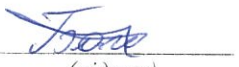
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Метод використання БПЛА для збільшення зони покриття 5G-базових станцій»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело


(підпис) Богдан МАКАРОВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-62
Богдан МАКАРОВ

Керівник: Анатолій МАКАРЕНКО

Рецензент: Ганна Гринкевич

Київ – 2023

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
« » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Макарову Богдану Олеговичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод використання БПЛА для збільшення зони покриття 5G-базових станцій»,
керівник кваліфікаційної роботи Анатолій МАКАРЕНКО, д.т.н., професор,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 19.10.2023 р. №145.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Технології мобільного зв'язку 5 покоління.
   2. Безпілотні літальні апарати.
   3. Інтегрована мережа розподілу та доступу.
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Стан проблеми застосування БПЛА.
   2. Заплановані та поточні заходи 3GPP, що сприяють застосуванню БПЛА.
   3. Ключові переваги та недоліки БПЛА.
   4. Результати виконаної роботи та моделювання.
   5. Числові результати та їх аналіз.

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація.

6. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Підбір науково-технічної літератури	19.10.23	Викон.
2.	Стан проблеми застосування БПЛА	31.10.23	Викон.
3.	Заплановані та поточні заходи 3GPP, що сприяють застосуванню БПЛА	15.11.23	Викон.
4.	Ключові переваги та недоліки БПЛА	29.11.23	Викон.
5.	Результати виконаної роботи та моделювання. Числові результати та їх аналіз	07.12.23	Викон.
6.	Висновки, вступ, реферат	11.12.23	Викон.
7.	Розробка презентації	18.12.23	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Богдан МАКАРОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій МАКАРЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 75 стор., 27 рис., 3 табл., 35 дж.

Мета роботи – розробка методики розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА.

Об'єктом дослідження - процес мобільного зв'язку п'ятого покоління.

Предметом дослідження - методика розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА.

Короткий зміст роботи: В роботі розглянуто останні досягнення 3GPP, що стоять за проектом інтегрованого доступу та зворотного зв'язку, підтримки базових станцій БПЛА та функцією радіопередачі mmWave. Проведено порівняння статичних та мобільних варіантів зв'язку на основі БПЛА за практичних припущень щодо компонування системи mmWave, мобільності та кластеризації користувачів, геометрії антенної решітки та динамічного зворотного зв'язку. Зроблено висновок, що використання мобільності БПЛА для обслуговування 5G користувачів може поліпшити загальну продуктивність системи навіть за наявності обмежень на пропускну здатність.

Представлено імітаційне моделювання, системна модель методики розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА. Наведено експериментальні результати шляхом порівняння статичних та динамічних IAB-рішень за реальних підходів до розгортання мереж.

Запропоновано надійний підхід до оптимізації позицій БПЛА на основі mmWave з можливостями IAB. Методика може використовуватися операторами мережі для підвищення загальної продуктивності системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: 3GPP, 5G, ЗА МЕЖАМИ 5G (B5G), БПЛА, ДРОН, MMWAVE, ДОСТУП, МЕРЕЖА РОЗПОДІЛУ, NEW RADIO (NR), INTEGRATED ACCESS AND BACKHAUL (IAB), МЕТОД РОЮ ЧАТИН (PSO)

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 75 pages, 27 pictures, 3 table, 35 sources.

The purpose of the work - development of a methodology for calculating the increase in the coverage area of 5G base stations using UAVs.

Object of research – fifth generation mobile communication process.

Subject of research – method of calculating the increase in the coverage area of 5G base stations using UAVs.

Summary of the work: The work examines the latest achievements of 3GPP behind the project of integrated access and feedback, support of UAV base stations and mmWave radio transmission function. A comparison of static and mobile UAV-based communication options is made under practical assumptions regarding mmWave system layout, user mobility and clustering, antenna array geometry, and dynamic feedback. It is concluded that using UAV mobility to serve 5G users can improve overall system performance even in the presence of bandwidth limitations.

A simulation model, a system model of the calculation method for increasing the coverage area of 5G base stations using UAVs is presented. Experimental results are presented by comparing static and dynamic IAB solutions for real approaches to network deployment.

A robust mmWave-based UAV position optimization approach with IAB capabilities is proposed. The technique can be used by network operators to improve overall system performance.

KEYWORDS: 3GPP, 5G, BEYOND 5G (B5G), UAV, DRONE, MMWAVE, ACCESS, DISTRIBUTION NETWORK, NEW RADIO (NR), INTEGRATED ACCESS AND BACKHAUL (IAB), ROY CHATIN METHOD (PSO)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня магістра

Направляється здобувач Макаров Б.О. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 172 Телекомунікації та радіотехніка
освітньо-професійної програми Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

на тему: Метод використання БПЛА для збільшення зони покриття 5G-базових станцій

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Макаров Богдан Олегович показав гарну теоретичну та інженерну підготовку, уміння володіти технологіями нового покоління, вміло працювати з програмно-апаратними засобами мобільного зв'язку, довідковою і науково-технічною літературою. Працюючи над завданнями, які доручались керівником, проявив ініціативність, сумлінність та хист до інженерної роботи.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу Макарова Богдана Олеговича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Анатолій МАКАРЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

“ ” _____ 2023 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Макаров Б.О.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувачка кафедри
Мобільних та відеоінформаційних технологій _____ Наталія РУДЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

“ ” _____ 2023 року

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Макарова Богдана Олеговича

на тему: «Метод використання БПЛА для збільшення зони покриття 5G-базових станцій»

Актуальність:

Сучасні провайдери мобільного зв'язку, такі як Verizon і Deutsche Telekom, все більше звертають уваги на безпілотні літальні апарати для збільшення покриття базових 5G-станцій. З затвердженням Кабінетом Міністрів в листопаді 2020 р. Плану розвитку технології 5G в Україні з'являються перспектив ефективного і швидкого запровадження даної технології поза густонаселеними районами.

Тому, дослідження, проектування та тестування запропонованих рішень, є актуальними і своєчасними.

Позитивні сторони:

Робота дозволяє досить повно оцінити загальну характеристику, сутність та структуру поставленої проблеми. Дається чітке визначення мети, об'єкту та предмету дослідження.

Робота викладена науковою мовою, логічно й послідовно відбиває мету та поставлені в роботі завдання. Пояснювальна записка відповідає стандартам до її оформлення.

Недоліки:

1. В роботі не достатньо приділено уваги точності позиціонування БПЛА в умовах завад.
2. В роботі не показано чи застосовано методи машинного навчання при побудові системи БПЛА - базова станція. Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Макаров Богдан Олегович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з телекомунікацій та радіотехніки».

Рецензент: д.т.н., доцент — *(науковий ступінь, вчене звання)*; *(підпис)*; Г. Гринкевич — *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ 9
ВСТУП 11
1 СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА 13
1.1 Комерційне застосування БПЛА 13
1.2 Бездротові мережі з підтримкою БПЛА 15
1.3 Сфера застосування 19
2 ЗАПЛАНОВАНІ ТА ПОТОЧНІ ЗАХОДИ 3GPP, ЩО СПРИЯЮТЬ ЗАСТОСУВАННЮ БПЛА 21
2.1 Мобільні стільникові покоління та концепція випусків 3GPP 21
2.2 Підтримка БПЛА 22
2.3 Технологія IAB 25
2.4 NR ретрансляція 28
3 КЛЮЧОВІ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ БПЛА 31
3.1 Основні переваги зв'язку БПЛА на основі mmWave 31
3.2 Втрата шляху та ослаблення атмосфери 32
3.3 Ефект блокування 35
3.4 Розбіжність променя 37
3.5 Особливості розгортання IAB 39
4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАНОЇ РОБОТИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ 43
4.1 Макет мережі 43
4.2 Моделі мобільності користувачів 45
4.3 Оптимізація Particle Swarm Optimization 47
5 ЧИСЛОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ 53
5.1 Виконання сценаріїв перевірки 53
5.2 Виконання БПЛА на основі IAB систем 57
ВИСНОВКИ 70
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 72
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

3GPP - The 3rd Generation Partnership Project

4G - 4th Generation

5G - 5th Generation

ALO - Airborne LTE Operations

AP - Access Point

B5G - Beyond 5G

BS - Base Station

COW - Cell on Wings

CP - Control Plane

DL - Downlink. Data transmission from BS to UEs

E-UTRA - Evolved Universal Mobile Telecommunications System Terrestrial Radio Access

EPC - Evolved Packet Core. LTE core network

FANET - Flying Ad hoc Network

gNB - gNode B (supporting NR and connectivity to NGC)

IAB - Integrated Access and Backhaul

IoD - Internet of Drones

LOS - Line-Of-Sight

LTE - Long Term Evolution. Wireless cellular standard of 4th generation

MAC - The Media Access Control. It is one of the two sublayers that make the Data Link Layer of the OSI model

MIMO - Multiple-Input and Multiple-Output

mmWave - Millimeter-wave. Millimeter-wave is the band of spectrum between 30 GHz and 300 GHz

NGC - Next Generation Core Network

NLOS - Non-Line-Of-Sight

NOMA - Non-Orthogonal Multiple Access

NR - New Radio

NSA - Non-Stand-Alone

OPEX - Operating expenses. An operating expense is an expense a business incurs through its normal business operations

PHY - Physical layer which refers to the implementation of physical layer functions

PSO - Particle Swarm Optimization

QoE - Quality of Experience

RAN - Radio Access Network. Element of a cellular network, main purpose of it is to provide connection to users

RPGM - Reference Point Group Mobility

SA - Stand-Alone

SLS - System-Level Simulator. Simulator, which emulates the network environment

SNR - Signal-to-Noise Ratio

TR - Technical Report

TS - Technical Specification

UAV - Unmanned Aerial Vehicle

UE - User Equipment. Mobile user device used for communication

UL - Uplink. Data transmission from UEs to BS

UP - User Plane

VLOS - Visual-Line-Of-Sight

ВСТУП

Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) на частотах міліметрових хвиль для забезпечення радіодоступу на вимогу є перспективним підходом для поліпшення пропускної спроможності та покриття в системах поза 5G (B5G). Існує кілька аспектів проектування, на які слід звернути увагу при оптимізації розгортання таких базових станцій БПЛА. Оскільки попит на трафік мобільних користувачів змінюється залежно від часу та простору, динамічні алгоритми, які відповідно регулюють розташування БПЛА, необхідні для максимізації продуктивності. На додаток до ретельного відстеження просторово-часової активності користувачів/трафіку, така оптимізація повинна враховувати реалістичні обмеження зворотного зв'язку. У цій роботі спочатку розглядаються останні дії 3GPP за інтегрованим доступом та конструкція системи зворотного зв'язку, підтримка базових станцій БПЛА та функція радіопередачі mmWave. Потім порівнюються статичні та мобільні варіанти зв'язку на основі БПЛА за практичних припущень щодо компонування системи mmWave, мобільності та кластеризації користувачів, геометрії антенної решітки та динамічного зворотного зв'язку. Демонструється, що використання мобільності БПЛА для обслуговування мобільних користувачів може поліпшити загальну продуктивність системи навіть за наявності обмежень на пропускну здатність. Характеризуються ці досягнення для важливих параметрів системи та порівнюються отримані результати з результатами для розгортання статичної мережі.

Використання БПЛА пропонує кілька переваг, включаючи економічну ефективність, безпеку та ефективність. БПЛА часто є більш економічно ефективними, ніж традиційні пілотовані літальні апарати, оскільки вони не потребують людини-пілота та ними можна керувати дистанційно.

Однією з головних проблем є юридичні та етичні міркування, зокрема проблеми з конфіденційністю та потенційне зловживання. БПЛА можна

використовувати для спостереження, що викликає занепокоєння щодо конфіденційності осіб, за якими можна стежити без їхньої згоди.

БПЛА пройшли довгий шлях з моменту їх раннього розвитку для військових цілей. Розвиток технологій значно покращив можливості БПЛА, і зараз існує кілька типів БПЛА для різноманітних застосувань.

Мета роботи. Розробка методики розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА.

Об'єктом дослідження є процес мобільного зв'язку п'ятого покоління.

Предметом дослідження є методика розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА.

Методи досліджень. Для досягнення поставлених цілей в магістерській роботі використано: методи теорії інформації та передавання сигналів; методи теорії розповсюдження електромагнітних хвиль; методи комп'ютерного моделювання; математичної статистики.

1 СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАСТОСУВАННЯ БПЛА

1.1 Комерційне застосування БПЛА

Безпілотні літальні апарати (БПЛА), широко відомі як безпілотні літальні апарати, з їх необмеженою тривимірною (3D) мобільністю та автономними можливостями світла стають популярними в різних додатках. Привабливі програми БПЛА для операторів мобільного зв'язку включають, наприклад, логістику, аварійні служби, інспекції, бездротові зв'язки в регіонах, що постраждали внаслідок катастрофи, та ущільнення мережі під час тимчасових масових заходів.

На сьогодні комерційні програми БПЛА обіцяють різноманітні можливості та переваги для споживачів. Наприклад, у сільському господарстві БПЛА можуть використовуватися для інспекцій, спостерігаючи за станом визрівання врожаю, а також у логістиці як інструмент для обприскування врожаю. Крім того, багатьом компаніям необхідно перевірити властивості, які є важкодоступними або недоступними через загрозу безпеки. Тому одним із перших комерційних застосувань процвітаючих технологій БПЛА були інспекції приміщень. В цьому випадку візуально-лінії прямої видимості контролю БПЛА можна швидко замінити при необхідності. Без БПЛА огляд цих будівель повинен виконуватися вручну, що може коштувати дорого, оскільки для цього потрібні досвідчені працівники, професійні засоби та обладнання. Навпаки, використання БПЛА знижує вартість, витрати та ризик життя людей у небезпечних районах. Як правило, БПЛА мають відеокамеру (рис. 1.1) та, можливо, інші датчики. За сучасних рішень дані, зібрані БПЛА, або передаються на наземний пристрій управління, або зберігаються в БПЛА для подальшого пошуку.

Залучення БПЛА приділяло значну увагу з боку підприємств та спільнот з пошуку. Сьогодні підприємства використовують БПЛА для обробки послуг, які

потрібно виконувати точно і з обережністю. Одним із напрямів розвитку БПЛА є транспорт та логістика. Цей варіант використання використовує можливість БПЛА швидко і легко змінювати своє місце розташування між двома точками, не перериваючись обмеженнями на землі. Виняток можуть становити, наприклад, заборонені для польоту зони, такі як аеропорти, в'язниці та військові відділи. БПЛА може перевозити вантаж до місця призначення як інструмент доставки. У цьому контексті комерційне використання БПЛА в галузі доставки підвищує ефективність, знижує витрати та покращує досвід клієнта з потенційно рятувальними перевагами в різних сценаріях. БПЛА ефективно вирішують дорогу проблему останньої милі, надсилаючи поставки по містах або у віддалені райони.

Використання БПЛА надає можливість доставки на вимогу та в той же день, а також можливість уникнути обмежень традиційної логістики, таких як затримка на дорозі. За останні роки численні компанії аналізували використання БПЛА. Наприклад, Швейцарська пошта безпечно здійснила в Швейцарії понад 3000 доставки медичних послуг [2]. Крім того, ДБЖ, співпрацюючи з аварійною компанією, протестував БПЛА на випадок надзвичайних ситуацій на вимогу. Більше того, вони продовжили ці випробування та створили повну систему доставки медичних зразків у Північній Каролині, США [3]. Одним з найбільш визначних проектів застосування БПЛА є проект Google "Крило". У ньому беруть участь БПЛА, які можуть перевозити великі предмети доставки. Проект «Крило» став першою компанією БПЛА в США, яка отримала урядовий дозвіл на доставку товарів [4]. На сьогодні нормативні документи БПЛА не дозволяють здійснювати польоти над людьми та деякими районами міст, що обмежує операції. Тим не менше, правила стають менш суворими для підприємств, що використовують БПЛА.

Наступним перспективним випадком використання є нагляд. БПЛА для спостереження використовуються багатьма державними організаціями для виявлення злочинців, а також вони використовуються екологічними агенціями

для управління природними подіями та загрозами. Вони можуть виявляти та забезпечувати раннє попередження про пожежі, повені, дорожньо-транспортні зіткнення, розливи нафти та інші випадки. Крім того, БПЛА може бути корисним в разі стихійних лих, таких як шторми Microsoft, сильний сніг, повені, землетруси. Такі надзвичайні ситуації можуть перервати комунікаційну інфраструктуру, залишивши постраждалу зону ізольованою. За цих обставин БПЛА можуть використовуватися для збору інформації в реальному часі про масштаби катастрофи. Крім того, маючи швидку та коректну інформацію, це допомагає ефективно розподіляти постачальників допомоги на найбільш потрібні сайти.

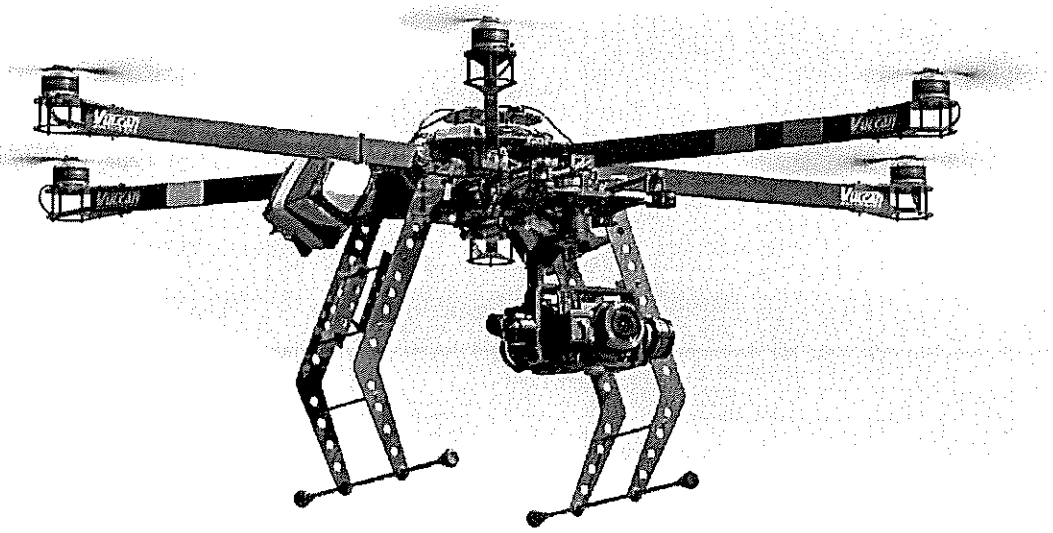


Рис. 1.1. Безпілотний літальний апарат

1.2 Бездротові мережі з підтримкою БПЛА

Телекомунікаційний сектор є одним із тих, хто виграє від активного використання БПЛА [6, 7]. БПЛА, що виконують роль носіїв базових станцій (БС), названі в цій роботі БЛА-БС, останнім часом викликають підвищений інтерес з боку академічного та промислового співтовариства [8, 9]. Це частково для задоволення жорстких вимог щодо продуктивності, пов'язаних із повсюдним

охопленням, наприклад, під час короткочасних та спонтанних подій з метою стратегічного ущільнення мережі [10, 11, 12]. Тут використання звичайних BS може призвести до неоптимального використання радіоресурсів. Отже, альтернативне рішення для обслуговування деяких користувачів БПЛА-БС може збільшити пропускну спроможність та підвищити ефективність використання ресурсів [13]. Особливий інтерес привертають БПЛА, оснащені новим радіо (NG) п'ятого покоління (5G), які здатні підтримувати велику кількість користувачів, одночасно задовольняючи бажані вимоги до швидкості передачі даних та затримки [14]. Розміщення в повітрі розглядалося як альтернатива забезпеченню універсального стільникового доступу від літаючої камери до наземних користувачів у необхідних районах під час тимчасових та великих публічних заходів.

