобільних пристроїв. Особливості стандарту:

GSM - це система з комутацією каналів. Вона розділяє всі канали 200кГц на вісім тимчасових інтервалів 25кГц. Стандарт працює на трьох різних несучих частотах:

- 900МГц, яка використовувалася вихідною системою GSM;
- 1800МГц, яка була додана для підтримки числа тих, що набувають абонентів
- частоти 1900МГц, яка використовується, головним чином, в США.

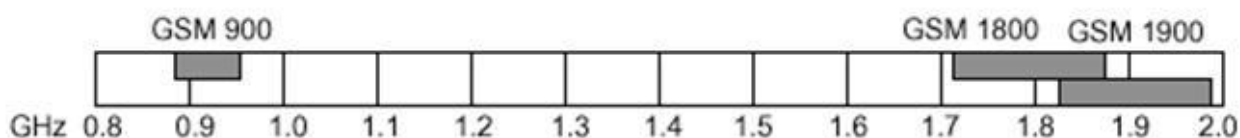


Рис.6 Частотні діапазони GSM

3.2.3 JDC

JDC - японський стандарт цифрового стільникового радіозв'язку 2G

У 1993 NTT DoCoMo - найбільший японський оператор мобільного зв'язку, запустив перший сервіс цифрового мобільного зв'язку (2G), який використовував стандарт TDMA, названий Personal Digital Cellular.

PDC - стандарт мобільного телефонії 2G з тимчасовим поділом. Ширина несучої в стандарті становить 25 кГц, для модуляції використовується квадратурна фазова маніпуляція.

3.2.4 CDMA One

CDMA One була першою системою стільникового зв'язку, в якій використовувався кодовий метод множинного доступу. CDMA One часто згадуваного як IS-95. Перші специфікації стандарту IS-95 випускалися під аббревіатурою IS-95A, а більш пізні, вдосконалені релізи опубліковувалися як IS-95B. Саме IS-95B зазвичай асоціюють з CDMA One.

особливості стандарту CDMA One:

1. М'яка передача (Soft handoff). В кожній соті використовуються однакові частоти, тому, при переході абонента з однієї соти в іншу немає переходу між частотами.

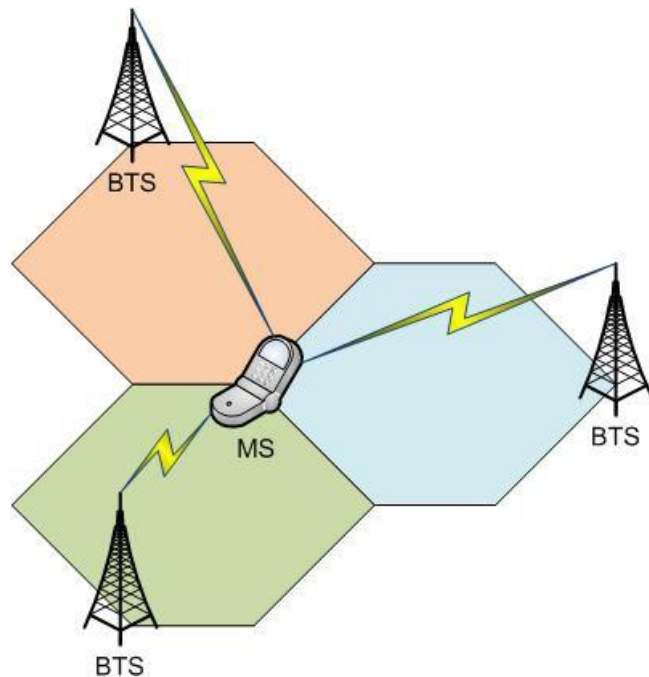


Рис.7 Приклад Soft handoff з 3 базовими станціями

2. Гнучка ємність мережі, тобто у системах з тимчасовим і частотним поділом чітко визначена кількість доступних для абонентів каналів.
3. Терпимість до багатопроменевого розповсюдження. Розширення спектру ефективно в боротьбі з частотно-селективними завмираннями, які можуть виникати при багатопроменевому поширенні сигналів.
4. Висока стійкість до впливів ззовні. Важлива особливість розширених сигналів полягає в тому, що вони стають шумоподібним або псевдовипадковими.

Недоліки:

1. Системи CDMA є саме інтерферуючими.
2. Виникає проблема «ближній - далекої» зон через те, що сигнал від MS, що знаходяться ближче до базової станції зазнає менше загасання, ніж мобільний телефон, який знаходиться на краю стільниці

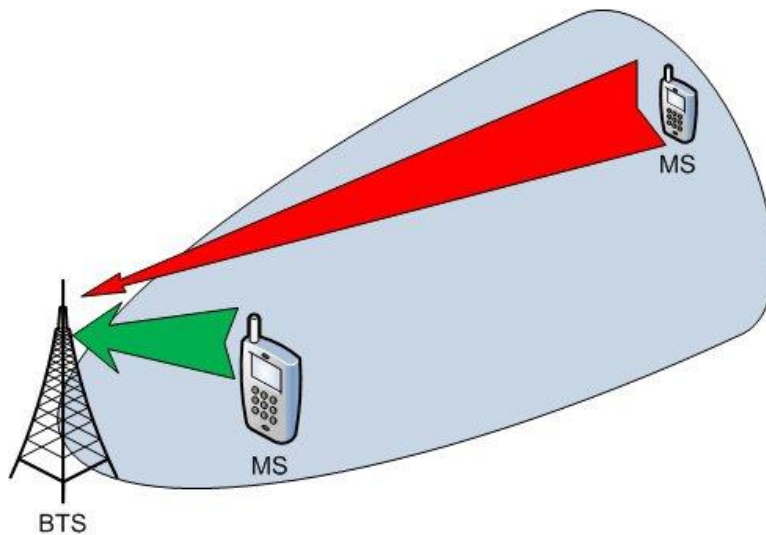


Рис.8 Проблема «ближній - далекої» зон

3.3 2.5-G технологія

Зростаюча потреба користувачів мобільного зв'язку в використанні Інтернета з мобільних пристроїв стала основним поштовхом для створення нового покоління 2.5G, які стали перехідними між 2G і 3G. Мережі 2.5G використовують ті ж стандарти, що і мережі 2G. Також з'явилась можливість передачі пакетних даних - GPRS – пакетний радіозв'язок загального користування. Використання пакетної передачі даних дозволило збільшити швидкість обміну інформацією при роботі з мережею Інтернет з мобільного пристроїв замість 9,6 кбіт/с до 384 кбіт/с. Технологія EDGE - підвищена швидкість передачі даних для розвитку GSM, використовувалась для мереж GSM розвитку.

GPRS

Еволюцією GSM стала технологія GPRS. GPRS є розширенням мереж GSM з наданням послуг передачі даних, в той час як базова мережа розширюється за рахунок накладення нових компонентів і інтерфейсів, призначених для пакетної передачі. Система GPRS розроблена як система пакетної передачі даних з максимальною швидкістю передачі близько 170 кбіт/с.

Технологію GPRS в різних джерелах називають по-різному. Вона вже переросла друге покоління, але ще не дотягували до третього. Найчастіше GPRS називали 2,5G,

EDGE

Також для збільшення швидкості передачі даних, була винайдена нова система - EDGE. EDGE була введена в мережах GSM з 2003 фірмою Singular в США. Вона передбачала введення нової схеми модуляції. В результаті стала досяжна швидкість в 384 кбіт / с.

Технологію EDGE в різних джерелах називали по-різному. Найчастіше EDGE - 2,75G.

3.4 3-G технологія:

3G дозволяє задіяти одночасно пакетну передачу цифрових даних і каналне підключення. 3G об'єднує в собі три стандарти цифрового бездротового зв'язку - FOMA, UMTS і CDMA2000.

Для 3G існують вимоги до швидкості обміну інформацією:

- 2048 кбіт / с - для нерухомих абонентів;
- 384 кбіт / с - для абонентів, що рухаються зі швидкістю не більше 3 км / год;
- 144 кбіт / с - для абонентів, що рухаються зі швидкістю не більше 120 км / ч.

Система 3G використовує CDMA і WCDMA. CDMA - це метод, в якому унікальний код призначається кожному користувачеві, що використовує канал в цей час. Після призначення унікального коду в ньому ефективно використовується повністю доступна смуга пропускання. Завдяки цьому дуже велика кількість користувачів можуть використовувати канал одночасно в порівнянні з TDMA і FDMA.

3G використовує частотний діапазон від 15 МГц до 20 МГц, а смуга частот для 3G становить від 1800 - 2500 МГц. Максимальна швидкість близько 2 Мбіт/с досягається в базовій системі 3G.

Для подальшого збільшення швидкості передачі даних була введена HSPA. Завдяки HSPA мережі можуть бути модернізовані для роботи на широкосмугових швидкостях. Концепція MIMO (Multiple Input Multiple Output) була вперше представлена в HSPA. Завдяки цьому швидкість передачі даних може досягати 42 Мбіт/с

MIMO - це метод, в якому концепція багатопробеневого поширення використовується для поліпшення радіолінії. Один і той же сигнал приймається кілька разів на стороні приймача. За рахунок цього ймовірність помилки зменшується, а загальна продуктивність поліпшується.

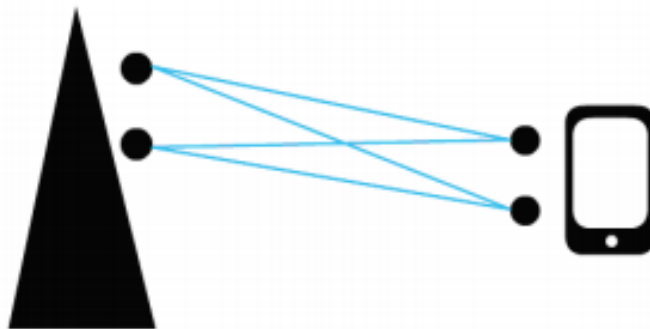


Рис.9 Принцип роботи MIMO

Ще одна перевага в системі 3G - Hand-off. При цьому для користувача устаткування підключається до двох вишок одночасно, через що під час передачі не відбувається скидання виклику.

3.4.1 CDMA2000

CDMA2000 є подальшим розвитком стандарту другого покоління CDMA One.

CDMA2000 - це бездротовий радіодоступ, який, як визначив ІТУ ІМТ-2000, підтримує третє покоління послуг зв'язку 3G. Спочатку, при розробці CDMA2000 закладалися такі умови:

- повну відповідність обсягу та якості послуг зв'язку вимогам ІТУ до 3G
- зменшення ризику і захист капіталовкладень операторських компаній
- полегшення роботи операторським компаніям по розгортанню мереж

Мережі CDMA2000 повністю сумісні з мережами CDMA One, що і забезпечує простий і недорогий перехід до нового покоління бездротового зв'язку і, тим самим, забезпечує захист капіталовкладень операторських компаній.

Мережі CDMA2000 надають значне поліпшення якості звуку і збільшення ємності звукових каналів при високій швидкості і мультимедійності передачі даних. Еволюційний перехід до CDMA2000 підрозділяється на дві фази, відомі як 1X і 3X.

CDMA2000 1X

Мережі CDMA2000 1X функціонують в тій же смузі частот, що і мережі CDMA One, але вони мають в 2 рази більшу пропускну спроможність голосових каналів і швидкістю передачі даних в 144 Кбіт / с. Мережі CDMA2000-1X і CDMA One повністю сумісні, їх слід розглядати як подальше вдосконалення однієї мережі іншого. Назва 1X походить від технічного терміна 1XRTT, який відноситься до мереж CDMA2000, яка займає в спектрі частот смугу 1,25 МГц. 1X означає технологію радіопередачі в смузі 1,25 МГц. 1X може займати смугу 1,25 МГц в різних ділянках частотного спектра.

CDMA2000 3X

Це друга фаза стандарту CDMA2000. Удосконалення в цій фазі забезпечують збільшення швидкості передачі інформації понад того, що досягнуто в 1X, до 2 Мбіт / с з використанням багатоканальної системи передачі. Назва 3X походить від терміна 3XRTT, тобто використовується три канали по 1,25 МГц для надання послуг 3G.

У стандарті CDMA2000 була введена спеціальна система для передачі даних: Packet Core Network (PCN).

Особливості стандарту CDMA2000

1. Вдосконалений алгоритм управління потужністю. Стандарт CDMA2000 використовує кодовий метод доступу абонентів до мережі - CDMA (code division multiple access). Головним його недоліком є виникнення інтерференції при збільшенні числа абонентів.
2. Transmit diversity - кожна антена може приймати/передавати до 6 різних сигналів.
3. Розумні антени дозволяють формувати окремі пучки сигналу для кожного абонента з точністю в кілька десятків метрів.
4. використання QPSK -модуляції (Quadrature Phase Shift Keying)
5. Покращена технологія цифрового кодування
6. використовуються більш ефективні вокодер і більше число розширюють кодів.

3.4.2 UMTS

Технологія UMTS, заснована на технології широкосмугового множинного доступу з кодовим розділенням (W-CDMA), є однією з технологій третього покоління мобільного телефонного зв'язку. Ця технологія була розроблена Партнерським проектом третього покоління, співпрацею між групами телекомунікаційних асоціацій для створення глобально застосовної системи мобільного зв'язку третього покоління, і являє собою європейсько-японський аналог Міжнародної рухомого зв'язку 2000 року Специфікації Міжнародного союзу електрозв'язку для систем стільникового зв'язку.



Рис.10 Структура UMTS

Швидкість передачі даних для мереж UMTS може досягати 2Мбіт / сек.

Завдяки технології HSDPA-High Speed Downlink Packet Access (3.5G) максимальна швидкість зросла до 14 Мбіт/с. Ці переваги UMTS дозволяють надавати абонентам широкий перелік послуг: відеодзвінки, відеоконференції, високоякісні голосові дзвінки, завантаження файлів з високою швидкістю, мережеві ігри, мобільна комерція і мн. ін.

Переваги UMTS для споживачів

- Стандарт рухомого зв'язку третього покоління забезпечує радіо доступ в будь-якому куточку світу з єдиного пристрою;
- Широкий спектр мультимедійних послуг з високим рівнем якості;
- Ефективна високошвидкісна передача радіосигналу, оптимізована стандартом, дозволяє абонентам максимально використовувати можливості Інтернету.

Переваги UMTS для операторів:

- Приведення всіх стандартів бездротового доступу, які тільки існують сьогодні, до єдиної системи, і як наслідок - формування гнучкої інфраструктури радіозв'язку;

- Еволюція з попередніх систем, якою гарантується істотна економія при нарощуванні і поставках, і в той же час забезпечується широка диференціація продукції і послуг;
 - Базові мережі UMTS дозволяють розвивати системи, засновані на гнучкій адаптації до вимог ринку або бізнесу в окремо взятому регіоні.
- недоліки UMTS
- Значний обсяг станцій при невеликій ємності зарядного пристрою;
 - Недостатня сумісність з мережами GSM;
 - Якісний прийом і оптимальну передачу сигналу забезпечить лише радіус не більше 1,5 км.

3.4.3 TD-SCDMA

Множинний доступ з синхронним кодовим поділом каналів з тимчасовим поділом (TD-SCDMA) відноситься до радіоінтерфейсу, використовуваному в мережах Універсальної системи мобільного зв'язку в Китайській Народній Республіці. TD-SCDMA був розроблений як заміна W-CDMA.

Він був прийнятий 3GPP і Міжнародним союзом електрозв'язку і стає глобальним стандартом. TD-SCDMA працює з використанням методу доступу до каналу SC-DMA через кілька тимчасових інтервалів. Він ідеально підходить для густонаселених районів і місць з низькою мобільністю в межах піко- або мікроелементів.

TD-SCDMA був розроблений Китайською академією телекомунікаційних технологій (CAIT), Siemens AG і Datang з метою уникнути залежності від західних технологій. Використання інших форматів 3G, запатентованих в західних країнах, вимагає величезних патентних мит, тому TD-SCDMA був розроблений для того, щоб обійти ці високі патентні мита.

Офіційний запуск національної мережі TD-SCDMA був вперше запланований до 2005 року. 7 січня 2009 року Китайська Народна Республіка затвердила ліцензію TD-SCDMA 3G для China Mobile.

TD-SCDMA поєднує в собі інноваційну систему дуплексної передачі в тимчасовій області / множинного доступу в тимчасовій області з використанням гнучкого компонента CDMA, який функціонує в синхронному режимі. Система TDD дозволяє динамічно регулювати обсяг тимчасових інтервалів, які використовуються для висхідній лінії зв'язку і низхідній лінії зв'язку. Система може подбати про асиметричний трафік легше з різними вимогами швидкості передачі даних на висхідній лінії зв'язку і низхідній лінії зв'язку. Крім того, використання однієї і тієї ж несучої частоти для низхідній лінії зв'язку і висхідній лінії зв'язку має на увазі, що умови каналу в обох напрямках абсолютно однакові. Це дозволяє базовій станції виводити дані каналу низхідній лінії зв'язку з оцінок каналу висхідній лінії зв'язку.

Стандарт TD-SCDMA працює в діапазоні частот від 1785 до 2220 МГц. Коли мова йде про бездротову локальну мережу, TD-SCDMA часто реалізується з використанням смуги частот між 1900 МГц і 1920 МГц. В TD-SCDMA голосові дані відправляються зі швидкістю 8 кбіт / с, і можливі швидкості

передачі даних для служб комутації, таких як відео, складають 12,2, 64, 144, 384 і 2048 кбіт / с.

3.5 покоління 3.5G

Подальшим розвитком мереж стала технологія HSPA, яку стали називати 3,5G. Спочатку вона дозволяла досягти швидкості в 14,4 Мбіт / с, проте зараз теоретично досяжна швидкість 84 Мбіт/с і більше. Вперше HSPA була описана в п'ятій версії стандартів 3GPP. В її основі лежить теорія, згідно з якою при порівнянних розмірах сот застосування багатоканальної передачі дозволяє досягати пікових швидкостей.

HSDPA - перший з сімейства протоколів стільникового зв'язку HSPA, заснований на UMTS технології. Даний протокол і наступні його версії дозволили значно збільшити швидкість передачі даних в мережах 3G. У першій своїй реалізації протокол HSDPA мав максимальну швидкість передачі даних 1,2 Мбіт/с. Швидкість передачі даних в наступній реалізації протоколу HSDPA становила вже 3,6 Мбіт / с. В результаті подальшого розвитку протоколу HSDPA вдалося збільшити швидкість спочатку до 7,2 Мбіт/с, а потім до 14,4 Мбіт/с. Вершиною технології HSDPA стала технологія DC-HSDPA швидкість якої могла досягати 28.8 Мбіт/с. DC-HSDPA по суті двоканальний варіант HSDPA.

HSPA + - технологія, що базується на HSDPA, в якій реалізовані більш складні методи модуляції сигналу (16QAM, 64QAM) і технологія MIMO (Multiple Input Multiple Output - множинний вхід множинний вихід).

Максимальна швидкість 3G може досягати 21 Мбіт / с. Подібну технологію вже відносять до 3,5G.

DC-HSPA + технологія з найшвидшим 3G Інтернетом 42,2 Мбіт / с. По суті це двоканальний HSPA + з шириною каналу 10 МГц. Часто це технологію називають 3.75G.

У стандарті 3GPP регламентована технологія HSPA + (Evolved High-Speed Packet Access), що представляє собою поліпшений варіант HSPA, в якому вже присутні більш складні модуляції 16-QAM (Uplink)/64-QAM (Downlink) і технологія MIMO. У MIMO використовуються кілька прийомних і передавальних антен, які рознесені між собою таким чином, щоб досягти найменшої кореляції між сусідніми антенами. У загальному випадку в методі MIMO потік даних пересилається одночасно, з використанням різних антен. При цьому антени передають дані незалежно один від одного на одній і тій же частоті. Таким чином реалізується кілька просторово рознесених підканалів, за якими дані передаються одночасно в одному і тому ж частотному діапазоні. Удосконалена мережу HSPA + може теоретично підтримувати швидкості до 28 Мбіт/с «вгору» і до 42 Мбіт/с «вниз». В принципі, можливе використання технології DC-HSDPA в комбінації з MIMO. Крім того, немає категоричної заборони на використання різних частот при об'єднанні смуг в DC-HSDPA. Додаткові варіанти технології HSPA + в сукупності з методом MIMO дозволяють в рази збільшити швидкості передачі як «вгору», так і «вниз».

3.6 4-G технологія:

На відміну від попередніх поколінь, а саме від третього, 4G не підтримує традиційні послуги телефонії з комутацією каналів. В 4G використовується IP-телефонія, тобто комутація пакетів. Для пересилання даних використовується протокол IPv4 (планується перейти на IPv6). Для здійснення послуг телефонії виклики і повідомлення «перенаправляються» через існуючі мережі 2G і 3G.

Теоретично стандарт 4G дозволяє передавати інформацію зі швидкістю в п'ять-сім разів вище, ніж 3G і навіть так званих 3,5G, де максимальна швидкість дорівнює 150 Мбіт / с.

основною вимогою до четвертого покоління стала швидкість передачі даних. для 4G були встановлені вимоги до швидкості передачі даних:

- 100 Мбіт / с - для високорухливих абонентів;
- 1 Гбіт / с - для абонентів з невеликою рухливістю.

Для збільшення ефективності передачі інформації в мережах 4G використовуються технології ортогонального частотного ущільнення OFDM і MIMO.

На даний момент сімейство 4 покоління складається з двох стандартів - WiMAX і LTE.

Основною базовою технологією четвертого покоління є технологія ортогонального частотного ущільнення OFDM .

Четверте покоління бездротового зв'язку (4G) є аббревіатурою для четвертого покоління стандартів стільникового бездротового зв'язку і замінює третє покоління широкосмугового мобільного зв'язку.

Ідея, що лежить в основі пропозиції послуг 4G, полягає в наданні комплексного вирішення на основі IP, в якому мультимедійні додатки і послуги можуть доставлятися користувачеві в будь-який час і в будь-якому місці з високою швидкістю передачі даних, чудовою якістю обслуговування і високою безпекою.

Безперебійна мобільність і сумісність з існуючими стандартами бездротового зв'язку має вирішальне значення для функціональності зв'язку 4G. Реалізація включатиме нові технології, такі як фемтостільників і пікосоти, які будуть задовольняти потреби мобільних користувачів, де б вони не знаходилися, і звільнять мережеві ресурси для користувачів в роумінгу або тих, які знаходяться в більш віддалених зонах обслуговування.

3.6.1 Технологія довгострокового розвитку (LTE)

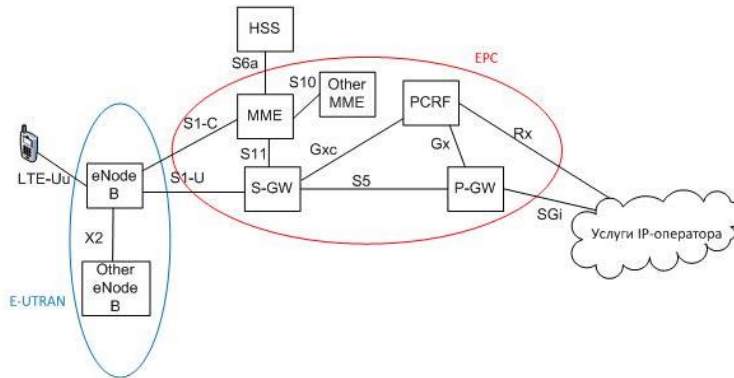


Рис.11 Структура LTE

LTE є не тільки додатковим поколінням в еволюції стільникової технології, але і тим, яке розробляється з урахуванням майбутніх вимог бездротової передачі даних і науково-технічних розробок в цій галузі. Це пов'язано з його здатністю передавати дані зі швидкістю від сотень мегабайт в секунду до гігабайта в секунду при низьких витратах. Технологія LTE працює через метод мультиплексування з ортогональним частотним розділенням (OFDM), який є основною характеристикою технології четвертого покоління (4G). Long Term Evolution скорочена як LTE, є проектом 3GPP, що працює у співпраці з Європейським інститутом стандартів телекомунікацій. LTE був представлений після результатів мережевих технологій GSM/EDGE і UMTS/HSPA і вважається останнім стандартом в секторі мобільної мережі. Він продається як 4G, але оскільки він не виконує вимоги 4G (4-го покоління), він вважається технологією 3.9G. LTE НЕ сумісний з системами 3G, але LTE advanced (розширений) сумісний з LTE і, отже, використовує одні й ті ж смуги частот. Завдяки своїй архітектурі, заснованій на інтернет-протоколі (IP), на відміну від багатьох інших протоколів стільникового Інтернету, LTE - це високошвидкісне з'єднання, що підтримує перегляд веб-сайтів, VoIP і інших IP-сервісів.

Говорячи про свої переваги, він виробляє великий обсяг продукції, має низьку передбачуваність, plug and play, FDD і TDD, знаходиться на одній платформі, в порівнянні з іншими, має набагато кращі можливості для кінцевих користувачів і, нарешті, має простий структурний дизайн. LTE також підтримує плавне перемикавання на стільникові вишки з використанням попередніх мережевих технологій, таких як GSM, UMTS і CDMA2000. Коли виникають витрати на створення нової мережевої інфраструктури, їх модернізацію та встановлення нового обладнання, виникають недоліки. Для цієї мети LTE задіє технологію MIMO, яка для передачі даних підвищує необхідність використання додаткових антен. Щоб випробувати нову мережеву інфраструктуру, користувачі мережі повинні купувати нові мобільні телефони. Перші пристрої, що підтримують технологію LTE, з'явилися в 2010 році. Сучасні висококласні смартфони і планшети оснащені правильними інтерфейсами для LTE-з'єднань. Старі мобільні телефони зазвичай не пропонують послуги LTE.

Всі користувачі мережі, будь то для особистого або ділового використання, будуть відчувати удосконалення цієї технології щодо її швидкості, ємності, охоплення і надійності, що зробить мобільний широкосмуговий шлях занадто здійсненним. Користувачі, що знаходяться в будь-якому місці, зможуть отримати доступ до більш швидкої швидкості з'єднання і більш широкого охоплення інтернету. Існуючі користувачі, безумовно, захочуть перейти на більш якісний сервіс, і нові користувачі також отримають від цього переваги. Єдине, що WiMAX зараз вважається конкурентом технології LTE, хоча вони забезпечують однакові переваги щодо швидкості та охоплення, але це абсолютно різні технології. Технологія LTE, навіть будучи успішною в своїх різних випробуваннях, не може гарантувати, що вона буде технологією, яка використовується користувачами наступного покоління.

3.6.2 WiMAX

Стандарт WiMAX - це технологія широкосмугового бездротового зв'язку яка на відміну від інших технологій радіодоступу, забезпечує високошвидкісні з'єднання на великих відстанях навіть за відсутності прямої видимості об'єкта, на відбитому сигналі.

Стандарт WiMAX - Worldwide interoperability for Microwave Access, вийшов у світ в кінці 2001г. Відповідно до ієрархією стандартів бездротового доступу він відноситься до класу MAN (Metropolitan Area Network). По ряду показників, таких як пропускна здатність, покриття території і послуги, що надаються, WiMAX перевершує стандарт Wi-Fi (IEEE802.11) , дозволяючи при розвиненій інфраструктурі будувати регіональні, національні і навіть глобальні мережі.