Слідуючи тенденціям та практичним вимогам, відомі високотехнологічні промислові спільноти вже ініціювали кілька програм із залучення БПЛА. Наприклад, літаюча камера Nokia Bell Labs дозволяє забезпечити додаткову ємність і покриття, що означає, що літаюча мала комірка може бути розгорнута універсально (рис. 1.2). Далі AT&T розробила літаючу камеру на крилах (COW), яка може забезпечити додаткове покриття Інтернету. Крім того, проект Verizon під назвою Airborne LTE Operations (ALO) почав сприяти бездротовому з'єднанню віддалених мобільних користувачів. Крім того, проект Facebook із використанням БПЛА на сонячних батареях може забезпечити доступ до Інтернету до важкодоступних областей. Ще однією сферою інтересу для використання БПЛА є мобільні ретранслятори. Мобільні ретранслятори здатні забезпечити бездротове підключення користувачів без їх прямих ліній передачі до БС. Посилання можуть бути заблоковані будь-якими фізичними проблемами, такими як будівлі або дерева. У цьому випадку сценарій БПЛА може передавати трафік даних від джерела до пункту призначення з метою досягнення більшої пропускної здатності системи.



Рис. 1.2. БПЛА, що виступає в ролі перевізника БС

З огляду на це, різні особливості БПЛА необхідні для встановлення багаторівневої структури для перспективних розгортань БПЛА. Ці особливості, в основному, є аеродинамічними характеристиками, які включають висоту польоту, економію енергії, максимально дозволене корисне навантаження, максимальний час польоту тощо. Беручи до уваги ці обмеження, було також запропоновано, що координація та взаємодія декількох БПЛА можуть становити політ спеціальні мережі (FANET), Інтернет безпілотників (IoD) і навіть рій БПЛА, подібних до птахів (рис. 1.3). Передбачається, що використання безлічі БПЛА потенційно може принести багато переваг стільниковій мережі 5G, наприклад, краща якість досвіду (QoE) та вища спектральна ефективність.

Можна спостерігати, що різні випадки використання БПЛА значно вплинули на бездротову мережу. Мережева стратегія, яка застосовуватиметься в безлічі БПЛА, викликала підвищений інтерес як з боку дослідницького співтовариства, так і з боку промисловості. Крім того, існують і інші типові

випадки використання бездротових мереж із підтримкою БПЛА. Варто звернути увагу на такі програми: бездротові сенсорні мережі [16], бездротові мережеві мережі [17], бездротові мережі з живленням [18], кешування бездротових мереж, що підтримуються БПЛА [19], мобільні обчислювальні пристрої [20], пристрої до пристрою (D2D) зв'язку [21] тощо.

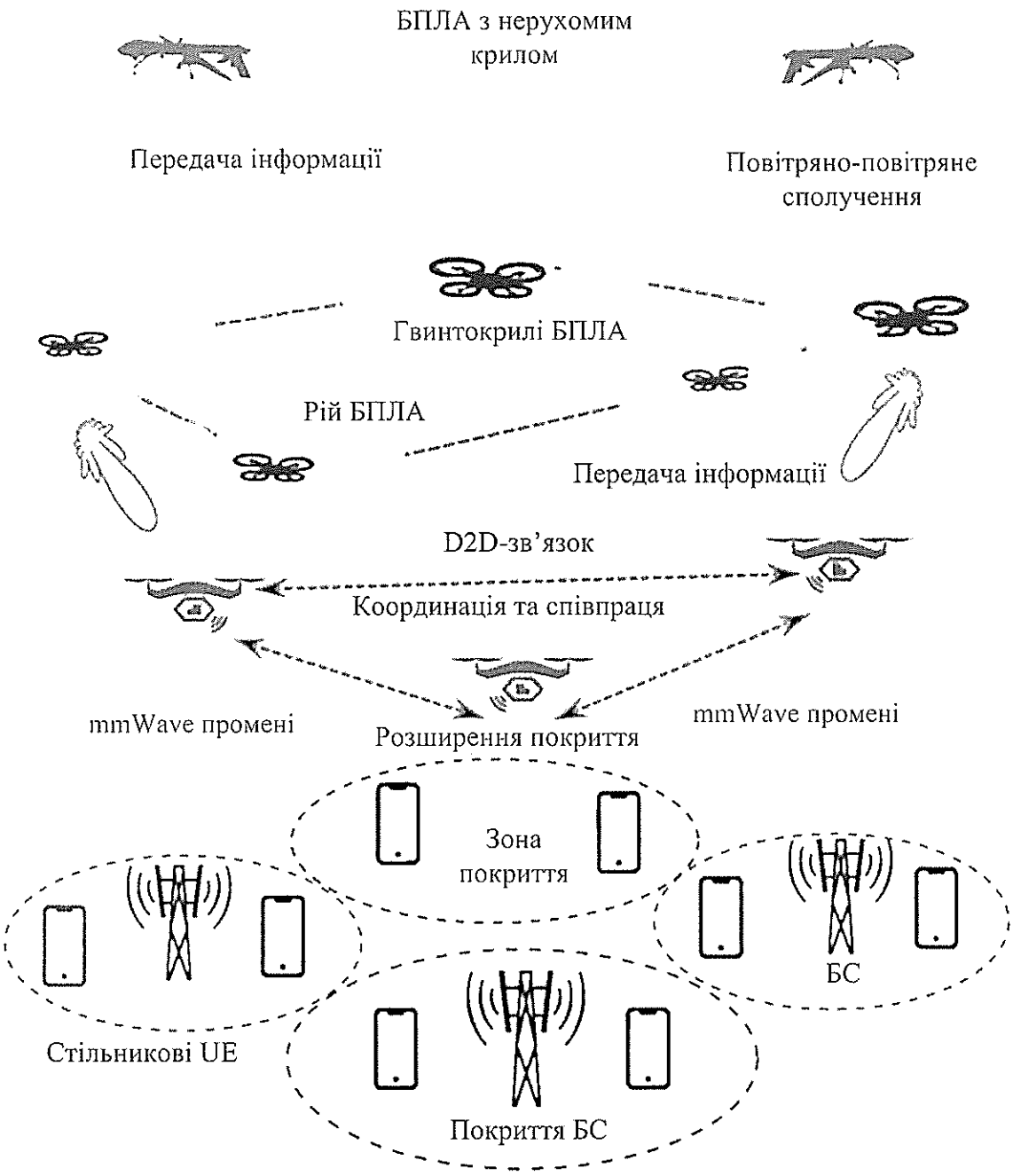


Рис. 1.3. БПЛА в бездротових мережах

1.3 Сфера застосування

Щоб отримати повну вигоду від використання БПЛА та оптимізувати ефективність на рівні системи, важливо ретельне розміщення БЛА-БС. Там є цілий ряд факторів, які впливають на positionin г БЛА-BS. Одним з них є зворотний зв'язок між БПЛА та базовою мережею, що може вплинути на загальну продуктивність системи. Щоб дати реалістичні висновки, змодельований сценарій повинен бути практичним, коли користувачі можуть рухатися, об'єднуватися в групи і т.д. Хоча в останній літературі пропонуються різні алгоритми для оптимізованого розгортання БПЛА [22, 23], недостатньо всебічного дослідження, яке б враховувало всі важливі фактори при практичних припущеннях моделювання.

Існує невід'ємний компроміс між кількістю БПЛА та витратами на обслуговування. З одного боку, оператор мережі повинен забезпечити користувачам високу швидкість передачі даних. З іншого боку, через часткове завантаження мережі надзвичайно щільна мережа БПЛА може бути недостатньою з точки зору капітальних витрат (CAPEX) та операційних витрат (OPEX). Ще однією причиною обмеження кількості БПЛА є те, що пересічний користувач не може дозволити собі дорогу послугу.

У цій роботі вивчається складна проблема: розміщення обмеженої кількості БПЛА на відносно широкій території. Метою цієї роботи є оцінка роботи радіосистем, які підтримуються БПЛА, що забезпечуються функціями інтегрованого доступу та зворотного зв'язку (IAB) за допомогою моделювання на рівні системи [24]. IAB технологія застосовується в ТОМ середньоквадратичних міліметрових хвилях (mmWave використання) спектр для обох БПЛА-БС в призначене для користувача устаткування (UE) доступ і Л-БС заземлення осередку транспортних каналів. Дана оцінка – це реалістичні розгортання з рухомими та кластерними користувачами, практичні антенні решітки як на БПЛА,

так і на UE, а також наземна інфраструктура на основі точок доступу mmWave (AP).

Тут характеризується вплив динаміки зворотного зв'язку БПЛА-БС на продуктивність системи, порівнюючи її з випадком ідеального (завжди достатнього) перекладу. Перевага динамічного коригування розташування БПЛА демонструється через протиставлення двох альтернативних варіантів позиціонування БЛА-БС: розгортання сітки та динамічна оптимізація IAB. Окрім цього, надається оновлений огляд діяльності проекту 3-го покоління (3GPP) щодо БПЛА, проектування IAB та ретрансляції на основі NR.

2 ЗАПЛАНОВАНІ ТА ПОТОЧНІ ЗАХОДИ 3GPP, ЩО СПРИЯЮТЬ ЗАСТОСУВАННЮ БПЛА

2.1 Мобільні стільникові покоління та концепція випусків 3GPP

У цьому розділі описуються поточні та заплановані заходи 3GPP, що сприяють застосуванню БПЛА для IAB у системах 5G NR та поза ними. По-перше, концентруючись на підтримці БПЛА у стільникових системах, розглядаються випадки використання та проблеми зв'язку БПЛА. Потім представляються можливі архітектури IAB та варіанти реалізації. Нарешті, розглянуто можливості базових ретранслятори NR як важливих технологічних факторів.

Мобільні стільникові технології розвиваються в рамках глобально узгоджених рамок, що розрізняють різні покоління технологій. Спеціально для стандартів 3GPP, ця структура визначається в концепції поступових випусків стандарту. Кожне покоління мобільних пристроїв визначає набір можливостей системи та показників продуктивності. Як правило, оскільки радіоінтерфейси та продуктивність мережі розвиваються, нове покоління має більш розширені можливості порівняно з попередниками. Нині широко розгорнуте покоління мобільних технологій є четвертим поколінням (4G), яке 3GPP стандартизувало під назвою Long Term Evolution (LTE). В даний час розробляється п'яте покоління стільникових мереж.

Стандарти 3GPP регулярно оновлюються у вигляді стандартних випусків 3GPP. Кожен випуск містить сумісні специфікації для всіх стандартизованих системних сегментів та інтерфейсів. Зазвичай випуски 3GPP є зворотно сумісними з попередніми випусками, що дозволяє реалізації попередніх випусків правильно співпадати з випусками нових випусків. Дотримуючись цього принципу, 3GPP може вдосконалювати існуючі покоління, а також працювати над

новими поколіннями стільникових мереж. Тому випуск 3GPP містить специфікації для різних поколінь мобільних стільникових мереж.

У кожному випуску 3GPP нові функції стандарту деталізуються за допомогою триступеневої моделі. На етапі 1 розробляються вимоги. На етапі 2 технічне рішення розробляється в архітектурному масштабі. На етапі 3 визначаються протоколи підтримки розчину. Наступна діаграма (рис. 2.1) демонструє вигляд на високому рівні випусків 3GPP, пов'язаних з БПЛА.

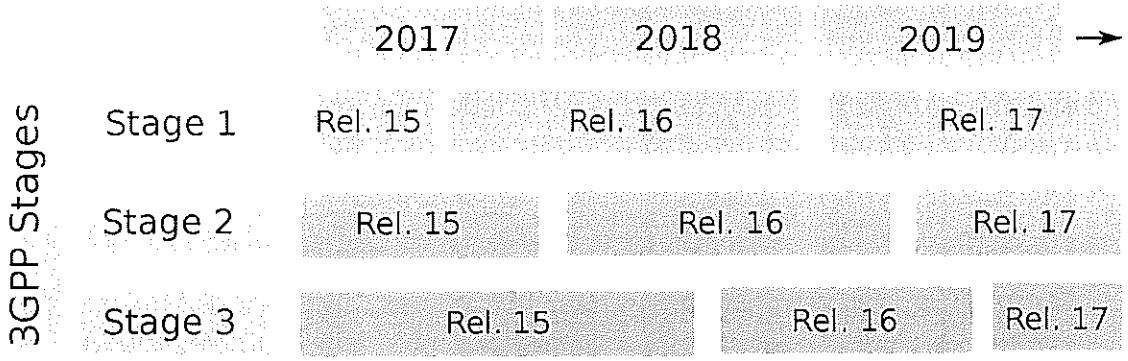


Рис. 2.1. Графік випусків 3GPP та робіт, пов'язаних з БПЛА

2.2 Підтримка БПЛА

Існує величезна зацікавленість у використанні стільникових мереж для надання підтримки БПЛА. Ця підтримка може включати використання команд і систем управління під час польоту, а також підтримку зв'язку з додатками корисного навантаження. Хоча стільникові мережі були оригінальні і заплановані для наземних користувачів, вони здатні забезпечити сильну підтримку малих БПЛА висот. У міру зростання кількості користувачів БПЛА мережеві оператори та телекомунікаційна галузь докладають зусиль для подальшого вдосконалення послуг, що надаються БПЛА.

Сучасні стільникові мережі спроектовані таким чином, щоб відповідати загальним стандартам, які забезпечують взаємодію обладнання від різних постачальників. Це формує конкурентний ринок для стільникового обладнання,

надаючи як операторам мережі, так і споживачам можливість вибрати відповідного постачальника. Усі основні промислові стільникові мережі відповідають стандартам, розробленим глобальним партнерством 3GPP. Стандарти включають усталений стандарт 4G LTE та нещодавно розроблений стандарт 5G.

За останні роки підтримка БПЛА та інтеграція до сучасних бездротових систем отримали значний промисловий інтерес. Починаючи з Rel. 15, 3GPP включив відповідні можливості у стандартизацію стільникового зв'язку. У цьому контексті перспективний відн. 16 (див. TR 22.829) узагальнює приклади використання та аналізує функції БПЛА, які можуть вимагати розширеної підтримки. Сюди входять програми для трансляції відео в прямому ефірі, зв'язок управління та управління та використання БПЛА. Останній зазначений у TP 38.811.

В Рел. 15 TR 36.777, 3GPP провів дослідження щодо розширеної підтримки LTE для повітряних апаратів, що полегшує використання стільникових технологій БПЛА-UE. Розпочате в 2017 році, це дослідження узагальнює можливі вдосконалення стільникової системи для ефективного обслуговування трафіку БПЛА та його наслідки для мережі. Зокрема, він оцінює ефективність БПЛА в міських та сільських мікро- та макроелементах. Широке моделювання, доповнене даними польових вимірювань, демонструє, що використання БПЛА призводить до збільшення перешкод висхідної лінії зв'язку (UL) та низхідної лінії зв'язку (DL). Далі, ця робота визначає важливі методи пом'якшення перешкод. Також TR 36.777 визначає методи надання додаткової інформації про шлях, яка може бути використана для прийняття рішень, пов'язаних з мобільністю.

Інші галузі, які потребують розробки, включають повітряне виявлення та ідентифікацію UE [25]. Це стосується, наприклад, визначення, чи дозволено БПЛА літати. 3GPP Rel. 16 TR 22.825 викладено вимоги до віддаленої

ідентифікації та відстеження БПЛА, пов'язаних із мобільною підпискою. У ньому також обговорюються механізми дистанційної ідентифікації БПЛА.

В даний час 3GPP продовжує вивчати шляхи стільникових систем для подальшої підтримки БПЛА. Це передбачає роботу щодо поліпшення показників мобільності, бізнесу, безпеки та громадської безпеки з метою ідентифікації. З цією метою Rel. 16TR 22.125 визначає експлуатаційні вимоги до систем 3GPP. У цьому напрямку, як очікується, 3GPP посилить підтримку з'єднання та відстеження БПЛА в TR 23.754 та TR 23.755. Очевидно, що БПЛА здатні вмістити широкий спектр випадків використання нових технологій NR. Одним із таких важливих сценаріїв є IAB (рис. 2.2).

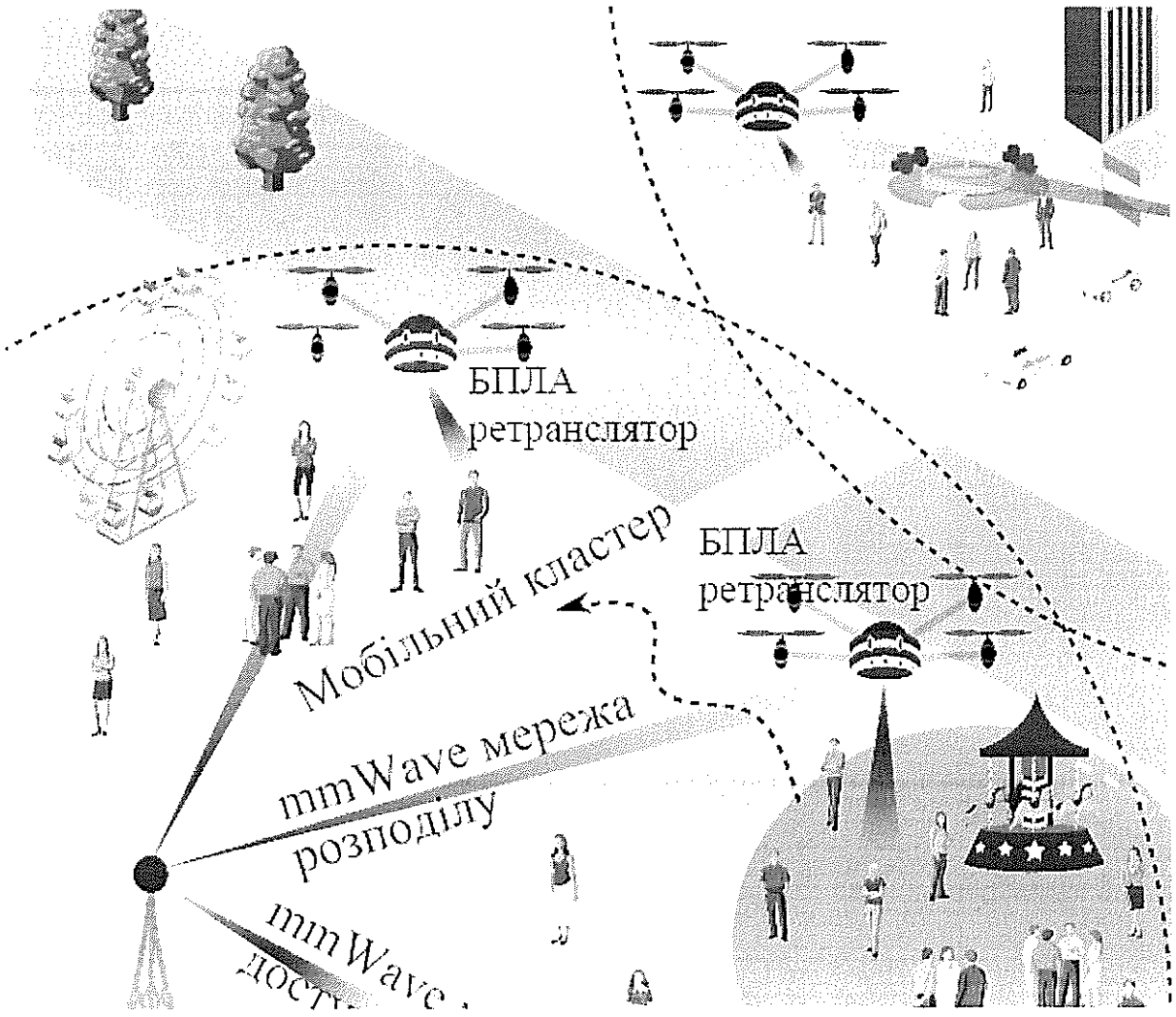


Рис. 2.2. Застосування БПЛА на основі mmWave

2.3 Технологія IAB

Стандартизація IAB була спочатку запропонована AT&T, Qualcomm та Samsung у спеціальному описі робочого елемента, RP-171880. Відповідний пункт дослідження привів до складу TR 38.874, "NR; Дослідження з інтегрованого доступу та зворотного зв'язку", де узагальнено всі заходи, пов'язані з HP IAB. Як зображено на рис. 2.3, дійсна структура бездротової мережі IAB складається з декількох IAB-вузлів, які містять бездротові з'єднання зворотного зв'язку і можуть бути використані як точки доступу для UE, а також інших IAB-вузлів. Крім того, архітектура включає в себе IAB – донор, який має можливість з'єднання волокна з базовою мережею, а також може служити в UE, і IAB-nodes.

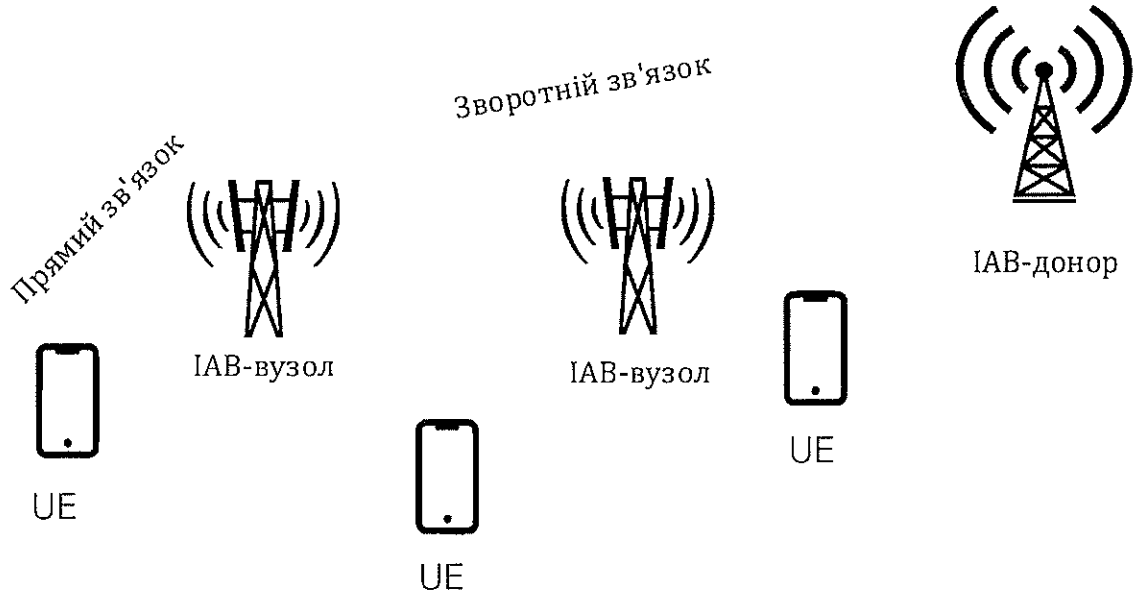


Рис. 2.3. Основна архітектура мережі IAB

При порівнянні з наземними впровадженнями NR, головне обмеження mmWave заснованим БПЛА, є їх транзитною лінією зв'язку. Наземні точки доступу, як правило, мають змішане дротове з'єднання зворотного зв'язку і можуть пропонувати дуже високу швидкість передачі даних до базової мережі, де БПЛА БС повинні покладатися виключно на бездротовий зворотний зв'язок.

Концепція використання єдиної радіотехнології для забезпечення як доступу, так і зворотного зв'язку була розглянута в TR 38.874 від 3GPP . Завдяки впровадженню систем NR, які підтримують високоспрямовані антенні решітки, БПЛА, оснащені функціями IAB (тут називаються IAB на основі БПЛА), можуть полегшити ущільнення мережі на вимогу, таким чином ефективно уникаючи перешкод і зменшуючи капітальні вкладення в мобільну інфраструктуру.

Спочатку переваги IAB для NR були виправдані в RP-171880. Далі, концепція була розроблена в TR 38.874. В даний час термін IAB визначається 3GPP в контексті IAB-вузла: «IAB-вузол - це вузол RAN, який підтримує бездротовий доступ до UE і бездротово здійснює зворотний хід трафіку доступу» (див. TR 38.874). 3GPP не застосовує жодної конкретної реалізації IAB, що залишає конкретні деталі для вирішення постачальниками. З точки зору планування радіомережі, доступні варіанти включають реалізацію одиночного переходу проти багатохопного, внутрішньосмуговий та позасмуговий зворотний переклад, різні радіотехнології, що використовуються посиланням доступу, а також рівні доступу та інтеграція зворотного зв'язку. Тому є безліч варіантів на вибір, з їх перевагами та недоліками.

Незважаючи на те, що багатоканальний хед-хендінг може забезпечити підвищення продуктивності для покриття мережі, відомого як розширення діапазону, він також приносить додаткові накладні витрати з точки зору передачі сигналів. На додаток до звичайних процедур управління мережею (довільний доступ, хэндовер, керування живленням), системи IAB з кількома стрибками та односкочковими передачами повинні забезпечувати функціональність, що стосується ретрансляції, таку як виявлення, управління та відновлення зворотного зв'язку; розподіл та координація ресурсів зворотного зв'язку/доступу; управління взаємодією з перехресними зв'язками та ін. Нарешті, існує ряд параметрів, пов'язаних із протоколом 3GPP, розглянутих у TR 38.874, які враховують способи

реалізації багатокаскадної переадресації та еволюціонованого пакетного ядра (EPC) вибір анкерування як для UE, так і для вузлів ретрансляції.

Радіотехнологія та її частотний діапазон [23] на лініях доступу та зворотного зв'язку є іншим вибором конструкції системи. Наприклад, якщо обидва з'єднання реалізовані одним і тим же радіо, існує можливість використовувати спільні механізми розподілу ресурсів, що може зменшити загальну пропускну здатність системи, але також може знизити витрати на розгортання. Крім того, якщо лінії доступу і зворотного зв'язку працюють в одному діапазоні частот (внутрішньосмуговий зворотний зв'язок), існує потреба в додатковому управлінні перешкодами. Відповідно до TR 38.874, IAB-вузол повинен забезпечувати функцію мульти-радіодоступу, принаймні Rel. 15 NR та застарілі варіанти LTE.

Нарешті, звертаючись до особливостей БПЛА, мобільність вузла ретрансляції слід розглядати як одну з ключових переваг архітектури, що базується на БПЛА. Однак деякі рішення мають на увазі статичні ретранслятори на основі БПЛА, в яких точку доступу можна підключити до EPC за допомогою дротового зворотного зв'язку. Насправді такі розгортання вже були випробувані AT&T в надзвичайних ситуаціях, коли наземна мережа зазнала "майже повного збою". У цьому випадку вузол ретранслятори, що базується на БПЛА, розгортається таким чином, щоб максимізувати покриття, це означає, що мобільність безпілотника може бути обмежена, тоді як потужність та зворотний зв'язок забезпечуються від наземного транспортного засобу за допомогою дротового з'єднання. Однак, якщо БПЛА використовуються в неаварійних ситуаціях, мобільність безпілотника може бути використана для підвищення як покриття, так і продуктивності наземної мережі.

Окрім цих архітектурних варіантів, реалізація IAB може відрізнятися щодо рівнів зворотного зв'язку та інтеграції доступу. Наприклад, можна реалізувати окремі реалізації PHY та MAC для доступу та зворотного зв'язку, одночасно

обмінюючись певними елементами планування MAC у загальному модулі [27]. IAB характеризується цілим рядом варіантів проектування системи, які необхідно додатково дослідити, щоб забезпечити її оптимізовану роботу. Крім того, надійність на основі NR є найважливішою базовою технологією, яка наразі ратифікована 3GPP. Функція ретранслятори NR є основним технологічним компонентом для реалізації IAB NR.

2.4 NR ретрансляція

Ретранслятори NR з можливостями IAB обговорювалося в TR 38.874, спочатку запланованому для Rel. 15 і тепер продовжується з акцентом на Рел. 16. Роль ретрансляторийних систем полягає в тому, щоб з'єднати UE з донорною BS, яка безпосередньо закріплена на основній транспортній мережі. Прогалини в охопленні ЯР через непрямі видимості або умови блокування залишаються основним обмеженням для перспективних розгортань ЯР. У цьому контексті переваги ретрансляції IAB для NR пов'язані з ущільненням мережі доступу для підвищення надійності без необхідності ущільнення пов'язаної транспортної мережі.

З урахуванням природного накопичення трафіку на зворотних лініях, здійснюється спроба зворотного перевезення трафіку з ретранслятора до донорської БС по лініях NR. Як показано на рис. 2.4а та рис. 2.4б, подібно до NR BS, вузол ретрансляції NR може працювати в автономному (SA) (підключеному до базової мережі 5G) або несамостійному (NSA) режимах (підключений до 4G EPC), як описано в TR 38.912, таким чином, що більшість технологій доступу NR доступна в Rel. 15 (див. TS 38.300) використовується повторно для зворотних зв'язків.

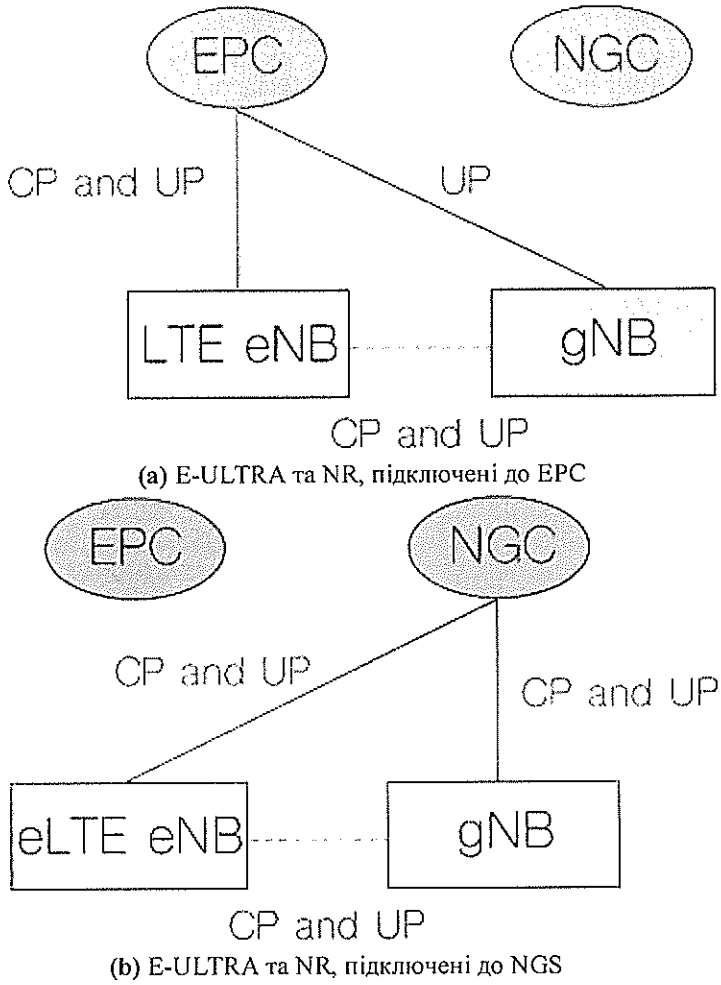


Рис. 2.4. Режими вузлових ретранслятори NR

Поточні результати оцінки внесків 3GPP демонструють значні переваги від використання ретранслятора з одним стрибком у вигляді зменшення відключення та збільшення пропускної здатності UE, як підсумовано в TR 38.874. Для подальшого використання переваг ретрансляції, підтримка мульти-стрибка в даний час обговорюється 3GPP (див. RP-1806008, RP-1806814 та RP-1806815). Очікувані додаткові вигоди від додаткових стрибків, однак, створюють нові виклики, пов'язані з вибором найкращого маршруту, оптимізацією розподілу ресурсів тощо. Незважаючи на це, гнучка топологія передачі кількох стрибків розглядається як один із ключових компонентів у майбутніх системах B5G для підключення UE з базовою мережею. Крім того, TR 38.874 фокусується на IAB з

фізично закріпленими ретранслятори. Що важливо, це не перешкоджає оптимізації для мобільних ретранслятори у майбутніх випусках.

Майбутній Rel. 17, як очікується, продовжить дослідження ретрансляції NR у багатьох випадках використання. Одним із розглянутих сценаріїв, обговорених у TR22.866, є ретрансляторийна підтримка для підвищення енергоефективності та охоплення. Наприклад, промислова фабрика може покладатися на кілька UE, що діють як ретранслятори для перенаправлення трафіку з цільового UE на обслуговуючу його BS.

3 КЛЮЧОВІ ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ БПЛА

3.1 Основні переваги зв'язку БПЛА на основі mmWave

У цьому розділі розглядаються ключові переваги та недоліки технології mmWave разом із можливими додатками. Зокрема, ретельно обговорюються найсучасніші проблеми, їх рішення та відкриті проблеми зв'язку 5G mmWave для бездротових мереж на базі БПЛА.

Поточне мобільне покоління (4G LTE) використовує мікрохвильовий спектр, який лежить нижче 6 ГГц. Зрозуміло, що цього надмірно використовуваного домену спектру недостатньо для майбутніх стільникових мереж для досягнення бажаних швидкостей передачі даних. Для подолання проблем з обмеженою доступністю спектра було запропоновано кілька методів. Сюди входять масивні багаторазові входи та багатовиходи (MIMO), неортогональний багаторазовий доступ (NOMA), вдосконалені схеми кодування та модуляції каналів тощо. Одне з потенційних рішень було розширено для використання більш високих частот у радіочастотний спектр. Все ще існує величезна кількість доступної смуги пропускання на частотах mmWave, яка виділяється для подальшого використання. У цьому контексті частоти mmWave, що лежать між 30 ГГц та 300 ГГц, відіграють вирішальну роль у підвищенні пропускної здатності даних у мережах 5G.

Використання смуг mmWave дозволяє різко збільшити швидкість передачі даних для мобільних користувачів [23, 24]. Перевищення незайнятої смуги пропускання, доступної на частотах mmWave, є однією з ключових переваг нових мереж 5G. Більша доступна пропускна здатність передбачає надзвичайно велику пропускну здатність 10 Гбіт/с, яку можна перевищити, вводячи, наприклад, повнодуплексні покращення. Подібним чином смуги mmWave є привабливими для зв'язку БПЛА, оскільки підключені БПЛА вимагатимуть величезної

швидкості передачі даних, яка не може бути доставлена мобільними каналами 4G LTE. Поряд із властивими йому перевагами, використання частот mmWave створює унікальні проблеми для дизайну бездротової системи.

3.2 Втрата шляху та ослаблення атмосфери

Втрата вільного простору – це втрата сили сигналу, коли він поширюється через вільний простір між передавачем і приймачем. Втрати вільного простору на шляху можуть бути представлені в дБ наступним чином:

$$PL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 92.45, \tag{3.1}$$

де d - відстань в км між передавачем і приймачем, а f - частота сигналу в ГГц. Втрата траси залежить від відстані та частоти сигналу. Для сигналів microwave втрати вільного простору набагато нижчі, ніж для сигналів mmWave, припускаючи однакову потужність випромінювання, коефіцієнт посилення антени та відстань між антенами.

На рис. 3.1 показані втрати вільного простору на різні відстані між джерелом і пунктом призначення як функція частоти сигналу. Як можна спостерігати, втрати шляху вільного простору зростають із збільшенням частоти сигналу. Також вірно, що втрати шляху зростають як для мікрохвильових частот, так і для частот хвилі хвилі зі збільшенням відстані між передавачем і приймачем. Це показує вплив частот хвилі мм, які обмежують відстань поширення. На рис. 3.1 показані втрати вільного простору на різні відстані між джерелом і пунктом призначення як функція частоти сигналу. Як можна помітити, втрати шляху вільного простору зростають із збільшенням частоти сигналу. Також вірно, що втрати шляху зростають як для мікрохвильових частот, так і для частот хвилі хвилі зі збільшенням відстані між передавачем і приймачем. Це показує вплив частот хвилі мм, які обмежують відстань поширення.

Втрата вільного простору – це лише один вид зменшення сили сигналу, який відбувається під час поширення через модельне вакуумне середовище. Однак у реальних сценаріях сигнали mmWave поширюються в атмосфері. Тому сигнал в даний час залежить від частоти пов'язаних атмосферного ослаблення. Цей ефект проявляється у формі взаємодії атмосферних молекул кисню, води тощо. Більш конкретно, згадані вище частинки можуть поглинати, а певна частина енергії сигналу та амаранту коливаються з інтенсивністю, пропорційно частоті сигналу [17]. Варто зауважити, що ці ефекти є керованими для частот нижче 10 ГГц, приймаючи до уваги, для mmWave частот, загасання в атмосфері зростає драматично. Більше того, на певних частотах через молекулярні особливості затухання сигналу має виразно великі значення. Отже, ці ефекти обмежують робочу відстань сигналів mmWave, що впливає на продуктивність системи.

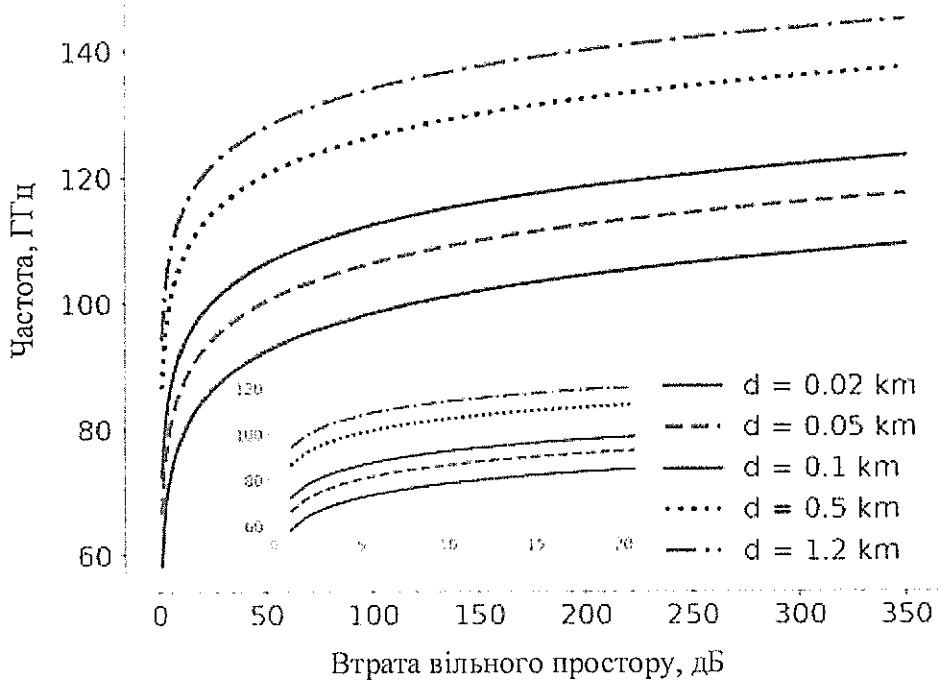


Рис. 3.1. Втрата шляху вільного простору для різних частот сигналу

Рис. 3.2 демонструє явне ослаблення, спричинене атмосферними молекулами кисню та води. Неважко помітити, що сигнал значно послаблюється на частотах хвиль мм, особливо для щільності водяної пари 7,5 г/м3. Можна помітити, що є три піки на частотах приблизно 60 ГГц, 120 ГГц та 180 ГГц, при цьому загасання наближається до найвищих значень 14,65 дБ/км, 2,0 дБ/км та 27,77 дБ/км відповідно. Причину цих піків можна пояснити поглинанням молекул на тих конкретних частотах.