На фізичному рівні в стандарті WiMAX застосовують дві принципово різні технології. Дані можна передавати, модулюючи одну несучу частоту (SC - Single Carrier) або безліч піднесуть - технологія OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). У режимі SC до радіоканалах пред'являють ті ж вимоги, що і в радіорелейних мережах: використання тільки прямих променів і застосування вузько антен, придушення всіх відображених променів з метою усунення межсимвольної інтерференції. У зв'язку з цим технологію SC неможливо використовувати в мережах масового користування з багатопроблемним поширенням радіохвиль в каналах зв'язку.

В 2004р при появі нового стандарту WiMAX стався перехід до технології OFDM. Дана технологія дозволяє усунути міжсимвольні інтерференцію. У наступній версії стандарту були істотно змінені параметри OFDM. Зокрема, перейшли до масштабованої OFDM: число використовуваних піднесуть стало залежати від робочої смуги (SOFDM), а абоненту стали виділяти певну кількість підканалів (SOFDMA - Scalable OFDM Access). Також з'явилася можливість реалізації хендовера. Даному варіанту стандарту WiMAX дали

назву мобільного WiMAX або стандарту 802.16e. Варіант 802.16e є базовим в діючих мережах WiMAX. .

Версії стандарту WiMAX поділяються на

- фіксовані, призначені для нерухомих абонентів
- мобільні, для рухомих абонентів зі швидкістю, що не перевищує 115 км/год.

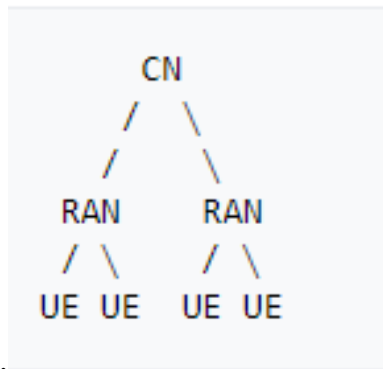
Споживачі найчастіше стикаються з продуктами і послугами WiMAX в додатках «останньої милі». WiMAX дозволяє інтернет-провайдерам і операторам зв'язку підключатися до Інтернету в будинках і офісах, не вимагаючи використання фізичної проводки

WiMAX часто порівнюють з Wi-Fi; обидва мають бездротове підключення до Інтернету в своїй основі, і технології доповнюють один одного. Основні подібності та відмінності включають в себе:

- Діапазон WiMAX вимірюється в кілометрах, а Wi-Fi вимірюється в метрах і локальний характер. Надійність і діапазон WiMAX роблять його придатним для надання доступу в Інтернет, що охоплює великі мегаполіси.
- Wi-Fi використовує неліцензований спектр, в той час як спектр WiMAX може бути ліцензованим або неліцензованим.
- Wi-Fi більш популярний в пристроях кінцевих користувачів, таких як ноутбуки, настільні комп'ютери і смартфони. Відповідно, постачальники послуг WiMAX зазвичай надають клієнтові абонентський пристрій WiMAX. Це пристрій підключається до мережі провайдера і пропонує доступ до Wi-Fi і зручність для клієнта в межах діапазону Wi-Fi.

4.1 Мережа радіодоступу

Мережа радіодоступу - є частиною системи мобільного зв'язку. Він реалізує технологію радіодоступу. Концептуально він знаходиться між пристроєм, таким як мобільний телефон, комп'ютер або будь-який віддалено керований комп'ютер, і забезпечує з'єднання з його базової мережею (CN). Залежно від стандарту мобільні телефони та інші бездротові підключення пристрою по-різному називаються призначеним для користувача обладнанням (UE), термінальним обладнанням, мобільною станцією (MS) і т. Д Функціональні можливості RAN зазвичай забезпечуються кремнієвим чипом, який також знаходиться в базовій мережі. в якості призначеного для користувача устаткування. Дивіться наступну діаграму



Примеры типов сетей радиодоступа:

- GRAN: сеть радиодоступа GSM
- GERAN: по сути то же самое, что и GRAN, но с указанием включения служб радиосвязи EDGE
- UTRAN: сеть радиодоступа UMTS
- E-UTRAN: высокоскоростная сеть радиодоступа с долгосрочной эволюцией (LTE)

RAN включає в себе базові станції, які призначені для користувача для бездротові з'єднання з системою, крім обробки користувальницьких сигналів і управління. Це значно збільшує найвищі витрати в таких системах, оскільки розгортання і управління базовими станціями стають дійсно складними і дорогими. Крім того, щоб вирішити проблему збільшення кількості користувачів і їх потреб, в одній і тій же області буде потрібно розгорнути більш однієї базової станції, щоб базова станція була перевантажена. Однак наявність більше однієї базової станції створить проблему координації базових станцій, щоб вони не впливали один на одного. Система буде ставати все більш складною з точки зору географічного розгортання і координації. Більш того, вартість такої системи буде набагато більше, так що жоден оператор не зможе впоратися з такими витратами, і, отже, необхідно запропонувати більш економічно ефективне рішення.

4.2 C-RAN

C-RAN (Cloud-RAN) являє собою архітектуру для стільникових мереж. Вперше він був представлений Мобільним науково-дослідним інститутом Китаю в квітні 2010 року в Пекіні, Китай, через 9 років після того, як він був розкритий в патентних заявках США.

C-RAN (Cloud-RAN), іноді називають Централізований-RAN, є пропонованої архітектурою для майбутніх стільникових мереж. C-RAN є централізоване хмарне обчислення на основі архітектури для мереж радіодоступу, яка підтримує 2G, 3G, 4G і майбутні стандарти бездротового зв'язку. Його назва походить від чотирьох «С-х років в основних характеристиках системи C-RAN" Чистий, Централізована обробка, Collaborative радіо, і в режимі реального часу Cloud Radio Network Access ".

C-RAN використовує безліч технологічних досягнень в області бездротового зв'язку, оптичні системи і IT - комунікації. Наприклад, він використовує останній стандарт CPRI, низька вартість Coarse або Щільні Wavelength Division Multiplexing (CWDM / DWDM) технології, і mmWave для забезпечення можливості передачі сигналу основної смуги частот на великі відстані, таким чином, досягаючи великомасштабного розгортання централізованої базової станції. Він застосовується останнім часом технології Data Center Network, щоб забезпечити низьку вартість, високу надійність, низьку латентність і високу пропускну здатність мережі межсоединений в BBU. Він використовує відкриті платформи і технологію віртуалізації в режимі реального часу, вкорінені в області хмарних обчислень для досягнення динамічного спільного розподілу ресурсів і підтримки різних виробників, мульти-технологічних середовищ. архітектура має наступні характеристики, які відрізняються від інших стільникових архітектур:

- Великомасштабне централізоване розгортання: Дозволяє сотні тисяч RRHs для підключення до централізованого BBU пулу. Максимальна відстань може бути 20 км в волоконно-оптичній лінії для систем 4G (LTE / LTE-A), і навіть більше відстані (40 км ~ 80 км) для 3G (WCDMA / TD-SCDMA) і 2G (GSM / CDMA) систем . Є повідомлення про те, що деякі оператори Азії мають розгортання систем C-RAN з 1200 RRHs централізовані в один центральний офіс.
- Рідна підтримка технологій Collaborative радіо: Будь-яка BBU може говорити з будь-яким іншим BBU в басейні BBU з дуже високою пропускну здатністю (10 Гбіт / с і вище) і низькою латентністю (рівень 10us). Це забезпечується за допомогою взаємозв'язку ББДА в басейні. Це одне головна відмінність від BBU Hotelling або базової станції Hotelling; в останньому випадку ББД різних базових станцій просто складені разом і не має жодного прямого зв'язку між ними, щоб дозволити фізичній рівень координації.
- Можливості віртуалізації в режимі реального часу на основі відкритої платформи: Це відрізняється від традиційних базових станцій, побудованих на власних апаратних засобів, де програмне забезпечення і апаратні засоби перебувають близько джерелами і надаються окремими постачальниками. На противагу цьому, C-CPD BBU басейн побудований на відкритому обладнанні, наприклад, сервери на базі x86 / ARM процесор і інтерфейс карт, які обробляють волокна посилення на RRHs і взаємозв'язком в басейні. Віртуалізація в реальний час, щоб ресурси в басейні може бути виділені динамічно пакети програмного забезпечення базової станції, скажімо, функціональні модулі 4G / 3G /

2G різних виробників, в залежності від завантаженості мережі. Проте, для задоволення жорстких вимог до тимчасових характеристик бездротових систем зв'язку, продуктивність в реальний час для C-RAN знаходиться на рівні 10s мікросекунд, що на два порядки краще, ніж рівень мілісекунди «реального часу» продуктивності зазвичай спостерігаються в хмарі обчислювальних середовищ.

Архітектура C-RAN складається з трьох основних компонентів:

- (BBU)
- мережі віддалених радіоблоків (RRU)
- транспортна мережа

На рис.12 показаний огляд архітектури C-RAN

Функції копонентів:

- BBU: BBU розташований на централізованому вузлі, такому як хмара або центри обробки даних. Він складається з декількох вузлів BBU, які володіють високими обчислювальними можливостями і можливостями зберігання. Ці BBU відповідають за обробку ресурсів і динамічне виділення їх RRU на основі поточних потреб мережі.
- Мережа RRU: мережа RRU - це бездротова мережа, яка з'єднує бездротові пристрої, як точки доступу або вишки в традиційних стільникових мережах.
- Fronthaul або транспортна мережа. Fronthaul - це рівень з'єднання між BBU і набором RRU, який забезпечує з'єднання з високою пропускнуою здатністю для обробки вимог декількох RRU. Фронтальні перевезення можуть бути реалізовані з використанням різних технологій, які включають волоконно-оптичну зв'язок, стільниковий зв'язок або зв'язок міліметрового діапазону. Оптичне волоконне зв'язок вважається ідеальною в C-RAN, оскільки вона забезпечує найвищі вимоги до пропускнуої здатності. Однак це пов'язано з високими витратами і не вимагає гнучкої реалізації. З іншого боку, стільниковий зв'язок або зв'язок міліметрового діапазону дешевше і простіше в розгортанні. Однак це пов'язано з меншою пропускнуою спроможністю і більшою затримкою в порівнянні з оптичним волокном.

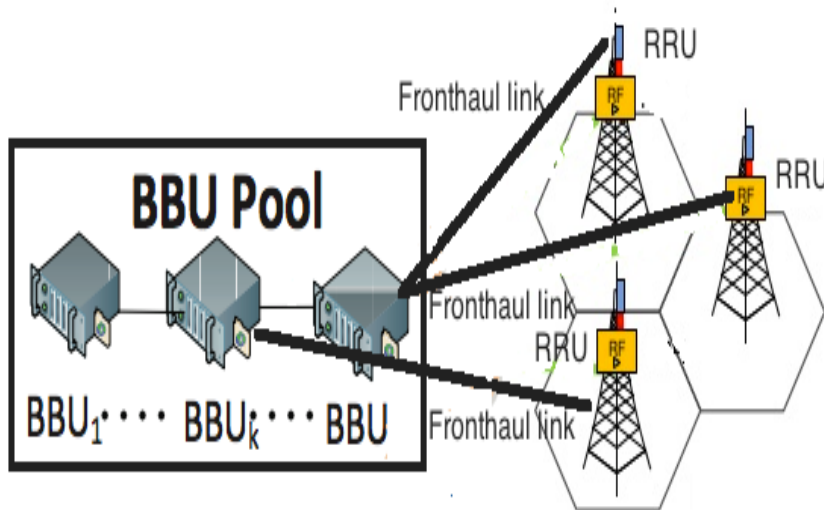


Рис.12 Компоненти архітектури C-RAN

Оскільки очікується, що ресурси будуть спільно використовуватися і віртуалізувати в C-RAN, проблема їх розподілу користувачам стає більш складною і складною.

Висновки

Сучасні базові станції стільникового зв'язку вкрай необхідні для мереж 3G - саме з їх допомогою користувачі отримують доступ не тільки до базової мережі оператора зв'язку, але і можливість поговорити з будь-яким абонентом, у якого є не використовувати телефон фіксованого, мобільного або супутникового зв'язку. Подібні станції стають все більш компактними і вчать економити електроенергію без втрати потужності. Безумовно, їх число з введенням в дію мереж 3G тільки збільшиться, але це суттєво покращить покриття не тільки голосового зв'язку, а й можливість виходити в мережу без проводів.

В останнє десятиліття стався величезний прогрес в області бездротового зв'язку і особливо в області стільникових мереж. Незважаючи на те, що 4G було розгорнуто в багатьох країнах, технологія 3G все ще широко поширена. Проте, потрібно кілька років, щоб повністю перейти на системи 4G. За останні 30 років мобільний зв'язок перетворився зі звичайного примітивного засобу зв'язку у такий, що базується на множині високошвидкісних технологій, які здатні значно полегшити використання інтернету в житті людей. Нові покоління стандартів стільникового зв'язку з'являються доволі часто: 1G (NMT) 1979 рік, 2G (GSM) 1991 рік, 3G (W-CDMA/FOMA) 2001 рік, та 4G (LTE) 2008 рік. Початок впровадження технології 5G в Європі відбудеться до 2020 року, а в Україні через 10 років, а технологія MIMO дозволить використовувати LTE в різних частотних діапазонах.