Окрім атмосферного поглинання молекулами, погодні умови можуть радикально впливати на властивості розповсюдження на частотах хвилі ммВ. Оскільки краплі дощу мають приблизно однаковий розмір, як довжини хвиль сигналів mmWave, вони додадуть додаткового послаблення за рахунок розсіювання та поглинання електромагнітних хвиль. Ефект дощу продемонстровано на рис. 3.3. Видно, що загасання для частот мм хвилі набагато більше, ніж для мікрохвильових.

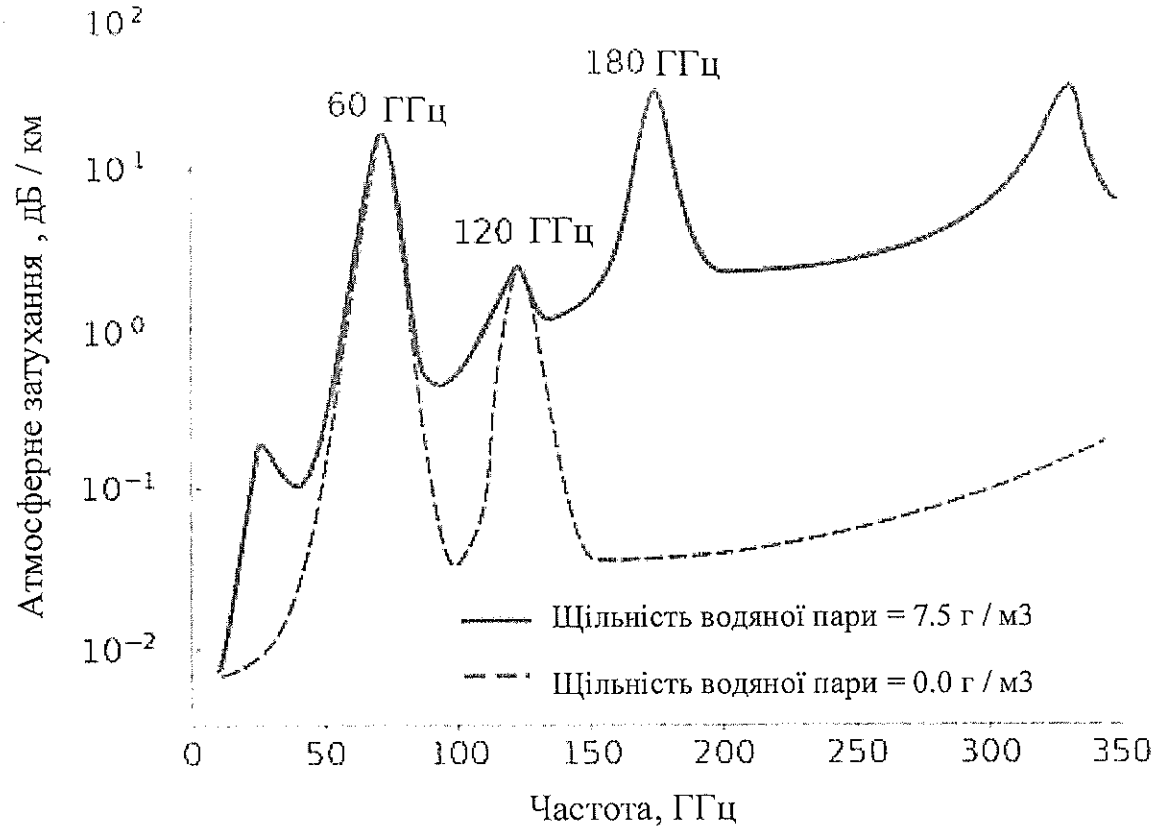


Рис. 3.2. Послаблення, спричинене атмосферними молекулами кисню та води

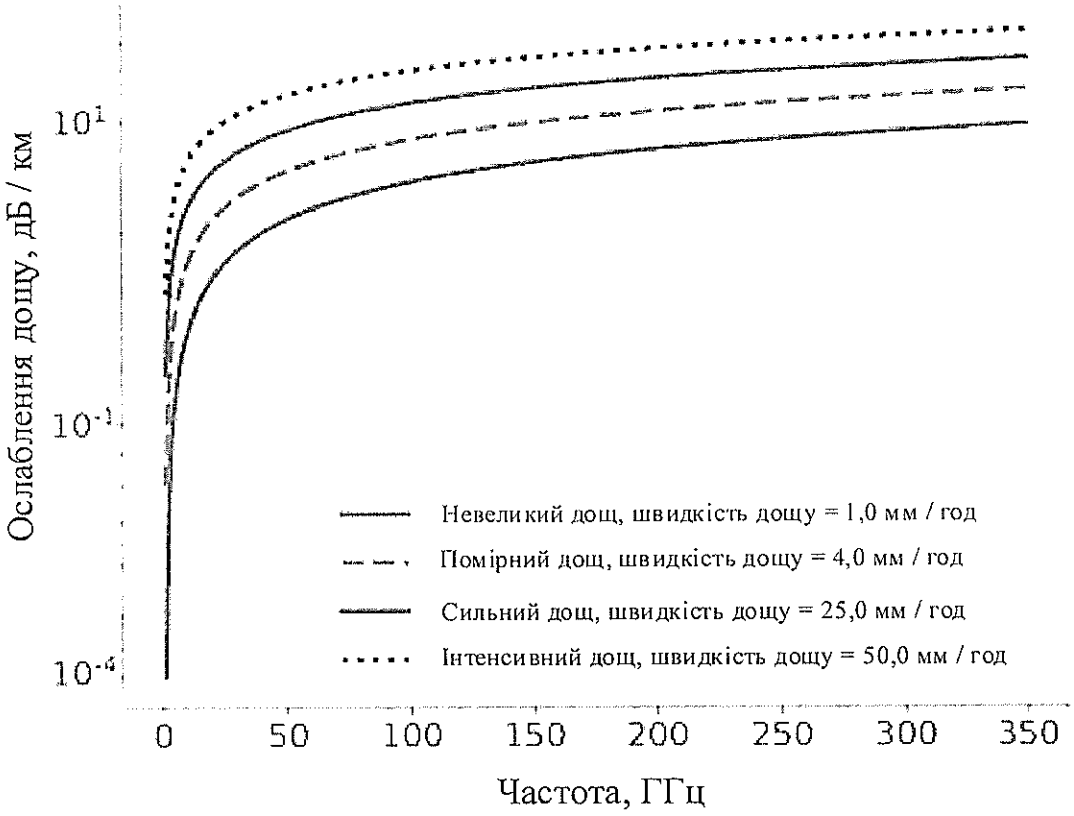


Рис. 3.3. Ослаблення дощу

3.3 Ефект блокування

Ще однією проблемою комунікацій mmWave є блокування розподілу прямої видимості (LOS) [32]. Блокування відбувається, коли об'єкт або інша перешкода блокує переданий сигнал, що перешкоджає проникненню та створює умови нелінійного зору (NLOS) (рис. 3.4). Було зазначено, що умови LW mmWave та NLOS мають особливо виражені властивості втрати шляху. Проникнення в будівлі та дифракція провокують більш високе ослаблення сигналу, тим самим посилюючи значення поширення та відбиття LOS.

Втрата шляху сигналів mmWave може бути спричинена різними матеріалами та поверхнями перешкод. Крім того, листя дерев може зменшити потужність сигналу mmWave сигналів. Виходячи з літератури в цій галузі, різноманітні фактори, включаючи форму, розміри та тип матеріалу перешкод,

мають критичний вплив на завал у смугах хвилі mmWave. Як результат, висока щільність завалів зв'язків LOS mmWave та велика тривалість блокування спричиняють погіршення продуктивності систем 5G. На щастя, відбиття та розсіювання сигналу можуть частково полегшити цю проблему.

Щоб пристосуватись до просторових варіацій бездротового каналу, для компенсації підвищених втрат шляху хвильової хвилі потрібно використовувати антени з вищим коефіцієнтом посилення та спрямовані промені. Такі швидкі відхилення каналу слід передбачити для особливого складу алгоритмів формування променя. Зокрема, для передачі mmWave потрібні високоспрямовані трансивери, що значно знижує радіоперешкоди між сусідніми комунікаційними вузлами, таким чином забезпечуючи більш гнучке позиціонування та більшу щільність мережі.

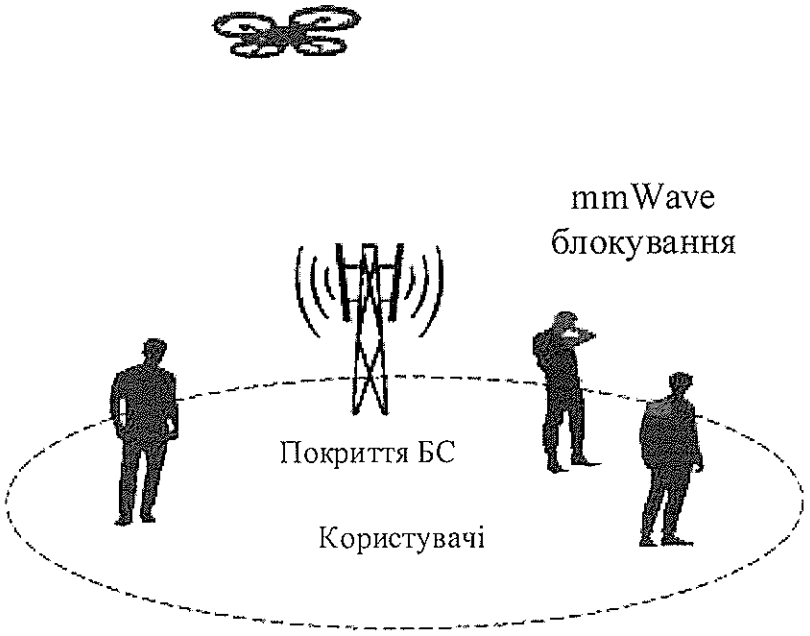


Рис. 3.4. mmWave блокування

3.4 Розбіжність променя

Однією з найважливіших складових бездротових мереж на базі БПЛА з використанням технології mmWave є антенна система. Антенні наносистеми діють як засіб для передачі та прийому сигналів для БПЛА між BS та UE. Крім того, однією з нових особливостей 5G є формування променя.

Формування променя – це радіочастотна технологія, яка дозволяє генерувати спрямовані променеві антени, використовуючи тенні решітки на приймачі та передавачі [33]. Кожен з них здатний регулювати напрямок передачі сигналу та визначати найкращий шлях для досягнення пункту призначення. Зокрема, формування променя формує пучки, щоб досягти кращих значень співвідношення сигнал/шум (SNR). Крім того, можливо направити антену в будь-якому напрямку і уникнути небажаних сигналів з невідповідного шляху.

Як правило, формування променевого променя поділяється на два типи: двовимірне формування променевого променя, де малюнок променя може бути спрямований лише в певній площині, і тривимірне формування променевого променя, коли система регулює діаграму випромінювальної антени як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах для підтримки більшої кількості користувачів шляхом додавання додаткових ступені свободи. Переваги тривимірного формування променя включають більшу пропускну здатність мережі, ефективне використання енергії, поліпшення покриття та підвищену спектральну ефективність. Більше того, такий підхід може зменшити перешкоди, оскільки додатковий розмір дозволяє застосовувати різні потужності до діаграм пучка. Отже, користувачі краю комірки та користувачі, розташовані в центрі комірки, отримують окремі промені. Цей метод запобігає надмірному випромінюванню, таким чином зменшуючи міжклітинні перешкоди в клітинній системі.

Крім того, тривимірне формування променя можна класифікувати на статичне та динамічне. Основна різниця полягає в тому, як змінюється нахил антени вниз. Статичне формування 3D-променя стосується підходу, коли нахил антени на передавачі встановлюється у фіксованому напрямку [34]. Навпаки, динамічне формування променя - це метод, який без затримки змінює нахил антени відповідно до точних положень користувача [35].

Одним із можливих прийомів створення променя є встановлення повторюваних елементів антени в решітку. Одним із поширених методів є вирівнювання антени вздовж лінії. Приклад модельованого променя лінійної антенної решітки наведено на рис. 3.5. Додаючи додаткові розміри та розташовуючи елементи в антенній решітці, можна сформувати двовимірну антенну решітку, як показано на рис. 3.6. У цьому методі напрямок пучка випромінювання змінюється як в горизонтальній, так і у вертикальній площинах.

Крім того, додавши більше елементів в антенну решітку, можна отримати більшу гнучкість при підмітанні променя і збільшити кількість пучків решітки. Передбачається, що підмітання променя з адаптацією променя для кожного UE вимагатиме великої кількості антенних елементів. Тому однією з труднощів підмітання променя є фізичні обмеження та розміщення великої кількості антен на передавачі та приймачі. Цей виклик можна вирішити на більш високих частотах, які передбачаються в мережах 5G mmWave.

Техніка формування променя дозволяє досягти більшої роздільної здатності разом із шуканими напрямками. Дуже спрямовані та вузькі пучки можуть бути використані для компенсації загасання атмосфери та втрати вільного простору на частотах mmWave. Однак, оскільки скорочена ширина променя сигналів mmWave і мобільність користувачів впливають на процедуру формування променя, стає складним спрямовувати промені між передавачем і приймачем. Отже, зміщення променя є неминучим викликом. Невідповідність променів не тільки зменшує

ймовірність успішної передачі та прийому, але також погіршує продуктивність мережі.

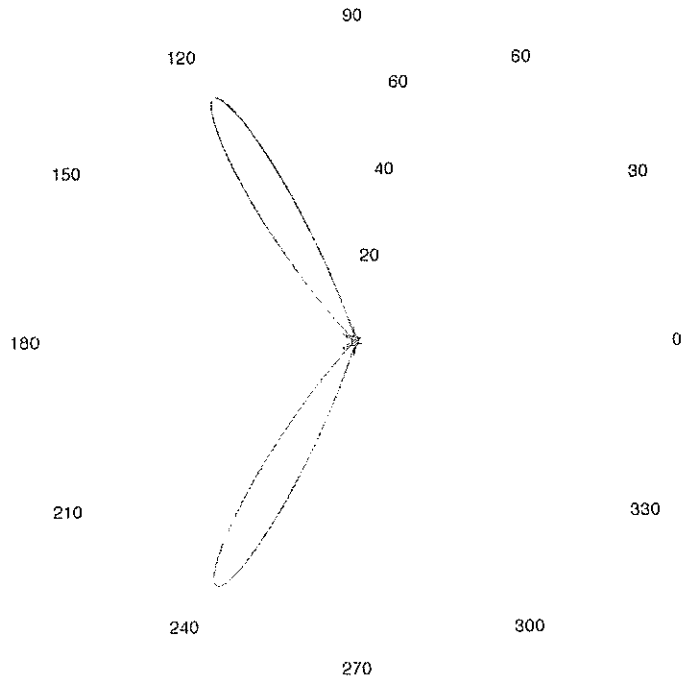


Рис. 3.5. Приклад моделювання променя

3.5 Особливості розгортання IAB

Більш широкий виклик оптимізації радіомереж ретельно обговорювався протягом останніх кількох років. Запропоновано ряд ефективних рішень для різних системних налаштувань у різнорідних мережах [34]. Однак вони не включають необмежену мобільність БПЛА, а також складні особливості конструкції IAB, такі як необхідність враховувати ефекти розповсюдження NR, динамічні асоціації БПЛА та розподіл ширини смуги між АР та БПЛА-БС, серед інших факторів. Тому розробка більш досконалих методологій оптимізації для нових систем, що залучають ІАБ на базі БПЛА, є першочерговим інтересом для всього дослідницького співтовариства.

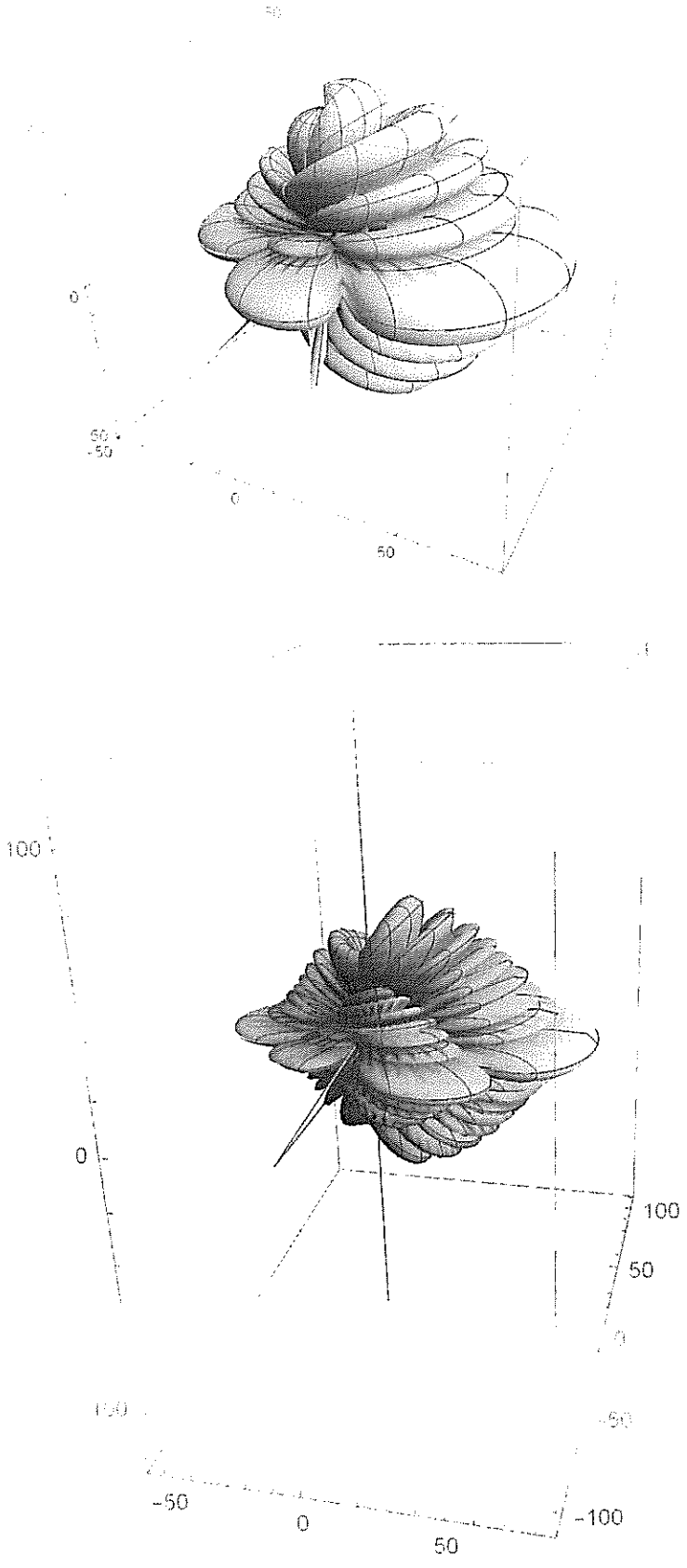


Рис. 3.6. Приклад тривимірного формування променя

Нещодавно автори [33] продемонстрували, що зловживання необмеженого 3D розгортання об'єктів зв'язку, властивих IAB, є критичним для систем NR, що працюють з направленими антенами. Однак більша висота БПЛА може частково полегшити проблему динамічного блокування людей. У той же час, як відомо, додавання третього виміру також змінює специфіку поширення mmWave. Крім того, критично важливо врахувати реалістичні схеми розміщення та мобільності користувачів. Зокрема, очікується, що системи IAB будуть розгорнуті в сильно кластеризованих середовищах з потенційно корельованими схемами руху, наприклад, у так званих зонах гарячих точок.