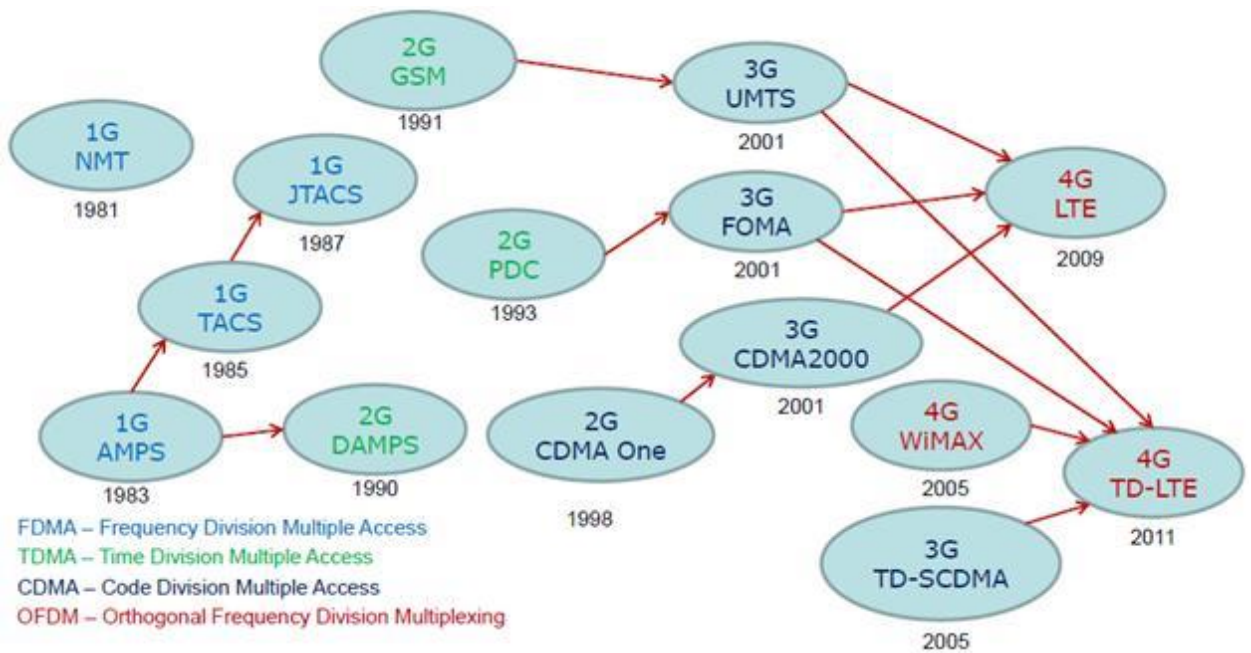


Рис. 13 Еволюція стандартів мобільного зв'язку





ІІ.АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВОГО ЗВ'ЯЗКУ З БЕЗПЛОТНИМИ ЛІТАЛЬНИМИ АПАРАТАМИ

1.Характеристики БПЛА

Бездротовий зв'язок на основі повітряної платформи залежить від:

- а) самого радіочастотного обладнання
- б) фізичного характеристики платформи. З цих причин можливості найбільш підходящих повітряних платформ, доступних для реалізації повітряних мереж.

наведені в таблиці 3.

AERIAL PLATFORM CAPABILITIES	DRONES 	AIRCRAFT 	AIRSHIP 	TETHERED HELIKITE 
High Payload (1-10Kg)	Depends on size	✓	✓	✓
Wide Area Coverage	✓	✓	✓	✓
Moving Coverage	✓	✓	✓	✓
Optimum Altitude	✓	✓	✓	✓
Extreme Duration		✓		✓
Ad-Hoc Network Friendly	✓		✓	✓
Safe for Operators	✓	✓		✓
Low Attrition Rate				✓
Instant Deployment	✓	✓		✓
Operation under Several Types of Weather Conditions		✓		✓
Deployment under Several Types of Weather Conditions		✓		✓
High Technology Security				✓
Small & Easily Handled	✓			Depends on size
Single Person Deployment	✓			✓
Airborne Deployment	✓	✓		
Air Traffic Friendly	Depends on the altitude			✓
Minimal Training				✓
No Fuel Required		Depends on the type	Depends on the type	✓
Good Antenna Placement	Depends on size	✓	✓	✓
Widely Available	✓	✓		✓
Worldwide Operations		✓		✓

Характеристики БПЛА:

Дрони - це особливий тип безпілотних літальних апаратів, які особливо популярні для дистанційного зондування, фотографування і відеоспостереження. Через їхню низьку пропускну здатність, як з точки зору корисного навантаження, так і автономності, вони, як правило, обмежені низькими або навіть дуже низькими висотами (тобто в межах діапазону в кілька сотень метрів). Через свого малого форм-фактора мікродрони можуть піднімати дуже обмежений вага. Зазвичай корисне навантаження варіюється від декількох десятків грамів для мікродронів до 5-7 кілограмів для більших безпілотних літальних апаратів. Через їхню вагу, безпілотники використовують легкі літій-іонні акумулятори, що живлять всю платформу (включаючи рухову установку, телеметрію і корисне навантаження). Таким чином, очікувана автономність безпілотників, як правило, знаходиться в діапазоні від 10 до 40 хвилин, в залежності, в основному, від ємності батареї, режиму мобільності місії і ваги корисного навантаження.

Aircraft

Один з найбільш широко використовуваних безпілотних літальних апаратів в стратосфері - Global Hawk. Global Hawk був розроблений Northrop Grumman для військових США, але також використовується НАСА для цивільного використання, що працює на рідкому паливі, він має значну корисним навантаженням. Zephyr від QinetiQ - це безпілотний літальний апарат на сонячній енергії, здатний залишатися в повітрі протягом декількох днів. Цей літак оснащений батареями, які заряджаються протягом дня з використанням сонячної енергії, а потім ця накопичена енергія використовується протягом ночі, щоб дозволити йому залишатися в повітрі і залишатися нерухомим. Можливості його корисного навантаження вкрай обмежені, як правило, не

більше 1 кг корисного навантаження. Ascenta-Hale - це ще один безпілотний літальний апарат на сонячній енергії, здатний залишатися в повітрі протягом 3 і більше місяців з вантажопідйомністю до 25 кг. В даний час він знаходиться на стадії розробки і призначений як для військових, так і для цивільних застосувань. Ця категорія повітряних платформ володіє такими перевагами, як малопотужні і енергоефективні легкі конструкції з достатньою вантажопідйомністю, зручні інтерфейси, які дозволяють ефективно управляти траєкторією.

дирижаблі

Ці типи БПЛА, які використовують більш легкий газ, щоб плавати в повітрі, класифікуються як аеростатичні платформи. Дирижаблі набагато гнучкіші з точки зору ваги, розміру і споживаної потужності корисного навантаження, в основному тільки в залежності від обсягу оболонки (довжина якої може перевищувати 100 м). Однак чим більший об'єм, тим більше проблеми з утриманням дирижабля в нерухомому стані. Дирижаблі можуть бути і були спроектовані для різних висот. Поки комерційні пілотовані дирижаблі для вантажу або пасажирів зазвичай літають на малих висотах приблизно 200 м, щоб врятувати гелій, безпілотні дирижаблі були спроектовані для польоту майже на 30 км над рівнем землі. Якщо утримання дирижабля в стаціонарному положенні над зоною обслуговування на обраній робочій висоті можна гарантувати за допомогою відповідних електродвигунів і гвинтів, то безпілотні дирижаблі здатні залишатися в повітрі протягом тривалих періодів часу, навіть років. Основний недолік використання дирижаблів в сценарії аварійного відновлення фактично пов'язаний з їх розмірами, які вимагають використання матеріалу оболонки з високою напругою, великого наземного операційного центру та відповідних наземних споруд, включаючи ангари для зберігання і поля для підйому і спуску.

гелікити

Назва Helikite стосується комбінації повітряної кулі з гелієм і повітряного змія, що утворюють єдиний аеродинамічний надійний прив'язний літальний апарат, який використовує для підйому як вітер, так і гелій. Балон зазвичай має сплюснуту сфероїдальну форму. Аеродинамічний ліфт необхідний для боротьби з вітром і дозволяє навіть маленьким гелікитам літати на дуже великих висотах при сильному вітрі, який штовхає прості повітряні кулі на землю. Гелікити - це дуже популярні низькотемпературні аеростатичні платформи, що працюють в декількох типах погодних умов. Тисячі людей експлуатуються по всьому світу, їх несуть як цивільні, так і військові.

2. Аналіз БПЛА

Завдяки своїй високій мобільності та низької вартості безпілотні літальні апарати (БПЛА), також відомі як літаки з дистанційним управлінням, знайшли широке застосування в останні кілька десятиліть. Безпілотні літальні апарати в основному використовувалися в армії, в основному розміщувалися на ворожій території для зменшення втрат. Завдяки

постійному зниженню витрат і мініатюризації пристроїв невеликі безпілотні літальні апарати тепер стали більш доступними для громадськості, і таким чином, з'явилося безліч нових додатків в цивільній і комерційній сферах, з типовими прикладами, включаючи моніторинг погоди, лісові пожежі, пошук і рятування в надзвичайних ситуаціях, ретрансляція зв'язку і т.д.

БПЛА можна в цілому розділити на дві категорії: з фіксованим крилом і крило, яке обертається, кожне з яких має свої сильні і слабкі сторони.

Наприклад, безпілотні літальні апарати з фіксованим крилом зазвичай мають високу швидкість і більш корисне навантаження, але вони повинні підтримувати безупинний поступальний рух, щоб залишатися в повітрі, оскільки вони не підходять для стаціонарних застосувань. Навпаки, безпілотники з обертовим крилом, такі як квадрокоптер, хоча і мають обмежену рухливість і корисне навантаження, здатні рухатися в будь-якому напрямку, а також залишатися в повітрі. Таким чином, вибір БПЛА критично залежить від їх застосувань.

3. бездротового зв'язку за допомогою БПЛА

Використання БПЛА для досягнення високошвидкісного бездротового зв'язку буде відігравати важливу роль в майбутніх системах зв'язку.

Фактично, бездротовий зв'язок за допомогою БПЛА пропонує одне багатообіцяюче рішення для забезпечення бездротового зв'язку для пристроїв без покриття інфраструктури, наприклад, через сильного затінення в міській або гірській місцевості або пошкодження інфраструктури зв'язку, викликаного стихійними лихами.

Крім безпілотних літальних апаратів, одним з альтернативних рішень для бездротового зв'язку є використання висотних платформ (HAP), таких як повітряні кулі, які зазвичай працюють в стратосфері, яка знаходиться на десятки кілометрів над поверхнею Землі. Комунікації на основі HAP мають кілька переваг у порівнянні з низько-висотними платформами (LAP) на базі БПЛА, такі як більш широке охоплення, більш тривалий термін служби. Таким чином, HAP в цілому краще для забезпечення надійного покриття бездротового зв'язку у великій географічній зоні. Однак у порівнянні з комунікаціями на основі HAP або на основі наземних або супутникових систем бездротовий зв'язок з безпілотними літальними апаратами низької висоти (зазвичай на висоті, що не перевищує декількох кілометрів) також має кілька важливих переваг. По-перше, UAS (безпілотні літальні апарати) більш рентабельні і можуть бути розгорнуті набагато швидше, що робить їх особливо придатними для несподіваних або обмежених за часом місій. Крім того, за допомогою БПЛА малої висоти в більшості сценаріїв можуть бути встановлені з'єднання на лінії прямої видимості (LoS), що потенційно призводить до значного поліпшення продуктивності в порівнянні з прямим зв'язком між джерелом і пунктом призначення або HAP ретрансляція міжміських ліній LoS.

Крім того, маневреність безпілотних літальних апаратів відкриває нові можливості для підвищення продуктивності завдяки динамічній налаштуванню стану безпілотного літального апарату в кращу сторону. підходить для середовища спілкування. Крім того, адаптивні комунікації можуть бути розроблені спільно з

Управління мобільністю БПЛА для подальшого поліпшення характеристик зв'язку. Наприклад, коли БПЛА відчуває хороші канали з наземними терміналами, крім передачі з більш високими швидкостями, він також може знизити свою швидкість, щоб підтримувати хорошу бездротовий зв'язок, щоб передавати більше даних на наземні термінали. Ці очевидні переваги роблять бездротовий зв'язок за допомогою БПЛА багатообіцяючим невід'ємним компонентом майбутніх бездротових систем, які повинні підтримувати більш різноманітні додатки зі збільшенням пропускну здатності в порівнянні з існуючими системами. На рис2. показані три типові варіанти використання бездротового зв'язку за допомогою БПЛА, а саме:

- Повсюдне покриття за допомогою БПЛА, де БПЛА розгорнуті, щоб допомогти існуючій інфраструктурі зв'язку в забезпеченні безперешкодного бездротового покриття в обслуговуючій зоні. Двома прикладами сценаріїв є швидке відновлення обслуговування після часткового чи повного зіпсування інфраструктури в результаті стихійних лих і розвантаження базової станції в надзвичайно людних місцях, наприклад, на стадіоні в спортивній події. Останній випадок був наведений як один з п'яти ключових сценаріїв, які повинні ефективно вирішуватися бездротовими системами п'ятого покоління (5G)
- (B) ретрансляція за допомогою БПЛА, де БЛА використовуються для забезпечення бездротового зв'язку між двома або більше віддаленими користувачами або групами користувачів без надійних прямих ліній зв'язку, наприклад, між лінією фронту і командним центром для екстреного реагування.
- (C) Поширення інформації за допомогою БПЛА і збір даних, коли БПЛА відправляються для поширення (або збору) інформації про затримку (від) великої кількості розподілених бездротових пристроїв, наприклад бездротових датчиків в додатках точного землеробства

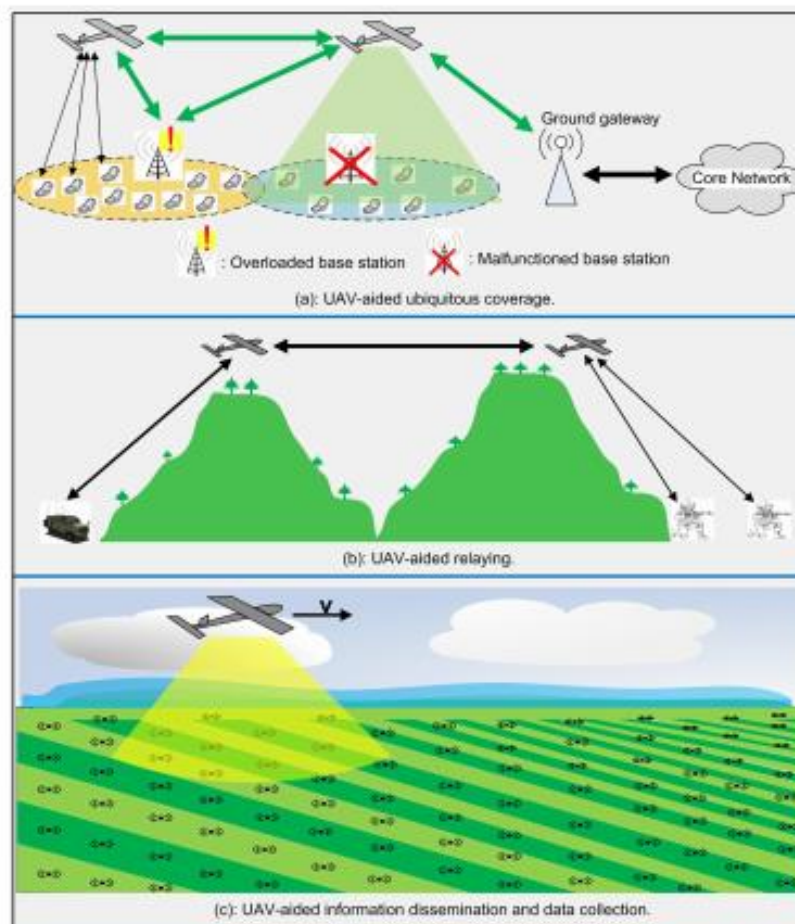


Fig. 1: Three typical use cases of UAV-aided wireless communications.

1

Рис14. Три типові варіанти використання бездротового зв'язку за допомогою БПЛА.

4.Висновки

Незважаючи на багато багатообіцяючі переваги, бездротовий зв'язок з БПЛА також стикається з низкою нових проблем проектування. По-перше, крім звичайних ліній зв'язку, як в наземних системах, в UAS необхідні додаткові лінії управління та зв'язку без навантаження (CNPC-control and non-payload communication) з набагато більш строгими вимогами до затримки і безпеки для підтримки критично важливих для безпеки функцій, таких як управління в реальному часу, зіткнення і запобігання збоїв. Це вимагає більш ефективних механізмів управління ресурсами і безпеки, спеціально розроблених для систем зв'язку БПЛА.

III. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ У ЯКОСТІ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ СТІЛЬНИКОВОЇ СИСТЕМИ РАДІОДОСТУПУ

1. Дрон в якості базових станцій

Традиційні наземні базові станції (БС) можуть не повністю задовольняти високим вимогам надійності та відмовостійкості (отказоустойчивости) сучасних стільникових мереж в безлічі тимчасових або аварійних подій, де наземні інфраструктури можуть працювати зі збоями і мережевий трафік може бути перевантажений. Завдяки останнім досягненням в технології безпілотних літальних апаратів використання бездротових базових станцій (дрон-BS) в бездротовій стільникового зв'язку мережі привернули значну увагу. Для швидкого вирішення для забезпечення бездротового зв'язку, безпілотні BS можуть допомогти стільникових мереж у випадках прискорення відновлення після стихійного лиха, забезпечення підключення в сільських районах і зменшення перевантаження мережі, викликаного надмірним трафіком. На відміну від наземних БС, розташування дрон-БС не є фіксованими.

Дрон - це безпілотний літальний апарат, призначений для польоту або за допомогою дистанційного керування, або автономно з використанням програмно-апаратних засобів і датчиків, таких як GPS. Історично безпілотники використовувалися в основному у військових цілях для розвідувальних цілей, але з недавнім розвитком безпілотних літальних апаратів, що працюють на батареях, з'являється багато цивільних застосувань. дрони можуть бути оснащені обладнанням базової станції і відправлені в певний цільовий регіон негайно без необхідності розгортання будь-якої інфраструктури.

На відміну від наземних базових станцій (БС) дрон-БС можуть бути розгорнуті в будь-якому місці без обмеження наземними умовами руху. Drone-BS повинні бути розгорнуті в місцях де максимальна кількість користувачів може бути охоплено. Транзитна передача дрон-БС може бути досягнута бездротовими каналами зв'язку з будь-якими функціональними ресурсами базової мережі, такими як супутники, прилеглі наземні макро-БС, базові станції.

На жаль, витривалість (час польоту) є однією з найважливіших задач для задіяння дронів-БС. У грудні 2017 року рекорд чотирьох годинник і сорок хвилин в витривалості безпілотника був заявлений європейською компанією-виробником дронів «Кватерніум».

Рис 3 являє собою схему, що представляє деякі варіанти використання дрон-БС в майбутніх мережах. Як показано на малюнку, дрон-БС може допомогти наземній мережі базових станцій для введення пропускну здатності і запобігти тимчасові затори. Може також забезпечити додаткове покриття у віддалених районах або коли наземні базові станції вийшли з ладу через негоду погодні умови, вандалізм, проблеми з передачею і т.д.

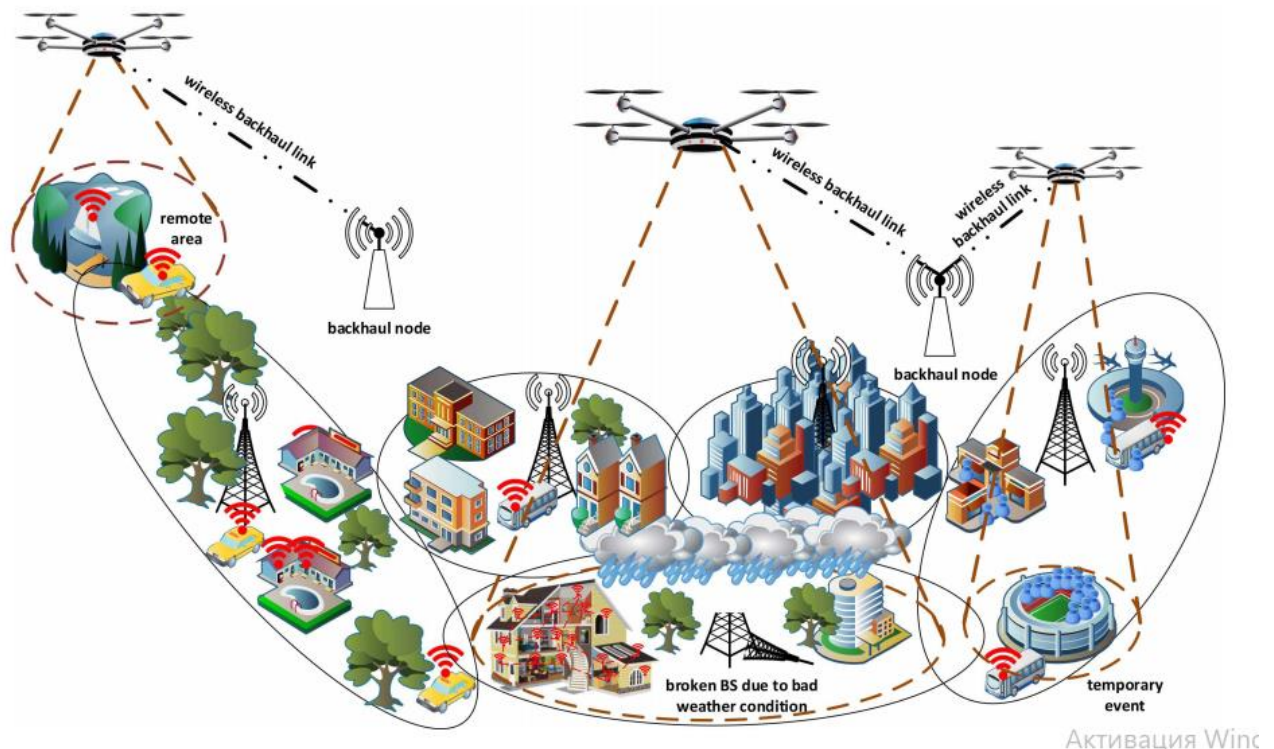


рис.15 Графічна ілюстрація різних варіантів використання для інтеграції дрон-БС в стільниковій мережі.

2.Drone cell

Drone-BS - це безпілотний літальний апарат малої висоти, обладнаний приймачами для надання допомоги бездротових мереж, то drone-cell є відповідною зоною покриття. Розмір соти безпілотного літального апарату змінюється в залежності від висоти, місця, потужності передачі, RAT, антени, спрямованості антени, типу дрона і характеристик навколишнього середовища. Отже, багаторівневі мережі drone cells можуть бути побудовані з використанням декількох типів безпілотних літальних апаратів, які аналогічні наземні мережі HetNet. Багаторівнева архітектура мережі безпілотних осередків, яка допомагає наземним HetNets в декількох випадках, зображена на рис4.

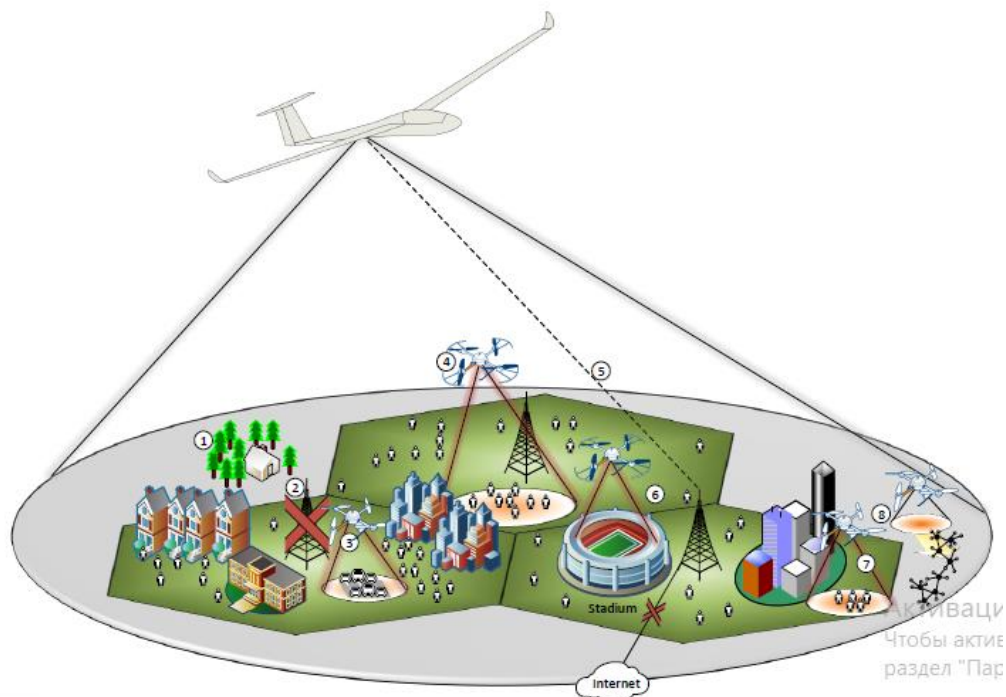


Рис.16: Багаторівневі мережі безпілотних осередків можуть використовуватися для багатьох сценаріїв: 1 - Надання послуг в сільські райони , 2 - Заміна для несправної БС, 3 - Обслуговування користувачів з високою мобільністю, 4 - Допомога в разі перевантаження RAN, 5 - Допомога в разі перевантаження основної мережі або збою в роботі, 6 - Надання додаткових ресурсів для тимчасових подій, наприклад, концертів і спортивних заходів, 7 - Забезпечення покриття для тимчасових сліпих зон, 8 - Скорочення розсіювання енергії сенсорних мереж шляхом їх переміщення.

Drone-cell корисні в сценаріях, які потребують гнучкості та відмовостійкості бездротових мереж, оскільки вони можуть запобігти надмірній розробку. Ці типи сценаріїв можуть бути класифіковані як тимчасові, несподівані і критичні. Як показано в Таблиці I, де перераховані відповідні тестові приклади, залежно від сценарію вигода для мережі від Drone cell варіюється. Наприклад, в сценаріях з пробками, на стадіонах і в умовах Міське густоурбанізована громадськість drone cell може допомогти запобігти несподівану або тимчасову перевантаження в мережі. В якості альтернативи, drone cell можуть підвищити стійкість бездротових мереж, забезпечуючи додаткове покриття.

Тестовий випадок	тимчасовий	Неочікуваний	Критичний
Стадіон	×		
Телепротекція в розумній мережі		×	
Затор	×	×	
Сліпі зони	×	×	
Фестиваль на відкритому повітрі	×		
Екстрений зв'язок	×	×	×
Ефективність та безпека трафіку			×
Міська густоурбанізована громадськість	×		

Масове розгортання сенсорного пристрою	×	×	×
---	---	---	---

Критичні сценарії пред'являють складні вимоги, такі як дуже висока швидкість передачі даних, висока надійність або низьке енергоспоживання. Крім переваг для мережі, забезпечення можливості підключення в деяких з цих сценаріїв важливо для запобігання серйозних втрат, наприклад, шляхом порятунку життів при екстреного зв'язку або збільшення терміну служби датчиків і виконавчих механізмів в важкодоступних місцях. У разі екстреного зв'язку drone cell можуть забезпечувати високу швидкість передачі даних і надійність, особливо в ситуаціях, коли режими бездротового доступу або відсутні, або їх важко встановити. Мобільність drone cell дозволяє їм обслуговувати користувачів з високою мобільністю і швидкістю передачі даних. Для того, щоб змушувати пристрої з низьким енергоспоживанням передавати дані на більш віддалені БС або щільно розгортати drone cell, можна використовувати мобільні приймачі. Drone cell може рухатися до кластерів пристроїв і забезпечувати зв'язок з низьким енергоспоживанням через свою близькість і потенційної можливості прямої видимості (LOS). Зокрема, коли несподівані події викликають значну активність датчиків, дрон клітини можуть знизити загальне навантаження на мережу і збільшити термін служби датчиків.