Очікується, що системи IAB, що забезпечують розширення покриття та збільшення потужності, будуть розгорнуті поверх наземної інфраструктури ЯР. Обслуговуючи рухомих користувачів, БПЛА можуть постійно коригувати свої позиції, а отже, точка зворотного зв'язку спрямована на основний NR-BS. Подібним чином, при реалістичних розгортаннях користувачі також повинні мати можливість динамічно змінювати свою точку приєднання до мережі. Як результат, відповідний алгоритм оптимізації продуктивності повинен бути досить гнучким, щоб охопити ці аспекти, забезпечуючи при цьому постійно оптимізовану продуктивність.

У попередніх роботах [12, 19] було показано аналіз блокування людським тілом наземних комунікацій mmWave. Було продемонстровано, що регулювання висоти БС може мінімізувати ймовірність блокування від людської юрби. Однак збільшені висоти BS призводять до збільшення втрат шляху через більшу тривимірну відстань від UE до BS. Зокрема, було продемонстровано, що ефект блокування для тривимірного розгортання комунікаційних об'єктів має другорядне значення порівняно з ймовірністю опромінення (ймовірністю того, що БПЛА, що заважає, створює перешкоди на цільовій UE), що створюється антенною решіткою спрямованості, особливо для сучасних антенних решіток.

У минулих роботах автори передбачали статичне розгортання UE через певну сферу інтересів при вирішенні питань позиціонування БПЛА у тривимірному просторі, так що певний параметр, що цікавить, оптимізований.

Однак ці дослідження не враховують потенційну мобільність БПЛА БПЛА, яку можна ефективно дослідити для поліпшення покриття мережі, як обговорювалося в [10]. Також було підкреслено, що розміщення UE над ландшафтом, а також їх рухливість можуть не тільки суттєво вплинути на оптимальне розташування БПЛА, але і накласти додаткові вимоги щодо вибору відповідного методологія оптимізації. Крім того, як підкреслюється в TR 38.874, обмеження зворотного перевезення можуть надалі впливати на оптимізовані місця розташування БПЛА.

Нещодавні дослідження стосуються особливостей проектування IAB (див. [31]) та виступають за використання методологій динамічної оптимізації. На відміну від звичайних методів оптимізації, які передбачають розгортання статичних UE, нові адаптивні алгоритми повинні зміцнювати зміни в місцях розташування UE шляхом постійного оновлення розміщення БПЛА-БС в обмеженому 3D-просторі, щоб повністю отримати вигоду з їх природної мобільності. Більшість таких рішень є напівемпіричними та походять з області еволюційних обчислень [32]. Приклади результуючих алгоритмів включають схеми PSO, розглянуті в цій роботі, оптимізацію колонії мурашок / бджіл та генетичні алгоритми. Незважаючи на відсутність алітичної придатності, вони можуть суттєво вдосконалити складні впровадження систем на основі IAB у реальних розгортаннях, і це область, на якій будуть зосереджені наші майбутні дослідження.

Підводячи підсумок, остання робота вказує на те, що для точної оцінки ефективності та оптимізації проекту NR на основі IAB потрібно ретельно визначити ряд варіантів моделювання. Зокрема, потрібно: врахувати справжні 3D-макети для позиціонування БЛА-БС; покладатися на точні моделі розповсюдження NR повітря-земля; використовувати реалістичні моделі розгортання та мобільності UE та включати практичні міркування щодо розгортання B5G.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАНОЇ РОБОТИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ

4.1 Макет мережі

У цьому розділі наведено детальний опис моделі системи. По-перше, слід сконцентруватись на дизайні макета мережі та конфігурації інтерфейсів. Далі піде опис модель мобільності користувачів, яка використовується у цій роботі. Після цього надається характеристика методики оптимізації, заснованої на метаевристичному підході, який не робить жодних припущень щодо проблеми оптимізації та може досліджувати великі області рішень-кандидатів. Врешті-решт, тут коротко обговорюється симуляційний підхід, який використовується в цій роботі.

Розглядається квадратна площа, покрита наземними AP NR та повітряними БПЛА, що пропонують додаткові варіанти підключення для UE. Слід зосередитись на вивченні топології ретранслятори, де точки доступу мають два інтерфейси для UE та БПЛА-БС (див. рис. 4.1). Так само, БПЛА мають два інтерфейси для точок доступу та UE. Крім того, припускається, що на основі сили сигналу, яку UE може підключатися або до БПЛА, або до наземної точки доступу. Висота і швидкість БПЛА-БС фіксована, і останні можуть змінювати лише їх напрямки в горизонтальній площині. Звертається увага на напрямку UL від UE до AP, враховуючи постійний трафік з UE.

У адресованому сценарії точки доступу виступають як трафік із чорнилами, оскільки трафік UL від UE до БПЛА UAV надалі переадресовується до AP (рис. 4.2). Також потрібні буфери пакетів на БПЛА-БС та UE. Пакети ставляться в чергу в BS БПЛА-БС: якщо буфер БПЛА-БС заповнений, він скидає всі пакети, що надходять. БПЛА-БС об'єднують усі отримані пакети та відправляють їх до точки доступу, яка в даний час має найкращі умови каналу.

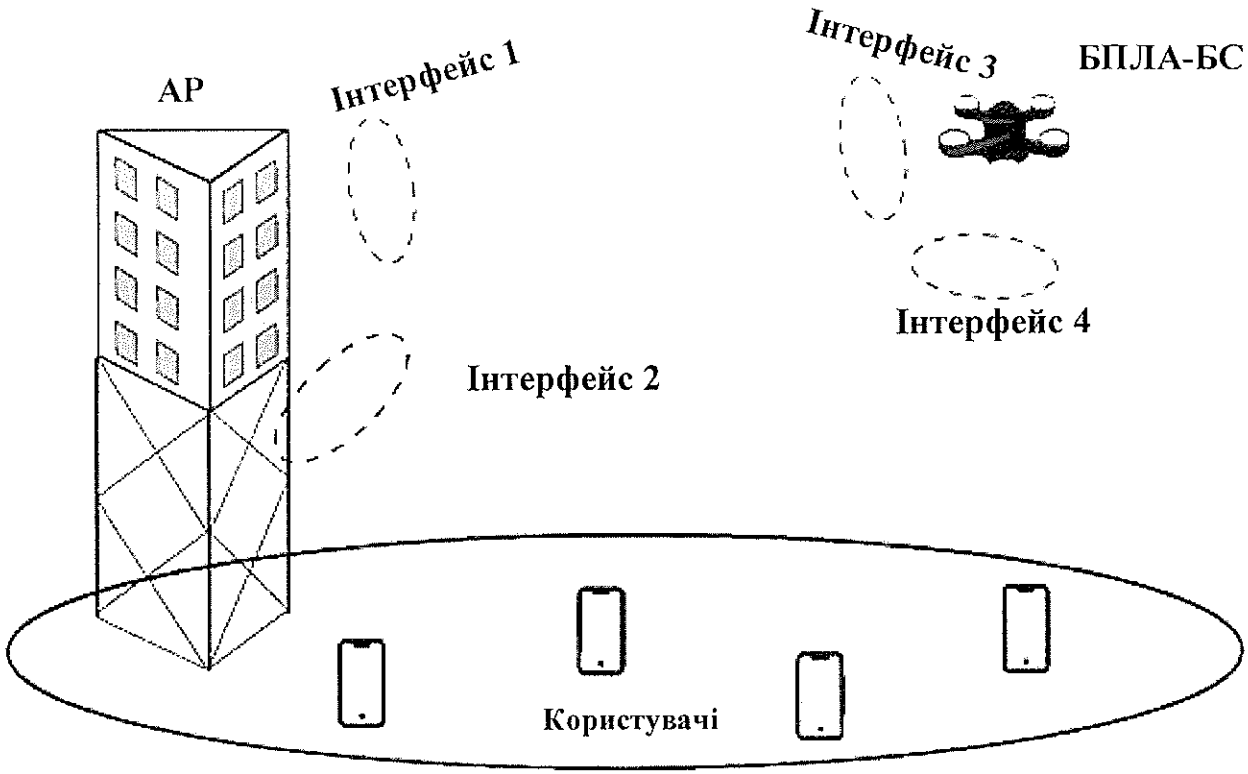


Рис. 4.1. Інтерфейси БПЛА та точки доступу

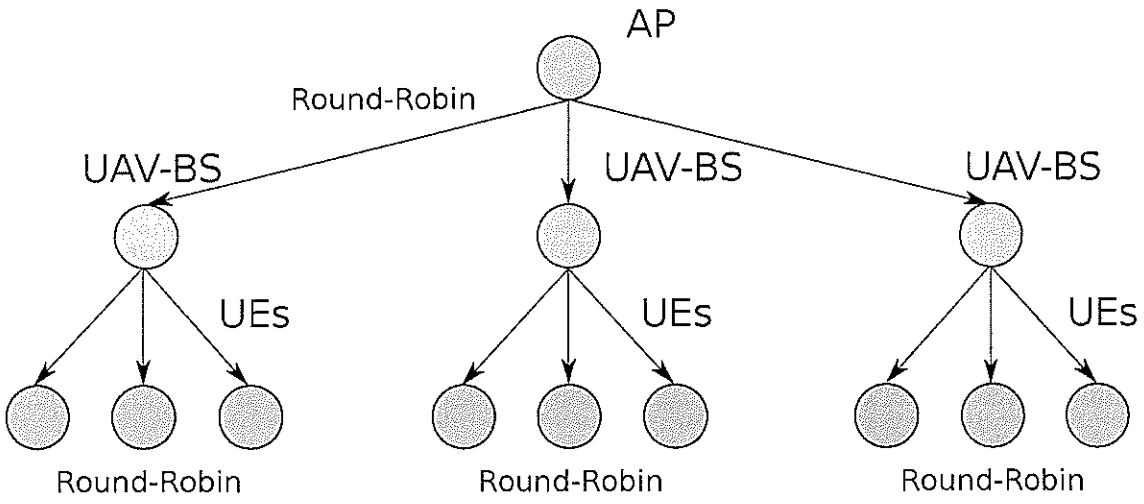


Рис. 4.2. Макет мережі

У цій роботі передбачено окремі канали для доступу та зворотних ліній зв'язку (тобто позасмуговий зворотний контроль), а також виділені антенні решітки для кожного інтерфейсу. На практиці це означає, що вузол IAB оснащений двома окремими інтерфейсами PHY, які запускають незалежні планувальники MAC, шляхом маршрутизації, черги пакетів та інших процедур,

які координуються загальною сутністю IAB. На інтерфейсах UE до AP та UE до БПЛА-БС слід дотримуватися справедливості як широкого класу функцій корисності, що враховує різні критерії справедливості [33].

4.2 Моделі мобільності користувачів

Зрозуміло, що моделі мобільності залежать від застосування. Для моделювання поведінку користувачів можна уточнити за допомогою імітаційних моделей, які розглядають детальні та реалістичні сценарії мобільності. Можуть бути використані різні моделі мобільності, оскільки вони відіграють вирішальну роль у моделюванні стільникових мереж. У роботі [34] автори досліджують закономірності мобільності в бездротових мережах. Вони описують різні типи мобільності, що представляють вузли, чиї рухи не залежать один від одного, а також представляють кілька моделей групової мобільності. Автори стверджують, що найбільш загальною з охарактеризованих моделей групової мобільності є модель мобільності опорних точок (RPGM). Зокрема, як мінімум три моделі (Column, Nomadic та Pursue) можуть бути виконані як окремі екземпляри моделі RPGM.

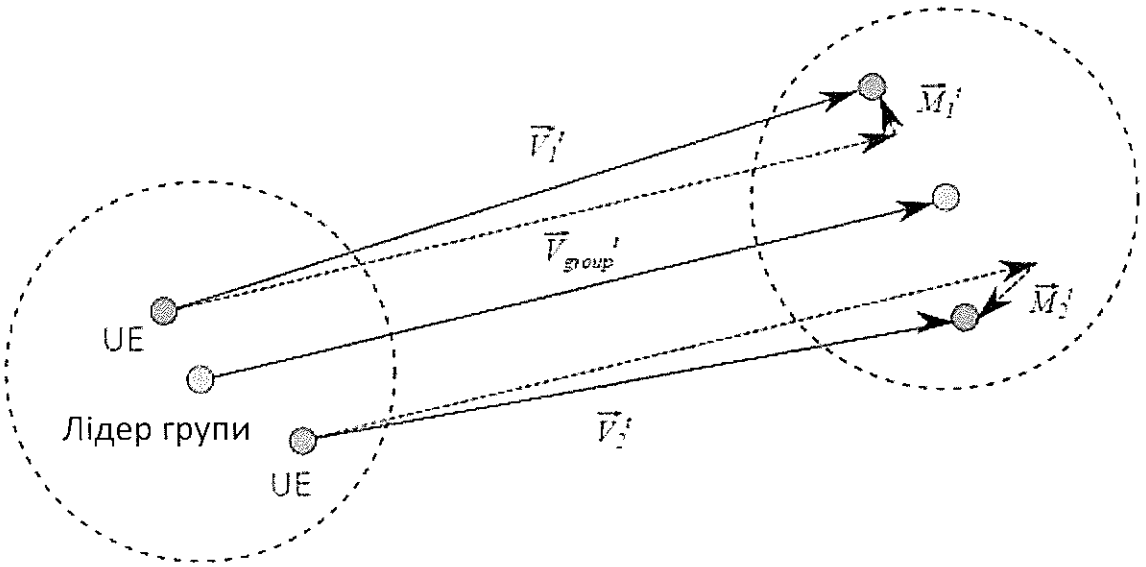


Рис. 4.3. Модель мобільності групи опорних точок

Далі досліджуються випадки, коли просторова щільність користувачів змінюється з часом. Наприклад, це може бути масовий захід, наприклад, свято. Для моделювання групової мобільності користувачів ми використовуємо модель RPGM [35] (див. рис. 4.3), де кожна група користувачів має лідера, рух якого визначає напрямок мобільності всієї групи. У RPGM моделі, користувачі організовані в групах в відповідності з їх реальними реляційними базами. Зокрема, кожна група має лідера, рухливість якого визначає рух усієї групи, включаючи положення, напрямок руху, швидкість та прискорення. Модель фіксує рухливість кластерів, встановлюючи шлях для кожного кластера. Шлях, за яким пройде кластер, задається шляхом визначення послідовності точок разом із шляхом, що відповідає заданим інтервалам часу.

У цій моделі мобільності рух центру групи в момент часу t може бути заданий вектором руху V_{group}. Кожен користувач групи змінює свій напрямок із загального вектор руху V_{group} на певний ступінь. Мобільність кожного користувача визначається опорною точкою, яка слідкує за рухом кластера. Номінально вектор рухливості $V^t{}_i$ члена групи і може бути описаний як:

$$\vec{V}_i^t = \vec{V}_{group}^t + \vec{M}_i^t, \tag{4.1}$$

де $V^t{}_{group}$ – вектор руху центру групи, а $M_i{}^t$ – вектор випадкового відхилення для члена групи і.

Групові траєкторії використовують випадкову рухливість напрямку (RDM), тоді як вектор M слідує за незалежними та ідентично розподіленими випадковими величинами. Його довжина розподіляється рівномірно в межах визначеного радіуса [0, dmax] з центром у опорній точці, де dmax – це максимально допустима варіація відстані, напрямок якої d розподіляється рівномірно на інтервалі [0, 2n].

За допомогою відповідного вибору точок та параметрів у моделі RPGM можна охарактеризувати різні програми мобільності. У цьому контексті можна змоделювати кілька застосувань моделі RPGM [35]. Наприклад, RPGM включає

"модель географічного поділу", де весь простір розділений на суміжні райони з різною групою в кожній області. Ця модель може бути використана для широкомасштабної ситуації, коли різні команди працюють у своїх спеціальних регіонах. Іншим додатком може бути «операція, що перекривається», коли різні групи виконують різні завдання в одній області. Наступним додатком є «сценарій конвенції». Він моделює взаємодію між учасниками та учасниками. Наприклад, у цьому сценарії кілька груп можуть демонструвати свою продукцію в окремих, але сполучених областях. Група учасників подорожує з району в район, і вони можуть на деякий час зупинитися в одній зоні, а потім перейти до іншої. Як варіант, група може миттєво пройти через одну зону.

4.3 Оптимізація Particle Swarm Optimization

Для цілей оптимізації ІАВ на основі БПЛА розглянуто динамічний та спеціальний алгоритм на основі методу Particle Swarm Optimization (PSO). PSO – це корисна евристика, що стосується динамічної оптимізації шляхом поступового вдосконалення рішення щодо даного параметра. Цей алгоритм імітує взаємодію між частинками для обміну інформацією. Він вирішує проблему, маючи набір можливих рішень у здійсненній області даної проблеми. На рух кожної частинки впливає місцеве найвідоміше положення, але воно також спрямовується до найвідоміших позицій у просторі пошуку, які оновлюються у міру виявлення кращих позицій іншими частинками.

PSO - це стохастичний алгоритм оптимізації. Кінцевою метою винаходу цього алгоритму оптимізації було моделювання соціальної поведінки тварин. Групова поведінка різних тварин, таких як птахи або риби, підпадає під певний шаблон, що надихнуло авторів алгоритму на його розробку. Підхід зберігає рій частинок, де кожна частинка є можливим рішенням поточної проблеми. Для вимірювання точності частинок у просторі пошуку використовується функція витрат. По суті, частинки розподіляються випадковим чином по цікавій зоні

пошуку, потім їх регулюють відповідно до їхнього особистого досвіду та знань про найкраще положення частинок рою.

Крім того, PSO є метаевристичним підходом. Метагевристика зазвичай не забезпечує знаходження оптимального рішення. Крім того, алгоритм не використовує градієнт розглянутої проблеми, а це означає, що він не вимагає, щоб задача оптимізації була диференційованою, як цього вимагають традиційні методи оптимізації [27].