1.6 Переваги використання дрон клітин

У порівнянні з застарілими BS є дві переваги використання дрон-клітин:

1) З'єднання на лінії прямої видимості (LoS):

у порівнянні з наземними BS drone cells мають більш високу ймовірність підключення наземних користувачів через лінії LoS, що забезпечує високонадійну зв'язок. Ця перевага додатково посилюється функцією мобільності drone cell, який дозволяє 3D-регулювання положення drone cell уникати перешкод між Drone-to-User (D2U). Для ліній Drone-to-BS (D2B), оскільки висота польоту drone cells може бути близька до висоти антен BS, з'єднання D2B, природно, представляють собою LoS з невеликою ймовірністю блокуватися високими будинками.

2) Динамічне розгортання.

На відміну від традиційних БС, які статично закріплені в місцях, дрони можуть бути динамічно розгорнуті відповідно до вимог в реальному часі і розподілені між різними користувачами або контролерами на вимогу. При розгортанні drone cells розглядаються два типи методів управління:

- а. Усі drone cells з'єднуються з відповідними центральними БС, що відповідають за управління розгортанням, що аналогічно архітектурі Cloud-RAN (C-RAN), в той час як функції RRHs виконуються дронами;

б. Рій drone cells утворюють літаючу спеціальну мережу (FANET) і ведуть переговори один з одним, щоб визначити результати розгортання. Цей метод в основному використовується в сценаріях, в яких відсутня інфраструктура, таких як відновлення зв'язку після аварії

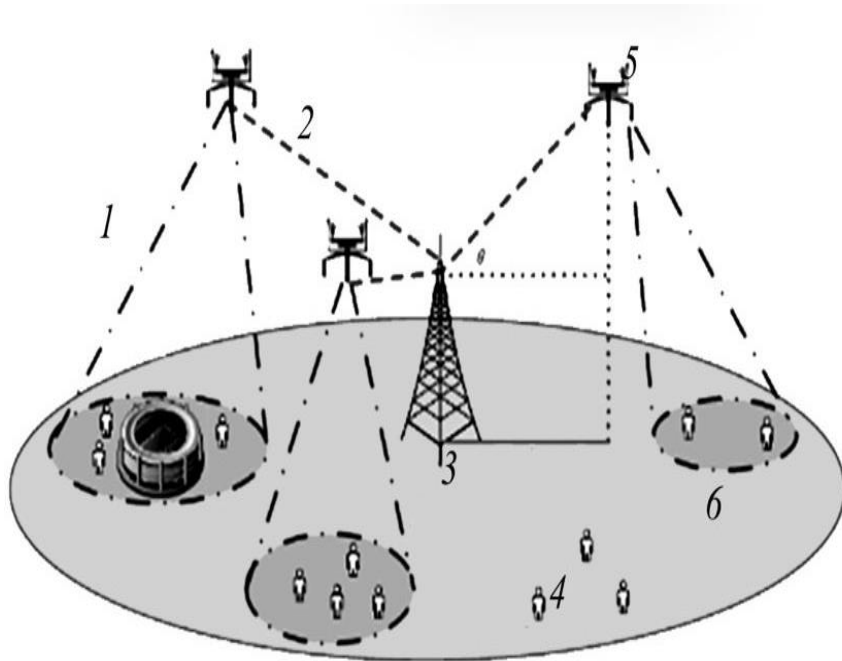


Рис. 1. Формування мережі радіодоступу на базі дронів:
 1 – радіолінія D2U; 2 – радіолінія D2B; 3 – базова станція; 4 – окремі користувачі; 5 – дрон, що формує стільник; 6 – зони покриття (стільники)

На рис. 17 представлено структуру DA-RAN (Drone Assisted Radio Access Network). Дрони виконують функцію повітряних RRH для своїх відповідних BS. Кожна BS розгортає групу дронів стільників для ретрансляції передачі даних в вимогливих областях DA (demanding areas), таких як дірки в зоні покриття або місця вибухового трафіку. Відповідно до просторових і часових варіацій DA, 3D-розгортання дронів стільників може гнучко регулюватися BS, що підвищує здатність RAN справлятися з динамічним трафіком. Двома типами DA є точки розриву трафіку TBS (traffic break points) і отвори покриття (CH- coating holes). DA-RAN включає в себе 3 типи каналів: U2B, D2U і D2B. U2B - це класичні U_p / в RAN без участі дронів. Канали U2B співіснують з лініями D2U і D2B в DA без перешкод для них. D2U з'єднують дрон-клітини і користувачів в DA. Для ослаблення перешкод і залучення додаткових ресурсів для сценаріїв сплеску трафіку очікується, що лінії D2U будуть переноситися з використанням спектра, відмінного від ліцензованих діапазонів U2B. В даний час доступні смуги WiFi, використовувані комерційними продуктами безпілотних літальних апаратів. D2B: Осередки Drone зв'язуються з відповідною BS через лінії D2B. Оскільки всі обміни даними між BS і користувачами, що охоплюються Дронова осередками, передаються по лініях зв'язку D2B, необхідно гарантувати як пропускну здатність, так і надійність ліній зв'язку D2B. Технологія міліметрових хвиль є перспективним рішенням для каналів

D2B. По-перше, зависаючі Дронова осередки можуть підтримувати відносно квазістатична стан для БС протягом інтервалів між сусідніми розгортання, що запобігає часте перенаправлення променя в високодинамічних сценаріях. По-друге, максимальна дальність передачі IEEE 802.11, типовою технології mmWave, розширена до одного кілометра, що досить для зв'язку D2B. Тим часом, протокол MAC для каналів D2B може бути налаштований для підвищення продуктивності.

Висновки

часом за допомогою повітряних базових станцій для підтримки наземної мережі отримали значну увагу. Зокрема, малий стільник, сформований дроном, (DSC) може виступати в якості повітряних базових станцій для підтримки стільникових мереж в умовах підвищеного попиту і перевантаження, або з метою забезпечення громадської безпеки та ліквідації наслідків стихійних лих. Наприклад, в надзвичайних ситуаціях, таких як землетруси або повені, коли деякі наземні базові станції пошкоджені, або під час великих громадських заходів, таких як Олімпійські ігри, де величезні попит на зв'язок, спостерігається, що мережі необхідно надати допомогу, щоб забезпечити необхідну ємність і охоплення. У цих випадках розгортання DSC, що діють в якості базових станцій, є надзвичайно корисна для забезпечення поліпшеної якості обслуговування (QoS) для наземних користувачів.

IV. Оптимальне розгортання DSC в умовах існування перешкод так і в умовах відсутності перешкод

Розглянемо статичний DSC, розташований на висоті h метрів, передає сигнали статичним користувачам на землі. Щоб проаналізувати охоплення такого DSC, необхідно прийняти відповідну модель втрат на трасі, яка підходить для зв'язку повітря-земля. В цьому розділі після подання повітря на землю в каналній моделі визначається оптимальна висота для окремого випадку DSC

1. Модель каналу повітря-земля

наземний приймач приймає три групи сигналів, включаючи LOS, сильно відбиті сигнали (NLOS) і кілька відображених компонентів, які викликають багатопроменеве завмирання. Ці групи можна розглядати окремо з різними можливостями виникнення. Як правило, прийнятий сигнал категоризує тільки в одній зі згаданих груп. Кожна група має певну ймовірність появи, яка є функцією навколишнього середовища, щільності і висоти будівель і кута місця. Імовірність отримання LOS і сильних NLOS-компонентів значно вище, ніж загасання. Тому вплив малого масштабу завмиранням можна знехтувати. Загальним підходом до моделювання каналу поширення повітря до землі є розгляд компонентів LOS і NLOS разом з можливостями їх виникнення окремо. для з'єднань NLOS через ефект затінення і відображення сигналів від перешкод втрати на трасі вище, ніж LOS. Отже, на додаток до

втрат при поширенні у вільному просторі різні надмірні значення втрат в тракті призначаються каналам LOS і NLOS.

На малюнку 1 показаний DSC, розташований на висоті h , і наземні користувачі в радіусі R від точки, що відповідає проекція DSC на землю.

Відстань між DSC і наземним приймачем становить $d = \sqrt{R^2 + h^2}$, а $\theta = \tan^{-1}(h/R)$ вказує кут місця DSC по відношенню до користувача.

Втрата шляху для з'єднань LOS і NLOS:

$$L_{LoS}(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi f c d}{c}\right) + \xi_{LoS}; \quad (1)$$

$$L_{NLoS}(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi f c d}{c}\right) + \xi_{NLoS}; \quad (2)$$

де L_{LoS} і L_{NLoS} - середні втрати на трасі для ліній LOS і NLOS, ξ_{LoS} и ξ_{NLoS} - середні додаткові втрати на втрати при поширенні у вільному просторі, які залежать від середовища, c - швидкість світла, f_c - несуча частота, а d - відстань між DSC і наземним приймачем. Імовірність наявності LOS-з'єднань під кутом місця θ визначається як:

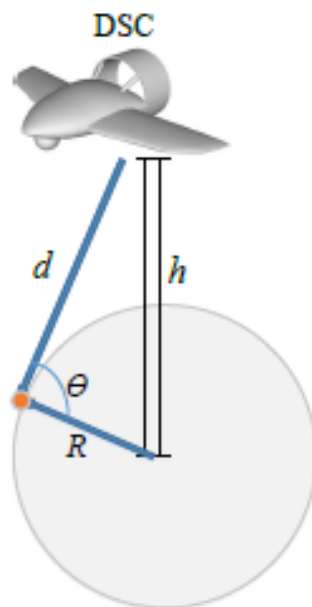


Рис.18 LOS

$$P(\text{LOS}) = \frac{1}{1 + \alpha \exp\left(-\beta \left[\frac{180}{\pi} \theta - \alpha\right]\right)}; \quad (3)$$

де α і β - постійні значення, які залежать від навколишнього середовища (сільська місцевість, місто, густонаселений місто і т. д.). Крім того, ймовірність NLOS становить $P(\text{NLOS}) = 1 - P(\text{LOS})$. Рівняння (3) вказує на те, що ймовірність наявності LOS-з'єднання між повітряною базовою станцією і наземними користувачами є зростаючою функцією кута місця. Іншими словами, за рахунок збільшення кута місця між приймачем і передавачем ефект затінення зменшується, і з високою ймовірністю існує вільний шлях LOS.

Нарешті, середні втрати на трасі як функція висоти DSC і радіусу покриття стають:

$$\bar{L}(R; h) = P(\text{LoS}) \times L\text{LoS} \times P(\text{NLoS}) + L\text{NLoS}; \quad (4)$$

2. Оптимальна висота для одного DSC

мета полягає в тому, щоб вивчити проблему оптимальної висоти для одного DSC, що шукає максимум наземне покриття. Розглянемо DSC, передає свій сигнал з потужністю P_t , тоді отримана потужність записується як

$$P_r(\text{dB}) = P_t - L(R; h). \quad (5)$$

Точка на землі покривається DSC, якщо його ставлення сигнал/шум (SNR) перевищує порогове значення (γ_{th}). це

$$\gamma(R; h) = \frac{P_r}{N} \geq \gamma_{th}; \quad (6)$$

де N - потужність шуму. Очевидно, щоб знайти максимально досяжний радіус покриття, ми повинні мати $\gamma(R; h) = \gamma_{th}$. Для фіксованої потужності передачі оптимальна висота DSC, яка призводить до максимального охоплення, обчислюється шляхом рішення наступного рівняння:

$$\frac{180(\xi\text{NLoS} - \xi\text{LoS})\beta Z}{\pi(Z+1)^2} - \frac{20\mu}{\log(10)} = 0; \quad (7)$$

де $Z = \alpha \exp\left(-\beta \left[\frac{180}{\pi} \tan^{-1}(\mu) - \alpha\right]\right)$ і $\mu = h/R$. Роз'язуючи (7), $\mu_{opt} = h_{opt}/R_{max}$ обчислюється і використовує (5), h_{opt} і R_{max} знайдені. Зверніть увагу, що через обмеження висоти DSC, ми маємо $h \leq h_{max}$ де h_{max} - максимально допустима висота для DSC. Можна показати, що з використанням типових значень параметрів в (4) і (3), $\frac{\partial^2 h}{\partial^2 R} < 0$, що означає, що функція R як функції h є увігнутою функцією. Отже, зона покриття збільшується зі збільшенням висоти до оптимальної точки і після цього зменшується. В результаті, з огляду на обмеження на максимально допустиму висоту, можлива оптимальна висота дорівнює $\hat{h}_{opt} = \min\{h_{max}; h_{opt}\}$. Тепер припустимо, що цільова область, яка повинна бути покрита, зафіксована з радіусом R_c , і мета полягає в тому, щоб знайти оптимальну висоту, де мінімальна потужність передачі потрібно для покриття цільової області.

Похідна потужності передачі по висоті дорівнює:

$$\partial P_t / \partial h = \partial \bar{L}(R_c, h) / \partial h = 0 \rightarrow h_{opt} = \mu_{opt} R_c. \quad (8)$$

Нарешті, з огляду на можливу оптимальну висоту, мінімальна необхідна потужність передачі буде:

$$P_{t, \min}(\text{dB}) = \bar{L}(R_c; \hat{h}_{opt}) + \gamma_{th} N \quad (9)$$

Тепер доведемо, що функція R як функція h не має більше одного локального максимуму. Іншими словами, якщо існує локальний максимум, відповідний h є оптимальною висотою. Ясно, що якщо DSK розгорнуть на оптимальній висоті, він забезпечує максимальну SNR для будь-яких наземних

користувачів. Це еквівалентно мінімальній втраті шляху для користувачів. Розглянемо наземного користувача, розташованого в радіусі R_0 від точки, що відповідає проекції DSC на землю. Середня втрата шляху в місці розташування користувача як функція кута місця може бути записана як:

$$\bar{L}(\theta) = \frac{(\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS})}{1 + \alpha \exp(-\beta [\frac{180}{\pi} \theta - \alpha])} - 20 \log(R_0 \cos(\theta)) + 20 \log(\frac{4\pi f_c d}{c}) \quad (10)$$

Оскільки висота і кут місця безпосередньо пов'язані, оптимальна висота відповідає оптимальному куту місця. Щоб показати, що число локальних мінімальних втрат на трасі як функція кута місця не більше одиниці, ми повинні мати:

Варіант 1.