Ідею методу можна графічно описати, як на рис. 4.4. Для частинки і положення частинки позначається як Xi. Щоб розрізнити кроки, t показує номер ітерації алгоритму. Крім того, кожна частинка має швидкість, яка описує рух частинки і у сенсі напрямку в просторі пошуку. Окрім положення та швидкості, кожна частинка має пам'ять про своє найкраще положення, де вона має найкраще рішення. Це позначається як особистий найкращий пі. Більше того, на додаток до особистого найкращого, найкращий світовий досвід існує серед усіх частинок, позначених як g. На відміну від цього, найкращий світовий досвід належить цілому рію. Нова позиція xi (t + 1) створена відповідно до попередньої швидкості, найкращих персональних та найкращих глобальних рішень. Отже, частинка рухається в нове положення за допомогою трьох векторів.

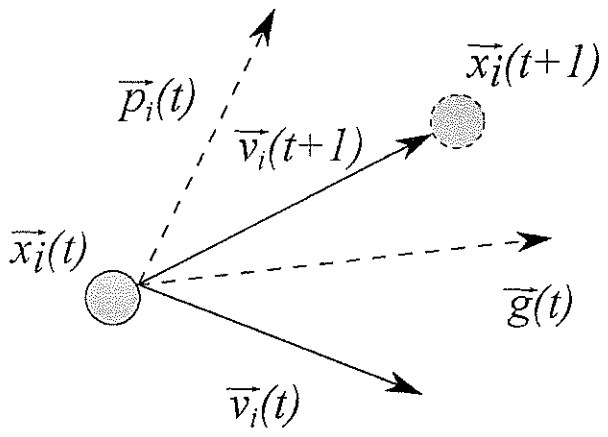
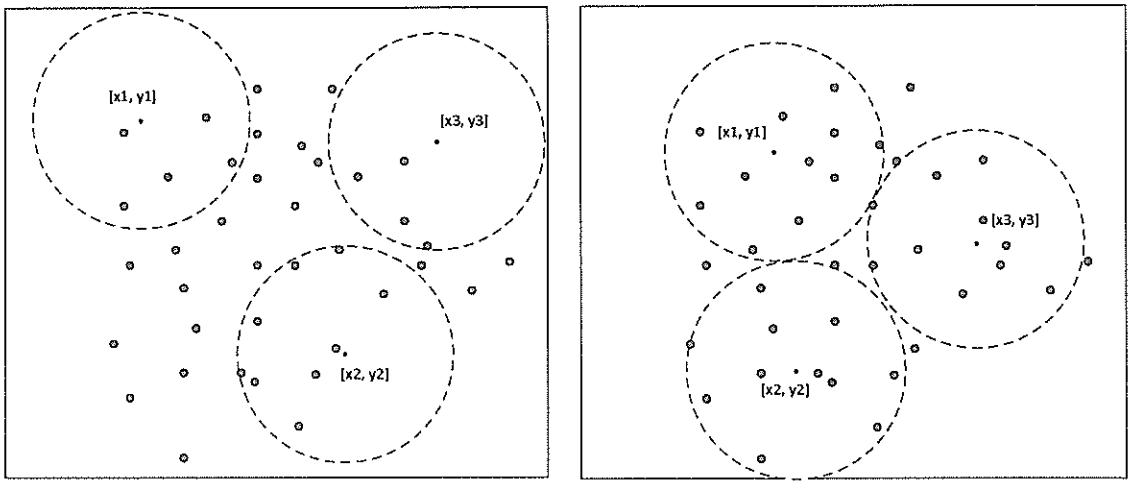


Рис. 4.4. Основна ідея алгоритму PSO

Математично це можна описати наступним чином:

$$\begin{cases} \vec{v}_i(t+1) = w \cdot \vec{v}_i(t) + c_1 \cdot (\vec{p}_i(t) - \vec{x}_i(t)) + c_2 \cdot (\vec{g}(t) - \vec{x}_i(t)) \\ \vec{x}_i(t+1) = \vec{x}_i(t) + \vec{v}_i(t+1), \end{cases} \quad (4.2)$$

де $v_i(t)$ – швидкість частинки, p_i – найкраще особисте рішення, g – найкраще глобальне рішення, а параметри w, c_1 та c_2 обираються практиком і контролюють поведінку або ефективність методу PSO. Приклад результату алгоритму PSO представлений на рис. 4.5б.



а) Вихідні позиції б) PSO алгоритм

Рис. 4.5. Приклад алгоритму PSO

Запропонований алгоритм виглядає таким чином, як показано на рис. 4.6.

У симуляторі рівня WINTERsim UE вимірює потужність сигналу безперервно (з певним інтервалом часу) та незалежно для кожної BS, яку він може виявити. Тому однією з важливих особливостей симулятора є вимірювання фізичного рівня, що підтримуються моделями втрат шляху, перешкод та багатопроменевого затухання. Існують також допоміжні функціональні можливості, які включають активні антенні решітки, різні моделі антен та підмітання променя.

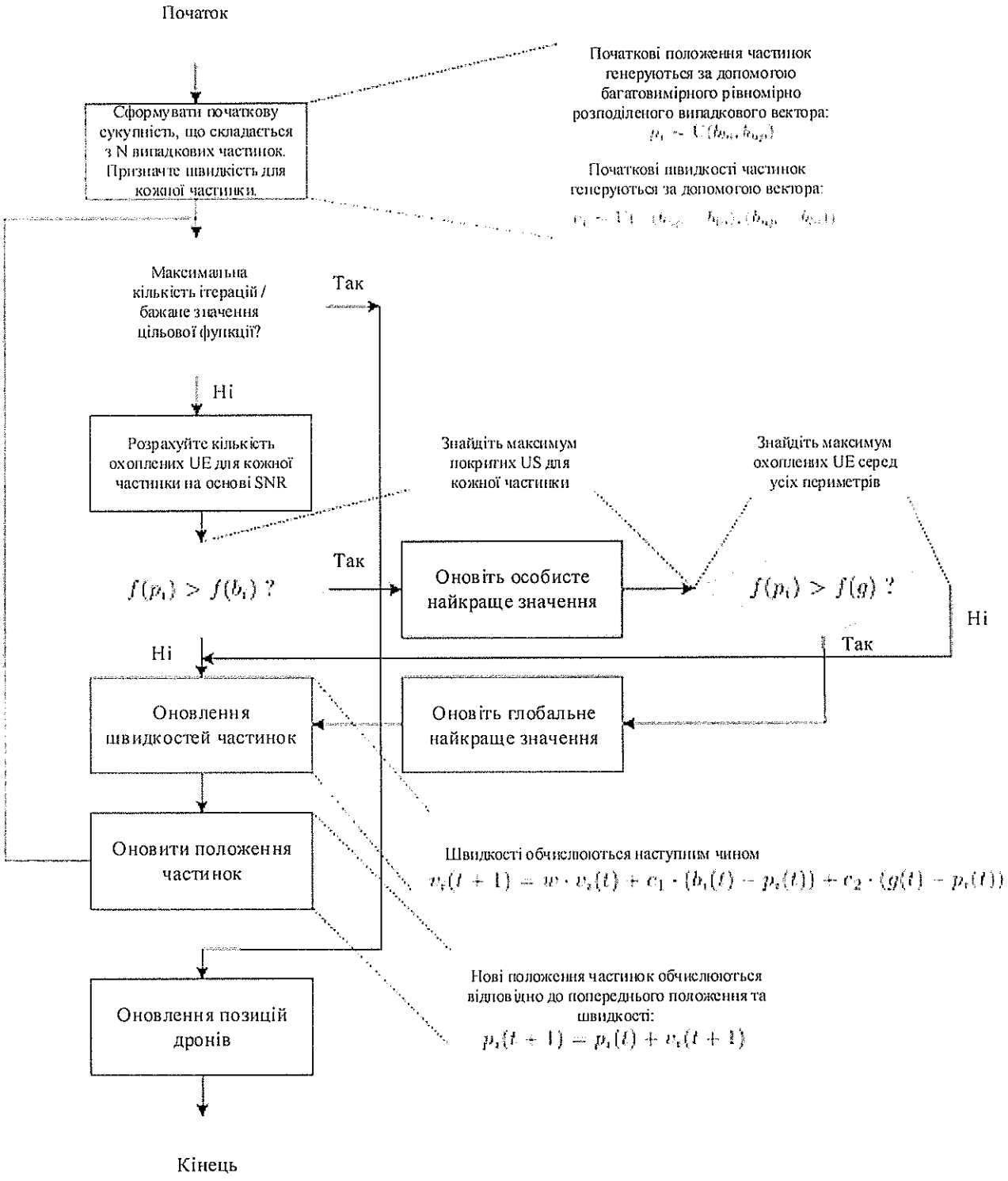


Рис. 4.6. Алгоритм PSO

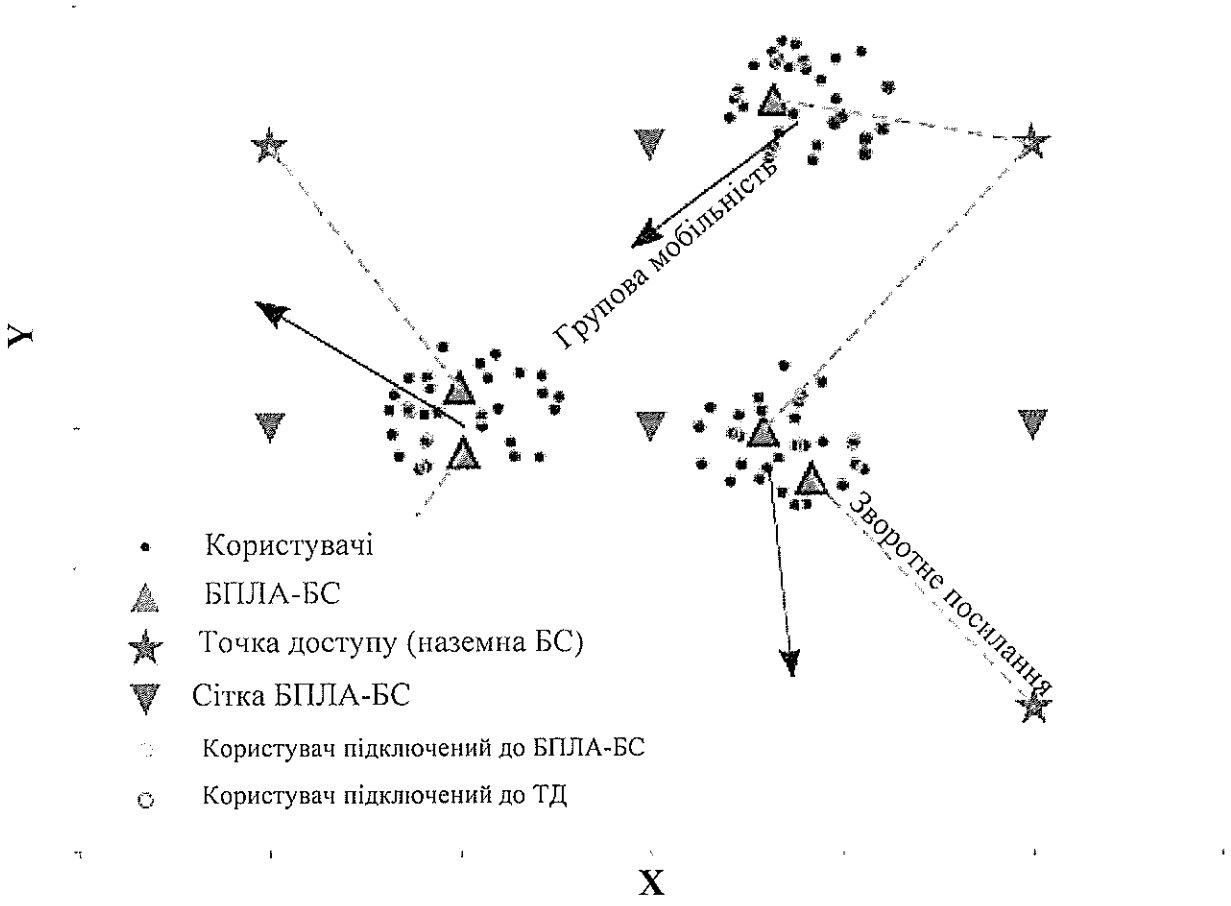


Рис. 4.7. Приклад розгортання БПЛА на базі PSO та мережі

Ми розглядаємо дві цікаві метрики: середню пропускну здатність UE та справедливість. Для останнього ми використовуємо індекс справедливості Джейна, який кількісно визначає "рівність" результатів UE:

$$J(x_1, x_2, \ldots, x_n) = \frac{(\sum_{i=1}^{n} x_i)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^{n} x_i^2}, \tag{4.3}$$

де x_i – потужність і-го з'єднання, n – кількість користувачів. Якщо всі UE отримують однакову пропускну здатність, цей індекс дорівнює 1.

Індекс справедливості Джейна – одна з найпопулярніших метрик, яка враховує дисперсію розподілу ресурсів у бездротовій мережі. Можна також використовувати, наприклад, комбінацію 5-го процентилю, 95-перцентиля та середнього значення, але індекс Джейна легший і, як правило, більш

репрезентативний. Приймаючи значення від нуля до одиниці, індекс Джейна демонструє справедливість незалежно від загальної потужності мережі. Як правило, показник справедливості а бездротова мережа залежить від трьох факторів: позицій UE та BS, середовища з точки зору каналів та реалізації планувальника MAC. Планувальник MAC може бути використаний, він компенсує зміни перших двох факторів, пропонуючи більше джерел користувачеві з поганою підключеністю, що вводить компроміс між загальною пропускною здатністю мережі та справедливістю.

5 ЧИСЛОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

5.1 Виконання сценаріїв перевірки

У цьому розділі досліджується ефективність IAB-систем на базі БПЛА у міських розгортаннях із кластерними мобільними користувачами. Зокрема, ми демонструємо переваги використання оптимізованої роботи IAB на базі БПЛА у порівнянні зі звичайним розгортанням мережі, а також характеризуємо компроміси, що виникають внаслідок конвергентних повітряних та наземних комунікацій.

Щоб відрегулювати структуру моделювання, ми розпочали з налаштування конфігурації простих сценаріїв у SLS: сценарії включають один інфраструктурний AP, один БПЛА-БС та UE, розподілених по території, що нас цікавить (рис. 5.1). Метою цих моделювань є пошук оптимальних значень змінних параметрів.

Початкові сценарії включають такі випадки:

• У першому сценарії розглядається випадок, коли БПЛА завжди витає над центром кластера UE. Вважається, що висота БПЛА фіксована, і вона змінює свій напрямок виключно в горизонтальній площині. Далі варіюється відстань від БПЛА, а отже, і кластеру UE, до наземної точки AP.

• Інший сценарій передбачає подібне розгортання. Однак у цьому випадку 2D відстань від БПЛА-БС до точки доступу є фіксованою, а змінним параметром є висота БПЛА-БС. Крім того, припускається, що кожного разу, коли змінюється радіус покриття UAV, радіус кластера UE також змінюється відповідно.

• У третьому сценарії фіксована відстань від центру скупчення UE до наземної точки AP, радіус кластера UE та висота БПЛА UA-BS також зафіксовані. Єдиним змінним параметром є положення БПЛА, вона рухається між центром скупчення UE і наземним AP.

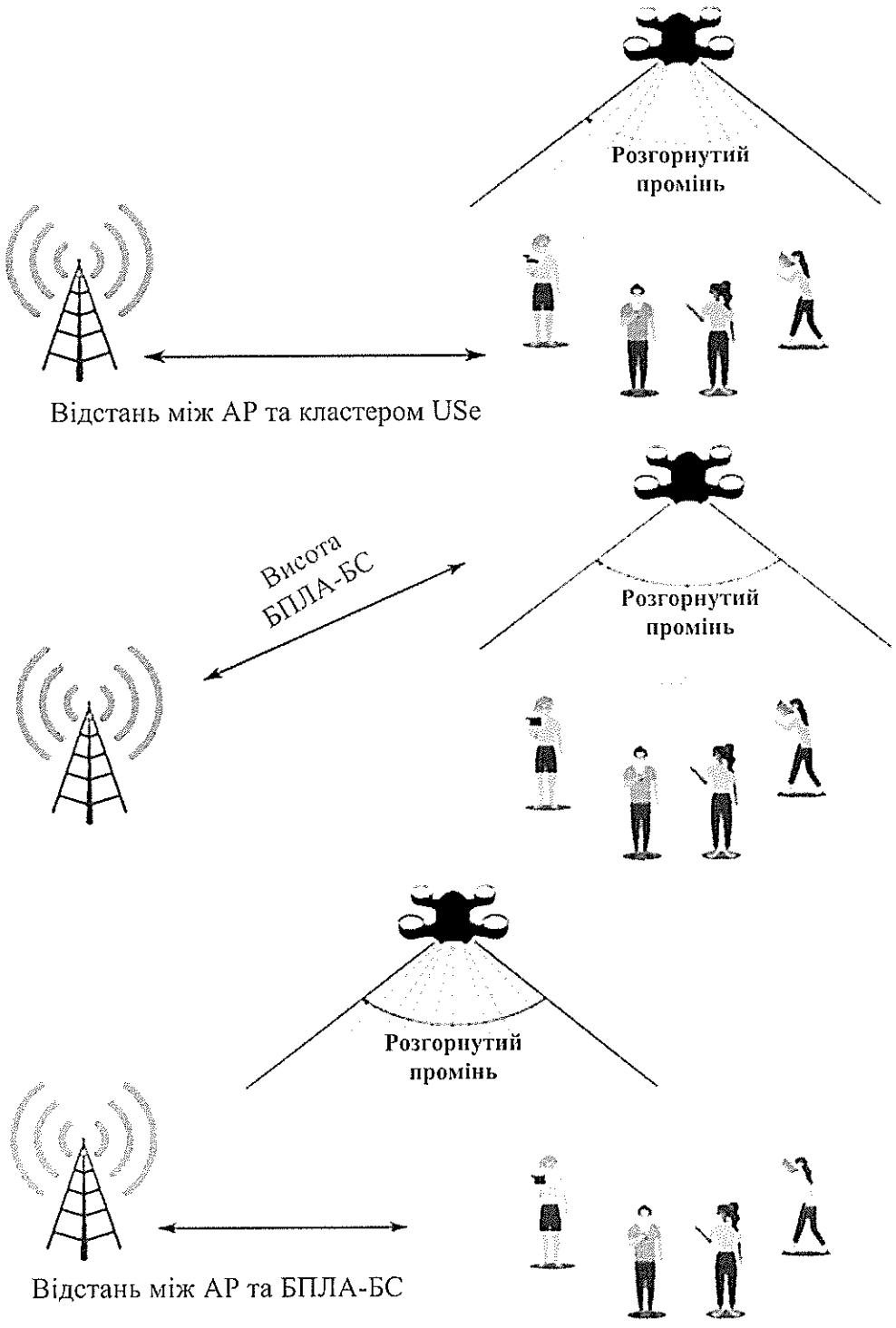


Рис. 5.1. Ілюстрація змодельованих сценаріїв

На рис. 5.2 показана пропускна здатність даних для доступу та зворотних зв'язків для різних відстаней між наземним АР та БПЛА-БС. Ми спостерігали, що пропускна здатність каналу доступу залишається незмінною, оскільки БПЛА-БС

завжди витає над кластером UE. Навпаки, загальна пропускна здатність зворотного зв'язку зменшується із збільшенням відстані від точки доступу.