Якщо в функції втрат на шляху існують локальні мінімуми, то це єдині локальні мінімуми функції.

Доведення:

ми повинні показати, якщо $\frac{\partial \bar{L}(\theta)}{\partial \theta} > 0 \rightarrow$, $\frac{\partial^2 \bar{L}(\theta)}{\partial^2 \theta} > 0$.

$$\frac{\partial \bar{L}(\theta)}{\partial \theta} = \frac{\frac{180}{\pi} (\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS}) Z}{(1+Z)^2} + \tan(\theta)$$

$$\frac{\partial \bar{L}(\theta)}{\partial \theta} > 0 \rightarrow \tan(\theta) > \frac{\frac{180}{\pi} (\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS}) Z}{(1+Z)^2},$$

То,

$$[\tan(\theta)]^2 > \frac{[\frac{180}{\pi} \beta (\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS}) Z]^2}{(1+Z)^4} = \frac{[\frac{180}{\pi} \beta]^2 (\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS}) Z^3}{(1+Z)^4} \times \frac{(\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS})}{Z}$$

$$> \frac{(\alpha) [\frac{180}{\pi} \beta]^2 (\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS}) Z^3}{(1+Z)^4},$$

на завершення,

$$\frac{\partial^2 L(\theta)}{\partial \theta^2} = \frac{-[\frac{180}{\pi} \beta]^2 (\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS}) (Z^3 - Z)}{(1+Z)^4} + \tan^2(\theta) + 1 > 0,$$

Де $Z = \alpha \exp(-\beta [\theta - \alpha])$ заснований на $(\xi \text{LoS} - \xi \text{NLoS}) > Z$

який тримається для типового значення, пов'язані з міським середовищем і кутами місця більше 5 градусів.

Тепер припустимо, що $\theta = \theta_0$ є локальним мінімумом, тоді

$$\left. \frac{d\bar{L}(\theta)}{d\theta} \right|_{\theta=\theta_0^+} > 0 \rightarrow \text{for } \theta > \theta_0 \text{ we have } \frac{\partial^2 L(\theta)}{\partial \theta^2} > 0$$

Відповідно, $\theta = \theta_0$ є єдиним локальним мінімумом і є оптимальним кутом місця.

Знаючи, що втрати на трасі як функція висоти мають тільки один локальний мінімум, оптимальна висота може бути знайдена шляхом збільшення висоти DSC до точки, де втрати на трасі починають збільшуватися.

3.DSC в умовах перешкод, так і в умовах відсутності перешкод.

припускаючи, що два DSC працюють разом в даній області, аналізується оптимальна відстань між ними як в умовах перешкод, так і в умовах відсутності перешкод.

3.1 Два DSC в ситуаціях без перешкод

Далі ми розглянемо два DSC, які використовуються для забезпечення покриття для цільової області. ми розглядаємо цільову область як прямокутник, довжина якого дорівнює a , а ширина - b . Щоб мати максимальне охоплення для цієї цільової області, повинні бути визначені оптимальні значення висоти і відстані DSC. зрозуміло, що для даної цільової області при відсутності перешкод між двома DSC максимальний загальний охоплення виходить, якщо ефективне покриття всередині цільової області, яке забезпечується кожним DSC, максимізує, а перекриття між покриттями DSC мінімально. Ці умови виконуються, якщо кожен DSC знаходиться на своїй оптимальній висоті, і вони розділені, наскільки це можливо, але вони не повинні охоплювати за межами цільової області. В цілому, DSC можуть бути розгорнуті на різній висоті, і вони можуть використовувати іншу потужність передачі.

В результаті вони можуть забезпечити інший радіус покриття \hat{h}_1^0 . На малюнку 19 показано покриття двох DSC, розташованих на їх оптимальних висотах, D - це відстань між двома DSC, R_1^{max} і R_2^{max} відповідає максимальному радіусу покриття для першого і другого DSC, і $O(x; y)$ - початок координат. зони покриття щодо центру цільової зони. Оптимальне розгортання двох DSC при відсутності перешкод можна визначити за допомогою наступного набору рівнянь:

$$\begin{cases} h_1 = \hat{h}_1^{opt}, \\ h_2 = \hat{h}_2^{opt}, \\ (x_1, y_1) = \left(\frac{-a}{2} + R_1^{max}, \frac{-b}{2} + R_1^{max}\right), \\ (x_2, y_2) = \left(\frac{a}{2} - R_2^{max}, \frac{b}{2} - R_2^{max}\right). \end{cases} \quad (11)$$

Де \hat{h}_1^{opt} і \hat{h}_2^{opt} - оптимальна допустима висота для DSC1 і DSC2. (11) визначається шляхом розміщення зон покриття якомога більше роздільним і дотичним до кордонів зони мети. Зверніть увагу, що в цьому випадку цільова

зона більше, ніж зона покриття БПЛА, і в результаті цього зони охоплення будуть знаходитися всередині цільової зони. Використовуючи деякі геометричні властивості для розрахунку загальної площі пересічних кіл, максимальна загальна зона покриття може бути виражена таким чином:

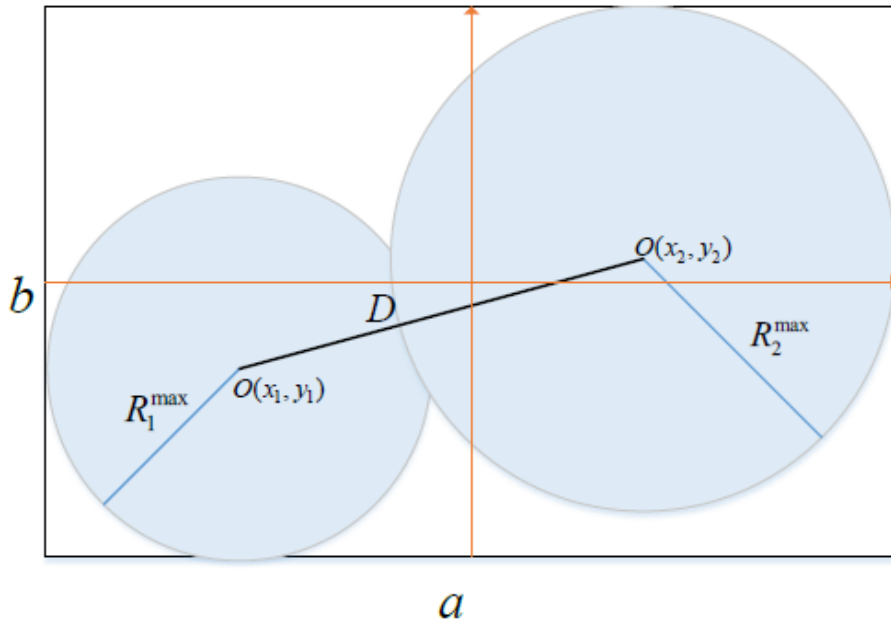


Рис.19: Оптимальне розгортання двох DSC при відсутності перешкод.

$$A_C^{max} = 2\pi[(R_1^{max})^2 + (R_2^{max})^2] - [(R_1^{max})^2 \cos^{-1} \left[\frac{D^2 + (R_1^{max})^2 - (R_2^{max})^2}{2DR_1^{max}} \right] - (R_2^{max})^2 \cos^{-1} \left[\frac{D^2 + (R_2^{max})^2 - (R_1^{max})^2}{2DR_2^{max}} \right] + B, \quad (12)$$

де

$$B = \sqrt{(-D + R_1^{max} + R_2^{max})(D - R_1^{max} + R_2^{max})} \times \sqrt{(D + R_1^{max} - R_2^{max})(D + R_1^{max} + R_2^{max})}.$$

Для особливого випадку, коли два DSC ідентичні, розташовані на одній висоті і використовують однакову потужність передачі, вони мають однаковий

радіус покриття ($R_1^{max} = R_2^{max} = R^{max}$). Тоді (13) зводиться до

$$A_C^{max} = 2\pi(R^{max})^2 - (2R^{max})^2 \cos^{-1} \left(\frac{D}{2R^{max}} \right) + \frac{D}{2} \sqrt{4(R^{max})^2 - D^2},$$

Якщо $D > R_1^{max} + R_2^{max}$, вони не перекриваються, і загальна площа покриття визначається як

$$A_C^{max} = \pi[(R_1^{max})^2 + (R_2^{max})^2]. \quad (14)$$

3.2 Випадок коли два DSC заважають один одному

Далі розглянемо випадок, коли два DSC заважають один одному під час передачі. Така ситуація виникає, коли DSC не справляються однієї і тієї ж системою управління, тому вони можуть використовувати один і той же канал передачі. Крім того, через обмежену кількість доступних каналів в бездротовій мережі DSC можуть передавати по одному і тому ж каналу, що призводить до перешкод. Розглянемо задану цільову область, яка повинна бути покрита двома DSC. Очевидно, що відстань не повинна бути занадто великим, щоб уникнути охоплення небажаної області (за межами цільової області), і воно не повинно бути занадто маленьким через сильного впливу перешкод. Отже, оптимальна відстань між DSC, яке призводить до найбільшого покриття. Малюнок 20 ілюструє два DSC, розділених D .

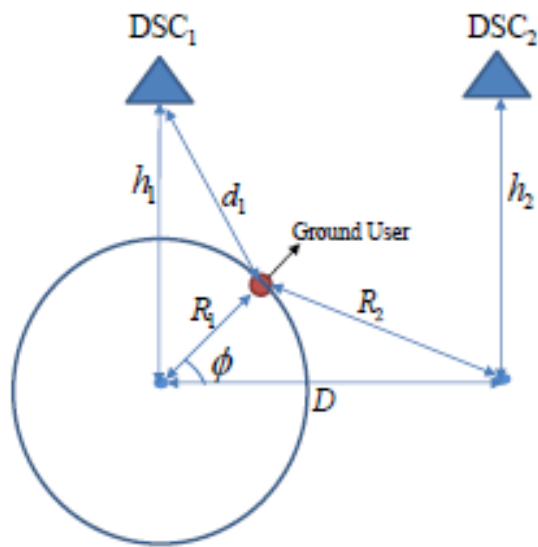


Рис.20 два DSC заважають один одному

Розглянемо наземного користувача в радіусі R_1 і R_2 від проекції DSC1 і DSC2 на землю. ϕ це кут між \vec{R}_1 і \vec{D} . У цьому випадку точка на землі покривається DSC, якщо відношення сигнал/перешкода плюс шум (SINR) більше ніж γ_{th} . Таким чином

$$\gamma(R_1, R_2, h_1, h_2) = \frac{P_{r,1}}{N + P_{r,2}} \geq \gamma_{th} \quad (15)$$

де $P_{r,1}$ і $P_{r,2}$ - потужність, отримана від першого і другого DSC. Враховуючи це $R_2^2 = R_1^2 + D^2 - 2R_1D\cos(\varphi)$ і припускаючи, що DSC мають однакову висоту h , SINR може бути переписано як

$$\gamma(R_1, D, \varphi) = \frac{P_{r,1}}{P_{r,2} + N} \geq \gamma_{th} \quad (16)$$

Очевидно, що для даних значень D і R_1 отриманий конкретний діапазон для φ , який задовольняє вищевказаною нерівності. Тобто для $D = D_0$ і $R = R_0$ діапазон позитивних кутів охоплення дорівнює $\varphi_{\max} \leq \pi$. Зверніть увагу, що, оскільки цільова зона обмежена, ефективний кут покриття знаходиться всередині цільової зони. Отже, верхня межа φ_{\max} не обов'язково π і замінюється на φ_{\max} . Припустимо, що максимальне охоплення для DSC при відсутності перешкод становить R_m . Без втрати спільності ми фіксуємо розташування для DSC2 в $x^2 = \frac{a}{2} - R_m$. Крім того, для простоти ми пропонуємо, що високий DSC і їх потужність передаються фіксовано і ідентично, і єдиний параметр, який може змінитися, є розривом між DSC. Це означає, що це найкраще співвідношення між двома DSC, які приводяться до максимального загального покриття всередині цільової області. Зверніть увагу, що ми фіксуємо позицію одного DSC над цільовою областю, і потім розвертаємо другу DSC на розрив D від першого. Загальна зона покриття виражається як:

$$A_c = A_{c,1} + A_{c,2} = 2 \cdot \int_{R=0}^{R_m} \int_{\varphi=\varphi_{\min}(R)}^{\varphi=\varphi_{\max}(R)} R \cdot dRd\varphi + 2 \cdot \int_{R=0}^{R_m} \int_{\varphi=\varphi_{\min}(R)}^{\varphi=\pi} R \cdot dRd\varphi \quad (17)$$

де $A_{c,1}$ and $A_{c,2}$ - ефективне покриття всередині цільової області, що забезпечує DSC1 и DSC2. Можна показати, що для φ_{\max} DSC1, який може частково покривати для переходу цільової області, розраховується наступним чином:

$$\varphi_{\max}(R) = \cos^{-1} \left(\max \left\{ -1, \frac{D+R_m-a}{R} \right\} \right). \quad (18)$$

оптимальна відстань між DSC:

$$D_{opt} = \operatorname{argmax}\{A_c(D)\}. \quad (19)$$

Потрібно звернути увагу, що хоча більшість аналітичних результатів, показаних у попередніх розділах, мають вираження в закритій формі, в разі двох повністю заважають DSC через залежність SINR від місця розташування наземного користувача вираз в закритій формі для загальної зони покриття не може бути виведеним. У більш загальному випадку DSC

можуть бути розміщені на різних висотах і, отже, вони можуть мати різні характеристики покриття ($A_{C;1} \neq A_{C;2}$).