Рис. 5.3 показує пропускну здатність даних для доступу та зворотного зв'язку для різної висоти БПЛА. Видно, що пропускна здатність зворотного зв'язку та посилань доступу зменшується зі збільшенням висоти над рівнем моря. Оскільки ми розглядаємо агрегований трафік даних від UE, який буферизується на БПЛА-БС, пропускна здатність зворотного зв'язку не може перевищувати пропускну здатність каналу доступу. Отже, посилання на доступ є вузьким місцем, яке обмежує загальну швидкість передачі даних.

Рис. 5.4 показує пропускну здатність даних для доступу та зворотних зв'язків для різних відстаней між наземним АР та БПЛА-БС. Ми спостерігали, що пропускна здатність лінії доступу зростає із збільшенням відстані від точки доступу до БПЛА-БС, оскільки розгортання UE фіксовано.

Навпаки, пропускна здатність зворотного зв'язку зменшується зі збільшенням відстані. Однак через те, що швидкість передачі даних агрегується на БПЛА-БС, пропускна здатність зворотного зв'язку обмежена посиланням доступу.

Загалом, результатами цих сценаріїв є значення пропускної здатності для зворотного зв'язку та посилань доступу. Ці елементарні сценарії допомогли знайти оптимальну функцію втрат для задачі оптимізації. Більше того, точний вибір антенних решіток та їх параметрів є важливим для правильного моделювання рівня системи. За допомогою результатів моделювання були отримані оптимальні параметри антени. Крім того, ці сценарії підтримували перевірку та тестування системи моделювання.

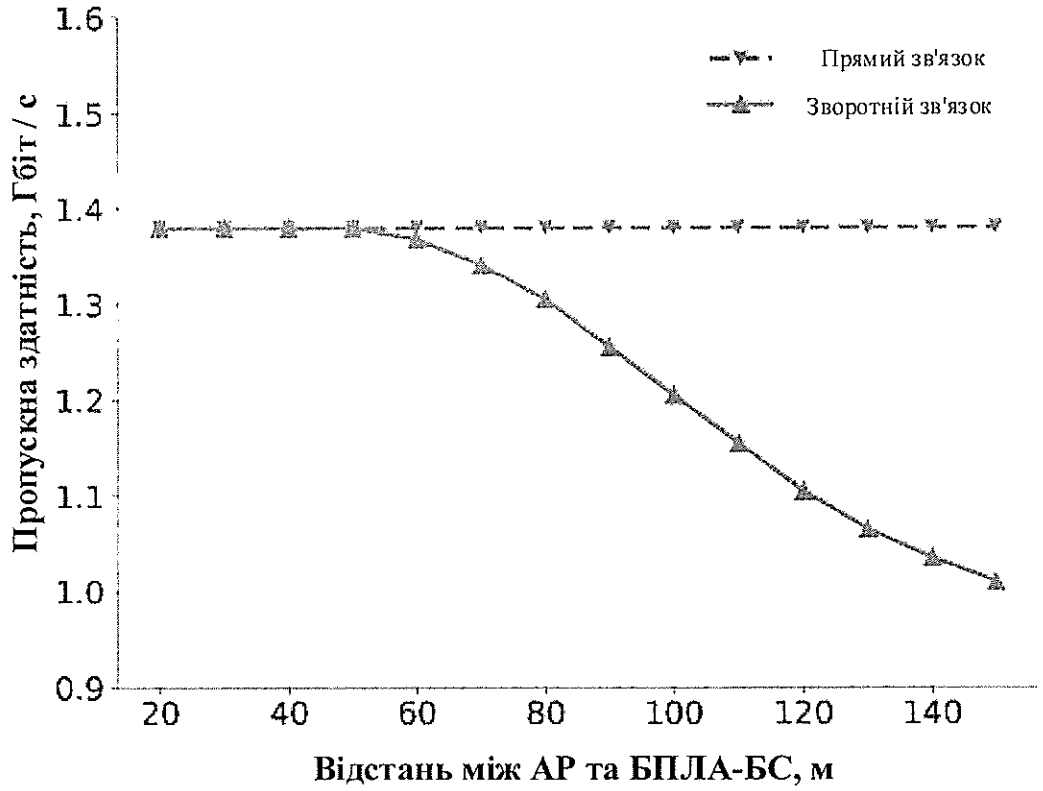


Рис. 5.2. Залежність пропускної здатності для першого сценарію

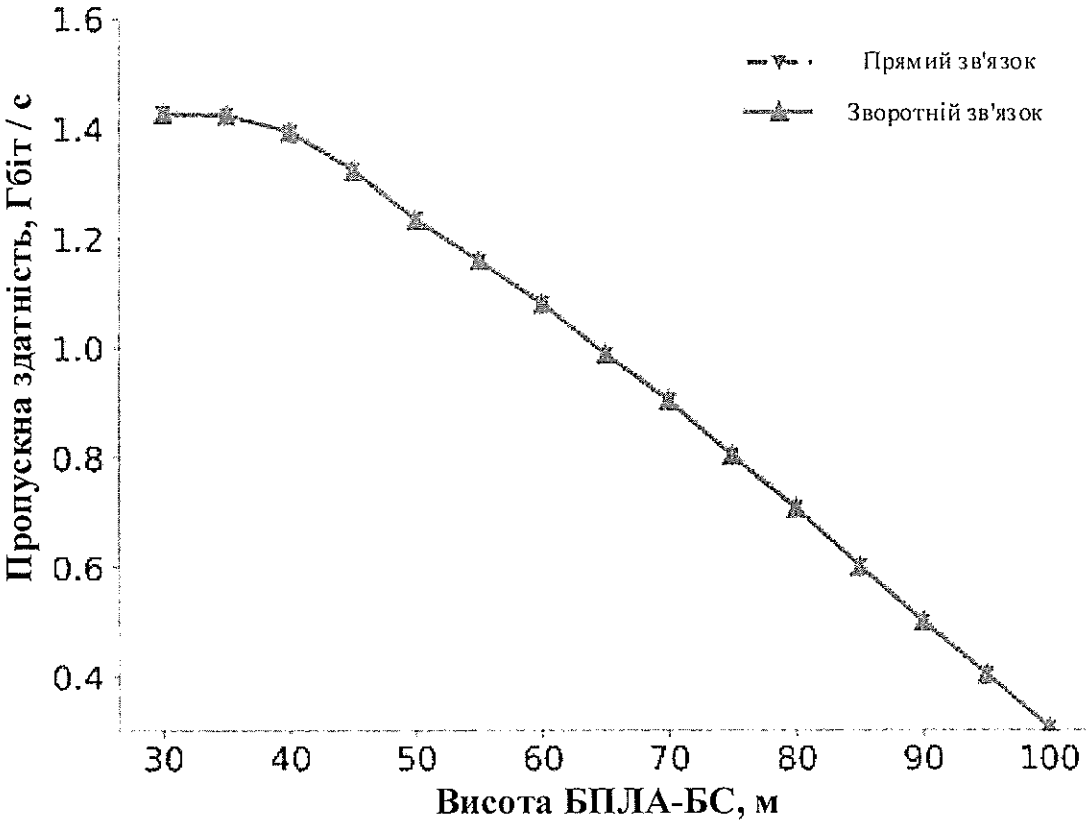


Рис. 5.3. Залежність пропускної здатності для другого сценарію

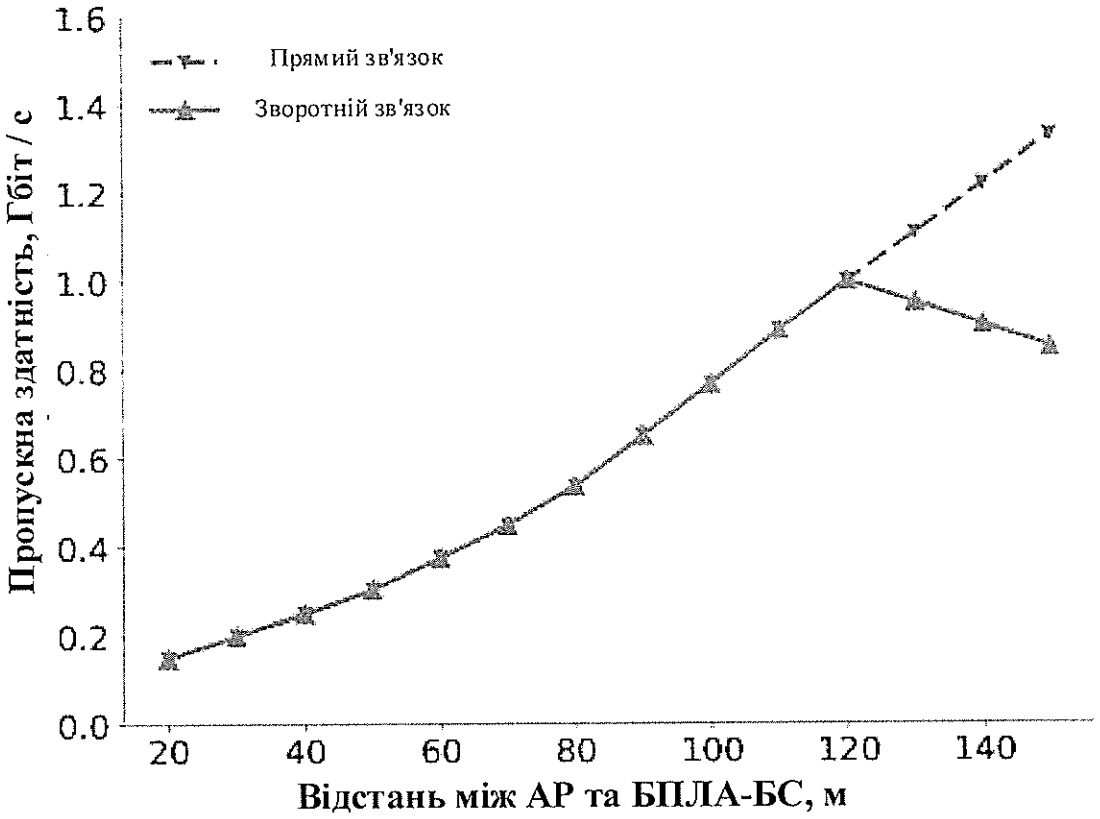


Рис. 5.4. Залежність пропускної здатності для третього сценарію

5.2 Виконання БПЛА на основі IAB систем

Ми продовжуємо з наданням репрезентативних числових результатів для роботи IAB на базі БПЛА. Ми починаємо з висвітлення важливості врахування обмежень, накладених реконструкцією при розглянутому інтегрованому наземному / повітряному розміщенні. Рис. 5.5 повідомляє про кумулятивну функцію розподілу (CDF) середньої пропускної здатності UE для розглянутого динамічного алгоритму оптимізації PSO у трьох різних випадках: (i) ідеальний бекхай, (ii) безнадійний бекхайл та (iii) бекхай усвідомлений. Перший припускає, що пропускна здатність зворотного зв'язку не обмежена і може потенційно задовольнити всі вимоги, накладені UE на інтерфейс UE-UAV. У схемі невідомого зворотного зв'язку ми застосовуємо обмеження швидкості пропускної

здатності зворотного зв'язку, але це не враховується алгоритмом оптимізації. Нарешті, схема, що обізнана про перевезення, чітко включає обмеження швидкості на повітряному інтерфейсі зворотного сполучення. Зазначимо, що перші два припущення часто приймаються в різних дослідженнях повітряних зв'язків [14].

Аналізуючи результати на рис. 5.5, хтось може зауважити, що ідеальна схема зворотного зв'язку значно завищує фактичну пропускну здатність, оскільки ймовірність мати пропускну здатність менше ніж 0,7 Гбіт/с є незначно малою. Це пояснюється тим, що весь трафік, який генерується UE в зоні покриття БПЛА-БС, як передбачається, доставляється в точки доступу. Це припущення дозволяє алгоритм оптимізації позиціонувати БЛА-BSS безпосередньо поверх кластерів користувачів, тим самим максимізуючи пропускну здатність на UE - БПЛА повітряного інтерфейсу. І навпаки, схема зворотної передачі una- кардинально занижує фактичну пропускну здатність, оскільки явно не враховує обмеження швидкості зворотного сполучення.

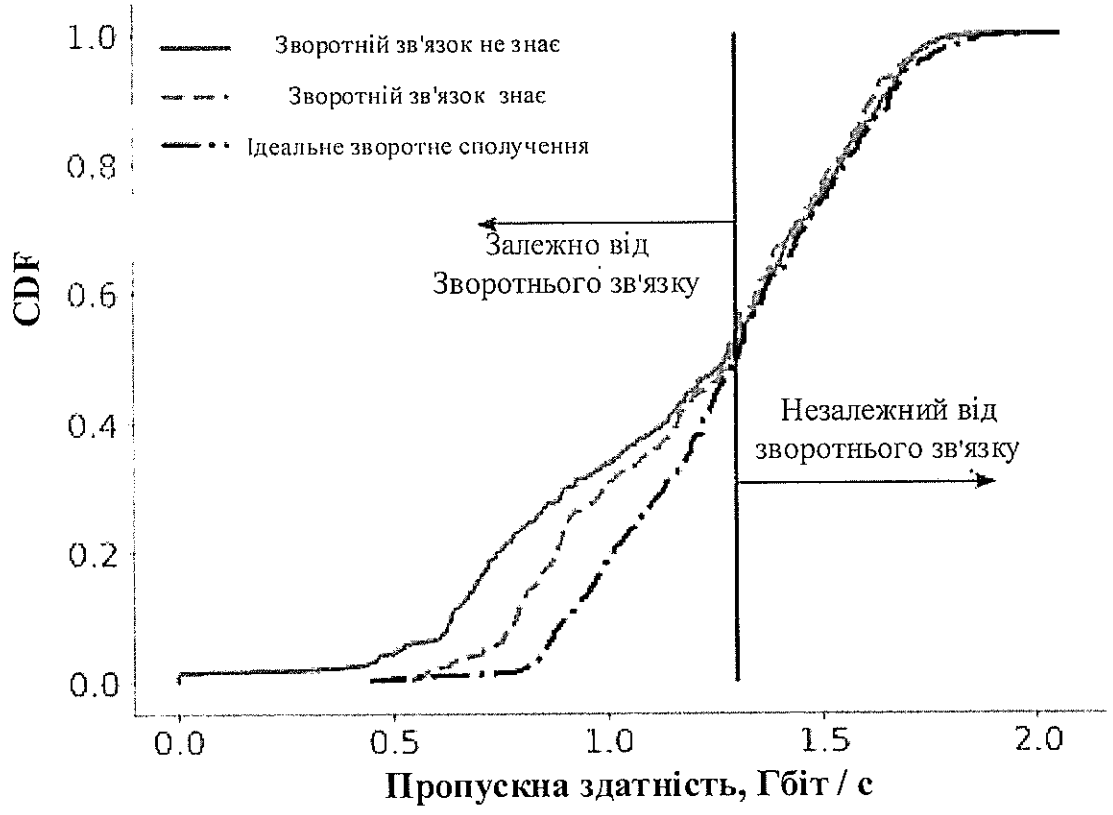


Рис. 5.5. CDF пропускної здатності зворотного зв'язку

У цьому випадку БПЛА БП розташовані подібно до тих, що є в ідеальному каналі зворотного сполучення, але швидкість на інтерфейсі БПЛА-ПП часто недостатня для розвантаження всього сформованого трафіку. Тут система працює в режимі, обмеженому зворотним сполученням. Параметри системи зведені в таблицю 5.1.

Нарешті, коли явно враховуються як обмеження доступу, так і зворотного зв'язку, фактична пропускна здатність знаходиться між двома вищезазначеними крайнощами. У цьому випадку позиції БПЛА БЛА більше не вибираються поверх центрів кластера, оскільки вища вимога до швидкості зворотного перевезення зміщує їх ближче до пов'язаної на даний момент точки доступу. Іншим цікавим зауваженням на рис. 5.5 є те, що ефективність усіх розглянутих схем відрізняється лише для розподілу пропускної здатності від низької до середньої, що означає, що починаючи з приблизно 1,3 Гбіт / с криві збігаються між собою. Це наслідок обмеження пропускної здатності на зворотному зв'язку. Зокрема, пропускна здатність найкраще розташованої точки доступу однакова у всіх випадках, що дає результат, що для кластера UE, розгорнутих близько до точки доступу, зворотний зв'язок не має великого впливу.

Природно очікувати, що позиції БПЛА і, отже, розподіл пропускної здатності УП будуть сильно залежати від взаємодії між кількістю кластерів і кількістю БЛА-БЛА. Ми вивчаємо цей ефект, використовуючи середню пропускну здатність UE як наш цікавий параметр. На рис. 5.6 ми варіюємо кількість БПЛА БП, розгорнутих у сценарії, зберігаючи кількість кластерів рівним 4. Цей графік також порівнює результати для динамічного алгоритму, заснованого на PSO, з результатами статичного розгортання БПЛА. Як і очікувалося, для обох розгортань середня пропускна здатність UE зростає зі збільшенням кількості БПЛА. Найбільш суттєва різниця між розгортаннями спостерігається для невеликої кількості БПЛА. Параметри системи для цього випадку зведені в таблицю 5.2.

Обґрунтування такої поведінки полягає в тому, що тут розгортання на основі мережі не може повною мірою обслуговувати зацікавлену область, і іноді UE або потрапляють далеко від БПЛА UA-BS, або можуть не знаходитись під їх покриттям. Зі збільшенням кількості вузлів ця різниця зменшується, оскільки розгортання на основі сітки зараз щільно охоплює всю зону обслуговування, і всі UE завжди знаходяться в зоні покриття принаймні одного БПЛА-БС.

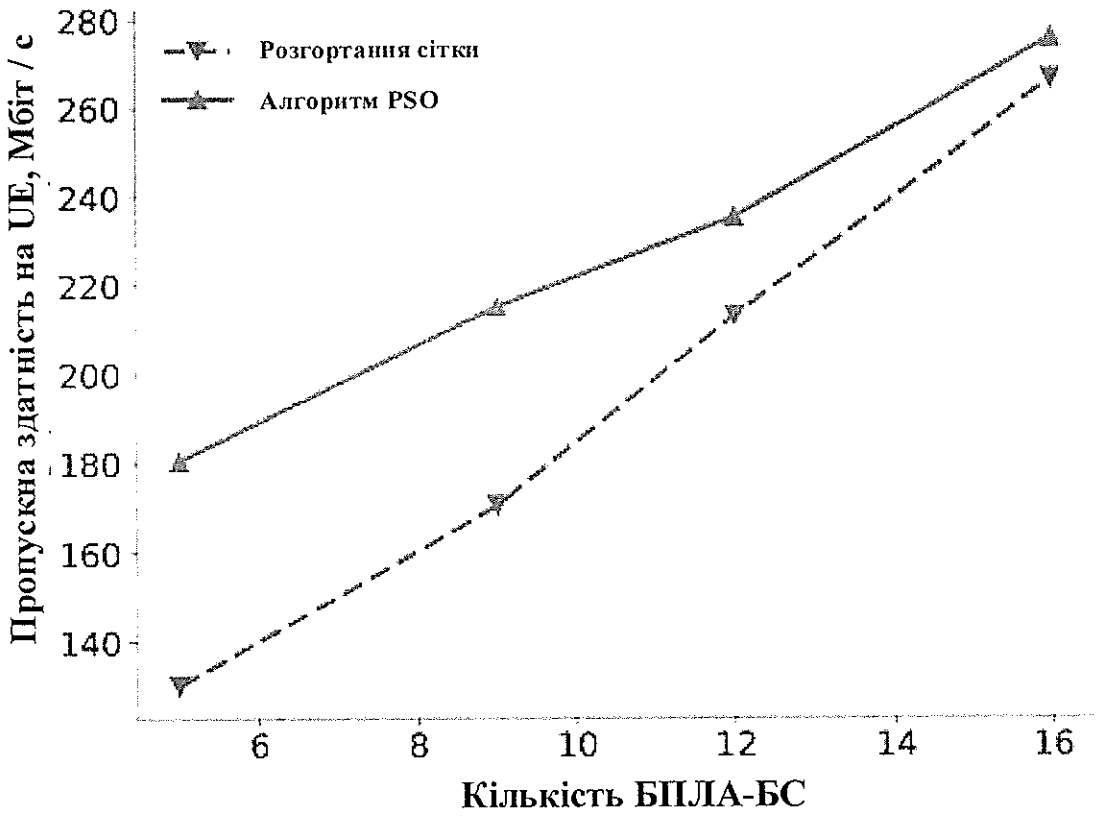


Рис. 5.6. Середня пропускна здатність UE для різної кількості БПЛА-БС

Ще однією причиною зменшення виграшів є те, що при надзвичайно великій кількості БПЛА БП перешкоди починають відігравати важливу роль для досяжної пропускної здатності, не дозволяючи алгоритму розташовувати БПЛА БС якомога ближче. Це можна полегшити за допомогою використання більш спрямованих антен на UE шляхом ефективної ізоляції передач UE на тісно розташовані БЛА-BS. Однак навіть для цих дуже щільних розгортань

використання методів динамічної оптимізації дозволяє поліпшити пропускну здатність UE, оптимально розміщуючи БПЛА навколо кластерів UE і постійно дотримуючись цих кластерів.