Загальна покрита площа може бути записана як:

$$A_c = 2 \cdot \int_{R=0}^{R_{m;1}} \int_{\varphi=\varphi_{min,1}(R)}^{\varphi=\varphi_{max,1}(R)} R \cdot dR d\varphi + 2 \cdot \int_{R=0}^{R_{m;2}} \int_{\varphi=\varphi_{min,2}(R)}^{\varphi=\pi} R \cdot dR d\varphi \quad (20)$$

де $R_{m;1}$ і $R_{m;2}$ максимальне покриття для першого і другого DSC при відсутності перешкод, де $\varphi_{min,1}(R)$ і $\varphi_{min,2}(R)$ - мінімальний кут, який для даного R може охоплювати DSC.

У цьому випадку за межами оптимального відстані DSC також повинні бути визначені оптимальні висоти. Для цього потрібно тривимірний пошук по D , h_1 і h_2 . Тоді ми повинні мати

$$(D_{opt}, h_{1,opt}, h_{2,opt}) = \arg \max\{A_c(D, h_1, h_2)\} \quad (21)$$

4. ЧИСЛЕННІ РЕЗУЛЬТАТИ

Припускаючи, що DSC працюють в міських умовах, представлені чисельні і аналітичні результати. У таблиці наведені типові параметри, які використовуються в чисельному аналізі. Зверніть увагу, що значення α і β в (3) залежать від навколишнього середовища і розрізняються, коли DSC працюють в інших районах, таких як густонаселений місто або передмістя. Тут ми розглянемо міську територію і використовуємо відповідні параметри α і β для розрахунку ефекту втрат на трасі.

На малюнку 21 показана мінімальна потужність передачі, необхідна для того, щоб мати певний радіус покриття в залежності від висоти цив. Розгортання DSC на оптимальній висоті мінімізує мінімальну необхідну потужність передачі для покриття цільової області. Фактично, для дуже малих висот через вплив затінення ймовірність LOS-з'єднань між передавачем і приймачем зменшується, і, отже, радіус покриття зменшується. З іншого боку, на дуже великих висотах LOS-посилання існують з великою ймовірністю. Однак через велику відстань між передавачем і приймачем втрати на трасі збільшуються і, отже, ефективність покриття зменшується. Наприклад, оптимальна висота для забезпечення радіусу покриття 500 м при мінімальній споживаній потужності передачі становить 310 м. Крім того, на малюнку 4 ми можемо бачити, що існує тільки один локальний мінімум для потужності передачі в залежності від висоти. Результати на малюнку 21 дають дуже корисні рекомендації щодо мінімізації потужності, що є однією з основних задач при проектуванні мереж цив. На малюнку 21 показано, що зі збільшенням радіуса цільової області збільшуються як оптимальна висота, так і мінімальна потужність передачі, необхідна для покриття цієї області.

Parameters	Value
f_c	2 GHz
ξ_{LoS}	1 dB
ξ_{LoS}	20 dB
$N(200 \text{ KHz bandwidth})$	-120 dBm
α	9.6
β	0.28
length of area (a)	2000 m
γ_{th}	10 dB

Табл. Параметри для аналізу

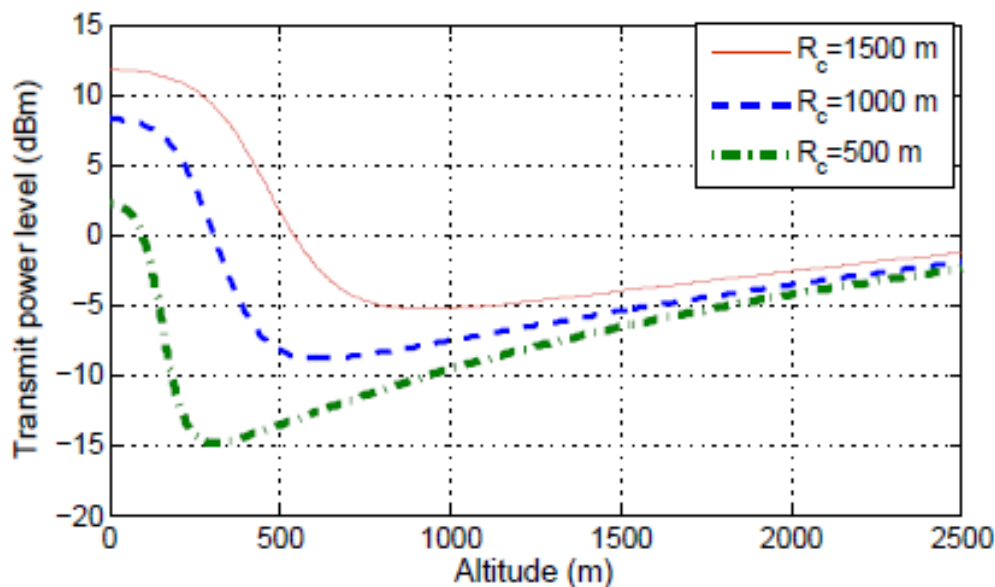


Рис.21 Мінімальна потужність передавача

На малюнку 22 ми показуємо вплив перешкод на характеристики покриття, коли два DSC розташовані на висоті 300 м і відстань поділу 1100 м. Цільова область являє собою прямокутник з $a = 2000 \text{ м}$, $b = 700 \text{ м}$. Загальна зона покриття включає в себе дві частини всередині і за межами цільової області. Зверніть увагу, що ефективна зона покриття є частиною зони покриття всередині цільової зони. На малюнку 5 також показано вплив перешкод між DSC, які створюють дірки між областями покриття, що забезпечуються двома DSC. Щоб максимізувати ефективну зону покриття, відстань між двома DSC має бути правильно відрегульовано таким чином, щоб перешкоди між DSC були не є високою, в той час як область покриття за межами цільової області мінімізована.

На малюнку 6 показано ставлення ефективної зони охоплення до цільової зони, яке може бути досягнуто з використанням двох DSC для різних значень D . При наявності перешкод для високих значень D , хоча поділ DSC досить для пом'якшення впливу перешкод, вони в основному забезпечують покриття за межами цільової області, що небажано. З іншого боку, якщо DSC знаходяться дуже близько один до одного, перешкоди між ними значно знижують загальну ефективність покриття. Як показано на малюнку 6, існує

оптимальна відстань розносу між двома цив, що забезпечує максимальне охоплення як в разі перешкод, так і в разі перешкод, і становить близько 1100 м і 900 м відповідно. У ситуації відсутності перешкод, як і очікувалося, загальний охоплення вище, а оптимальна відстань рознесення менше, ніж в разі перешкод. Причина в тому, що при відсутності перешкод ми можемо зменшити відстань розносу цив, не втрачаючи якості покриття, яке може виникати при наявності перешкод.

На малюнку 7 ми показуємо оптимальна відстань поділу DSC як функцію довжини цільової області. Згідно фіг.7, оптимальна відстань між DSC майже лінійно збільшується в залежності від розміру області. Наприклад, коли довжина цільової області змінюється з 1800 м до 2400 м, оптимальна відстань між DSC збільшується з 1000 м до 1350 м. Фактично, щоб уникнути перешкод між DSC, ми повинні використовувати їх як можна більш роздільно, але все ще всередині цільової області. Це можна інтерпретувати як масштабування відстані між DSC разом з цільовою областю.

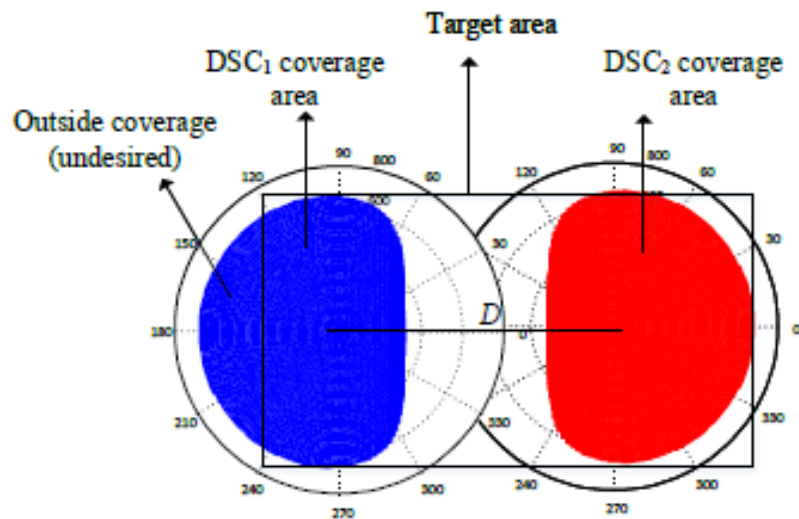


Fig. 5: Coverage performance of two DSCs in the presence of interference.

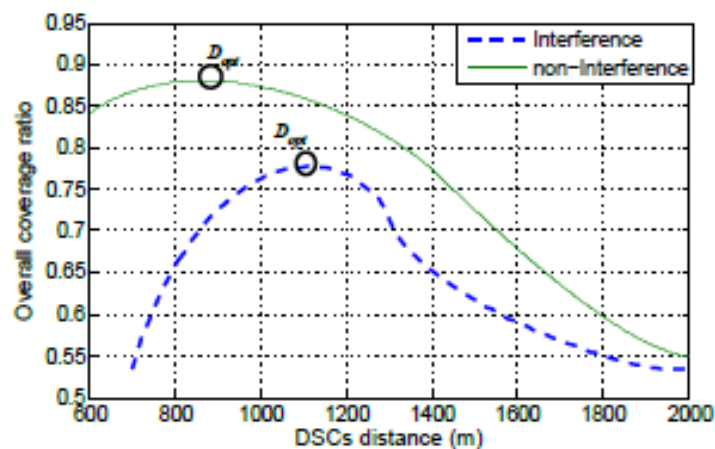


Fig. 6: Overall coverage ratio versus DSCs separation distance.

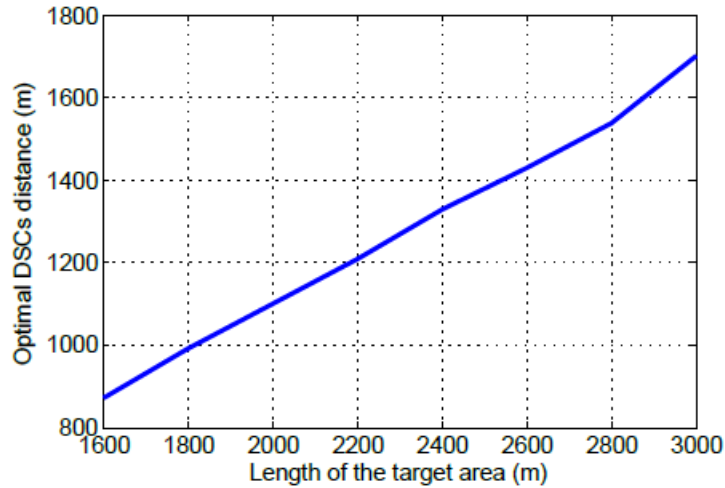


Fig. 7: Optimal DSCs distance versus length of target area.

Рис.24

5.ВИСНОВКИ

У цій статті ми вивчили характеристики покриття цив, які виступають в якості базових станцій на низькій висоті платформи. По-перше, було оцінено вплив висоти DSC на наземне покриття низхідній лінії зв'язку, і були визначені оптимальні значення висоти, які призводять до максимального покриття і мінімальної необхідної потужності передачі. Далі, з огляду на ситуацію без перешкод і з огляду на цільову область, що підлягає покриттю, було представлено оптимальне розгортання для двох DSC з точки зору висоти і відстані між ними. При наявності повних перешкод між двома DSC була розроблена зона покриття. Результати показали існування оптимального відстані розносу DSC, яке забезпечує максимальне покриття для даної цільової області. Результати, представлені в документі, дають можливість розглянути більш загальні випадки з великою кількістю DSC.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Покоління мереж стільникового зв'язку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://all-spares.ua/ru/articles-and-video/what-are-1g-2g-3g-etc.-mobile-networks.html>.
2. Покоління мереж стільникового зв'язку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://1234g.ru/1g/chto-takoe-pokolenie-setej-sotovoj-svyazi>.
3. 1G, 2G, 3G, 4G [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://support.chinavasion.com/index.php?Knowledgebase/Article/View/284/42/1g-2g-3g-4g---the-evolution-of-wireless-generations>.
4. стандарти чотирьох поколінь стільникового зв'язку: [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: 1G, 2G, 3G, 4G [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://support.chinavasion.com/index.php?Knowledgebase/Article/View/284/42/1g-2g-3g-4g---the-evolution-of-wireless-generations..>
5. Wireless Telecommunications Systems and Networks / Gary J. Mullett..
6. Технологія 4G WiMAX [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.getwifi.ru/p_wimax.html.
7. Cellular Base Stations [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.tnuda.org.il/en/physics-radiation/radio-frequency-rf-radiation/cellular-base-stations-%E2%80%93-cellular-sites>.
8. «Wireless Communications with Unmanned Aerial Vehicles» / Yong Zeng Rui Zhang, and Teng Joon Lim
9. «Drone Small Cells in the Clouds: Design, Deployment and Performance Analysis» Mohammad Mozaffari, Walid Saad, Mehdi Bennis and Merouane Deb
10. The New Frontier in RAN Heterogeneity: Multi-tier Drone-Cells/Irem Bor-Yaliniz
11. C-RAN [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-16/ftp/cloudran/index.html>.
12. RAN [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://ru.qwe.wiki/wiki/Radio_Access_Network.
13. Designing and Implementing Future Aerial Communication Networks / Sathyanarayanan Chandrasekharan ;., 2018. – 34 с.