Розглянутий динамічний алгоритм PSO є корисним для визначення оптимізованих розташувань БПЛА-БС для максимізації пропускної здатності UE на основі критерію справедливості. На рис. 5.7, вивчається вплив кількості кластерів на індекс справедливості Джейна, підтримуючи кількість БПЛА БС постійною на рівні 5 для двох розглянутих розгортань БЛА-БС. Параметри системи зведені в таблицю 5.3. По-перше, важливо зазначити, що збільшення кількості кластерів UE призводить до падіння справедливості між розподілом пропускної здатності. Зокрема, існує значна деградація для трьох скупчень.

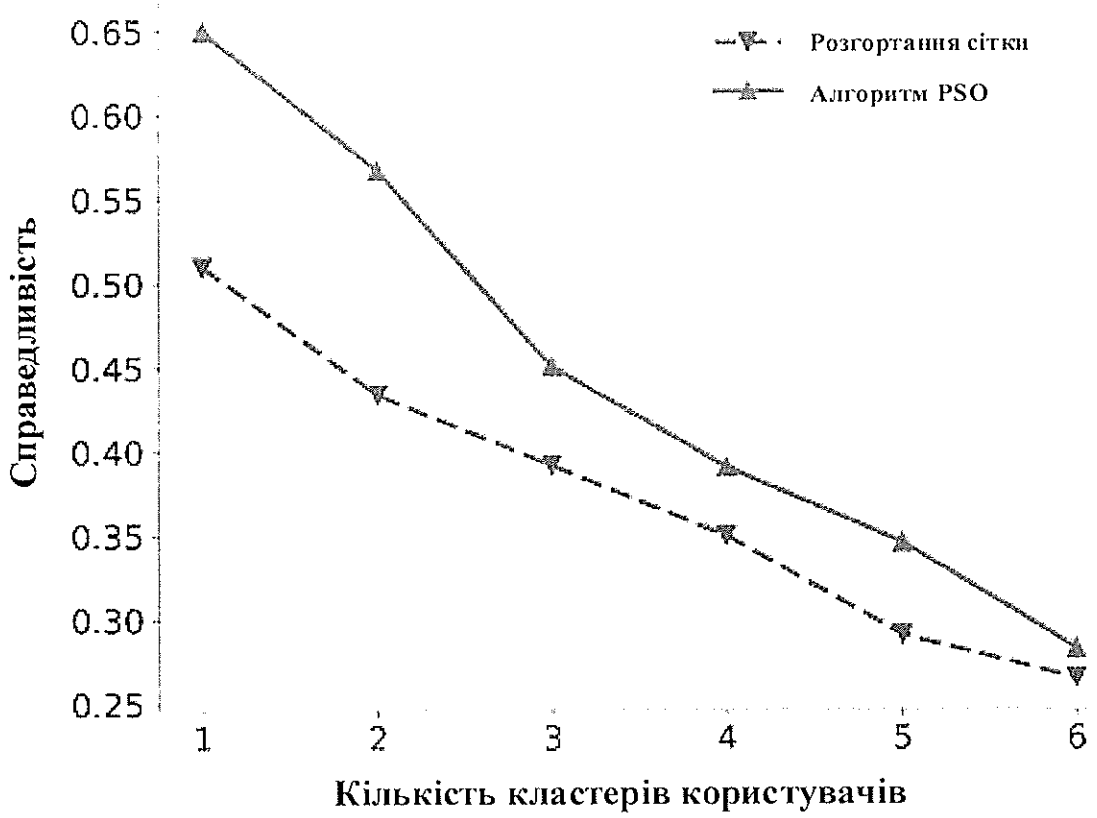


Рис. 5.7. Справедливість для різної кількості кластерів UE

Основною причиною цього у випадку динамічної оптимізації PSO є те, що для одного, двох або чотирьох кластерів існують чіткі "оптимальні" комбінації позицій БПЛА - БС, що призводить до подібних характеристик UE.

Наприклад, для чотирьох БПЛА та двох кластерів UE алгоритм PSO змушує БПЛА відстежувати кластери, розташовані на їх протилежних сторонах (два БПЛА на кластер). Отже, доступна пропускна здатність UE майже рівна, і єдина різниця полягає в випадкових розташуваннях UE всередині кластерів. Зі збільшенням кількості скупчень таких позицій немає, що призводить до рівних відстаней до пов'язаних БПЛА-БС. Іншими словами, згаданий алгоритм намагається справедливо розділити БПЛА між кластерами, але у випадку, наприклад, трьох кластерів і п'яти БПЛА-БС, буде один кластер, який обслуговується виключно одним БПЛА-БС; отже, індекс справедливості Джейна погіршується. Щодо розгортання на основі мережі, можна спостерігати подібну тенденцію - справедливість розподілу пропускної здатності UE зменшується. Однак ця тенденція є більш м'якою, оскільки при збільшенні кількості кластерів частка UE, що не охоплені, зменшується, що позитивно сприяє індексу справедливості Джейна.

Подібно до рис. 5.6, найбільший виграш у справедливості досягається для невеликої кількості кластерів UE, тобто для одного або двох кластерів. Вже для трьох кластерів значення справедливості для двох схем розгортання наближаються один до одного. Незважаючи на те, що рішення на основі PSO все ще демонструє кращі показники, сітка БПЛА складається так, щоб максимізувати ймовірність покриття УП принаймні одним БПЛА або наземним АР.

Рівні продуктивності двох розглянутих розгортань стають все більш схожими коли кількість кластерів перевищує кількість БПЛА (тобто, шість та п’ять у даному сценарії відповідно). У цьому випадку розглянутий алгоритм буде прагнути розмістити один із БПЛА БП між двома кластерами, щоб забезпечити хоча б деяке покриття, але це може бути неможливим через велику відстань між

кластерами. Відповідно, UE ізольованого кластера повинні будуть покладатися виключно на наземну мережу, а показники справедливості залишатимуться подібними до показників розгортання мережі.

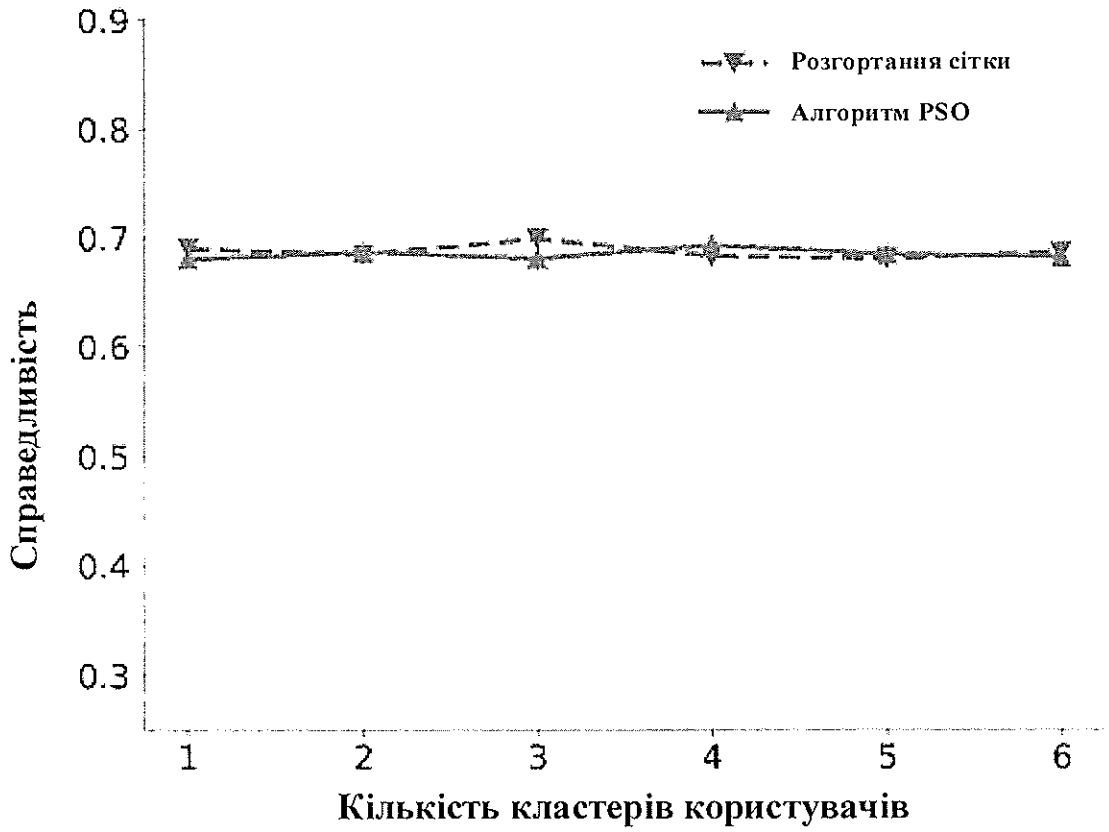


Рис. 5.8. Справедливість для різної кількості кластерів UE

У цій роботі встановлено планувальник як Round-Robin, який розподіляє ресурси однаково незалежно від умов каналу та вносить додатковий ступінь свободи, дозволяючи мобільність БПЛА-БС. Як було показано раніше, коли БПЛА не можуть охопити всю зону обслуговування, мобільність БПЛА дозволяє не тільки збільшити пропускну спроможність мережі, але і поліпшити справедливість і, таким чином, уникнути вищезазначеної торговельної спроможності до справедливості. вимкнено. Хоча справедливість може впасти, якщо зменшити кількість розгорнутих БПЛА, алгоритм PSO все ще дозволяє працювати ефективніше, ніж статичне розгортання БПЛА БС.

Щоб показати значення справедливості, ми змоделювали подібний сценарій, коли кількість БПЛА дорівнює 16. Рис. 5.8 подає індекс справедливості для різної кількості кластерів UE. Як можна помітити, збільшення кількості кластерів UE не призводить до зменшення індексу справедливості порівняно з випадком з 5 БПЛА-БС. Це можна пояснити тим, що розгортання 16 БПЛА повністю охоплює сферу інтересів. Отже, кінцеві користувачі отримують приблизно рівні ресурси незалежно від кількості кластерів UE. Подібним чином алгоритм PSO обробляє 16 БПЛА-БС над меншою кількістю кластерів UE, і, отже, БПЛА-БС можуть рівномірно розподіляти ресурси. Параметри моделювання для першого, другого та третього сценарію представлені в таблицях 5.1, 5.2 та 5.3.

Таблиця 5.1.

Параметри моделювання для першого сценарію

Параметр	Значення
Район розгортання	600 м x 600 м
Кількість точок доступу	4
Кількість БПЛА	2
Кількість UE	100
Розподіл UE	Скупчений
Радіус розподілу UE	50 м
Насіння	200
Модель каналу для зв'язку AP-UAV	Модель каналу mmWave LOS
Модель каналу для посилання AP- UE	Модель каналу mmWave

Таблиця 5.1.

Параметри моделювання для першого сценарію

Модель каналу для посилання UAV- UE	Модель каналу mmWave
AP площинні антенні решітки	8x8 (доступ та переклад)
Планарні антенні решітки БПЛА	8x8 (доступ), 4x4 (бекхай)
Висота БПЛА	20 м
Висота AP	20 м
Висота UE	1,5 м
Несуча частота	73 ГГц
Пропускна здатність системи	0,56 ГГц
Потужність передачі	24 дБм
Регулювання потужності	Повна потужність
Періодичність підмітання променя	3 мкс
Розмір кадру	3 мкс
Режим передачі	TDM
Розмір пакета	1000 байт
Цільова швидкість передачі даних	500 Мбіт/с
Планування AP та БПЛА-БС	Кругової
Значення a	2

Таблиця 5.2.

Параметри моделювання для другого сценарію

Параметр	Значення
Район розгортання	600 м x 600 м
Кількість точок доступу	4
Кількість БПЛА	9.05.12/16
Кількість UE	100
Розподіл UE	Скупчений
Радіус розподілу UE	50 м
Насіння	200
Модель каналу для зв'язку AP-UAV	Модель каналу mmWave LOS
Модель каналу для посилання AP- UE	Модель каналу mmWave
Модель каналу для посилання UAV- UE	Модель каналу mmWave
AP площинні антенні решітки	8x8 (доступ та переклад)
антенні решітки БПЛА	8x8 (доступ), 4x4 (бекхай)
Висота БПЛА	20 м
Висота AP	20 м
Висота UE	1,5 м
Несуча частота	73 ГГц

Продовження таблиці 5.2.

Параметри моделювання для другого сценарію

Пропускна здатність системи	0,56 ГГц
Потужність передачі	24 дБм
Регулювання потужності	Повна потужність
Періодичність підмітання променя	3 мкс
Розмір кадру	3 мкс
Режим передачі	TDM
Розмір пакета	1000 байт
Цільова швидкість передачі даних	500 Мбіт/с
Планування АР та БПЛА-БС	Кругової
Значення a	2

Таблиця 5.3.

Параметри моделювання для третього сценарію

Параметр	Значення
Район розгортання	600 м x 600 м
Кількість точок доступу	4
Кількість БПЛА	5
Кількість кластерів UE	1/2/3/4/5/6

Продовження таблиці 5.3.

Параметри моделювання для третього сценарію

Розподіл UE	Скупчений
Радіус розподілу UE	50 м
Насіння	200
Модель каналу для зв'язку AP-UAV	Модель каналу mmWave LOS
Модель каналу для посилання AP- UE	Модель каналу mmWave
Модель каналу для посилання UAV- UE	Модель каналу mmWave
AP площинні антенні решітки	8x8 (доступ та переклад)
Планарні антенні решітки БПЛА	8x8 (доступ), 4x4 (бекхай)
Висота БПЛА	20 м
Висота AP	20 м
Висота UE	1,5 м
Несуча частота	73 ГГц
Пропускна здатність системи	0,56 ГГц
Потужність передачі	24 дБм
Регулювання потужності	Повна потужність
Періодичність підмітання променя	3 мкс
Розмір кадру	3 мкс

Продовження таблиці 5.3.

Параметри моделювання для третього сценарію

Режим передачі	TDM
Розмір пакета	1000 байт
Цільова швидкість передачі даних	500 Мбіт/с
Планування АР та БПЛА-БС	Кругової
Значення a	2

ВИСНОВКИ

Інтегрований доступ та зворотний зв'язок - це нова технологія, розглянута 3GPP, для ущільнення клітинних зон і розширення покриття. Таким чином, майбутні системи IAB на базі БПЛА, що працюють у спектрі mmWave, стають перспективним рішенням завдяки вищій швидкості передачі даних на каналах доступу та зворотній передачі, менших перешкодах та більш гнучкій динаміці обслуговування. Однак розгортання таких систем підлягає численним обмеженням, пов'язаним з підтримкою мережі інфраструктури, розподілом ресурсів між лініями доступу та зворотним зв'язком, а також корельованою мобільністю UE та БПЛА-БС.

У цій роботі надано детальний звіт про останні дії 3GPP, що стоять за системами IAB на базі БПЛА, які працюють на частотах mmWave. Спочатку було розглянуто поточні та заплановані заходи 3GPP щодо підтримки БПЛА в стільникових системах. Зокрема, розглянули випадки використання та проблеми використання засобів зв'язку БПЛА. Потім ми продовжили, представивши можливі архітектури IAB та варіанти реалізації. Крім того, вивчено можливості базових ретранслятори NR як важливих технологічних факторів.

Далі досліджено складну проблему розгортання та навігації БПЛА БС на відносно широкій території. Зокрема, в середовищі з реалістичною мобільністю UE по наземному розташуванню NR, ми охарактеризували важливі фактори та компроміси, пов'язані з експлуатацією IAB за допомогою БЛА. Ми оцінили ефективність роботи радіосистем з підтримкою БЛА, увімкнених можливостями IAB, із застосуванням моделювання на рівні системи. Більше того, ми продемонстрували вплив навігації БПЛА на продуктивність системи, порівнявши її з випадком ідеального зворотного ремонту.

- Зокрема, ми продемонстрували, що динамічні методології, що оптимізують позиції БПЛА-БС, можуть забезпечити значні вигоди порівняно з

жорсткими розгортаннями, особливо в кластерному середовищі UE. Наші чисельні результати продемонстрували приріст приблизно 0,2 Гбіт / с для рішення, яке передбачає зворотний зв'язок, а також продемонстрували, що оптимізація покращує загальну продуктивність системи.

• Було проілюстровано, що ефективність усіх розглянутих схем відрізняється лише для розподілу низької та середньої пропускної здатності. Це можна пояснити тим, що на відстанях, ближчих до AP-донора, БПЛА здатні повністю передавати вхідний трафік без значних втрат пакетів.

• Порівняно розподіл пропускної здатності UE для динамічного алгоритму, заснованого на PSO, та статичного розгортання БПЛА на основі сітки. Як і можна було очікувати, для обох розгортань середня пропускна здатність UE зростає із збільшенням кількості БПЛА.

Найбільш помітна різниця між розгортаннями спостерігається для невеликої кількості БПЛА.

• Крім того, ми порівняли справедливість для динамічної навігації та статичного розгортання БПЛА на основі сітки. Було відмічено, що збільшення кількості кластерів UE призводить до падіння справедливості між розподілом пропускної здатності.

У цьому контексті обмеження, накладені зворотним ремонтом mmWave, стають вирішальними для ефективної роботи систем IAB на базі БПЛА. Ця робота запропонувала надійний підхід до оптимізації позицій БПЛА на основі mmWave з можливостями IAB. Цей метод може використовуватися операторами мережі для підвищення загальної продуктивності системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 5G-FORCE. 5G Finnish Open Research Collaboration Ecosystem [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://5gforce.org/. (дата звернення: 12.10.2023).

2. SwissPost. Swiss Post drone takes off again for healthcare services [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://post-medien.ch/en/swiss-post-drone-lost-over-lake-zurich/. (дата звернення: 15.10.2023).

3. Bloomberg. Google Spinoff's Drone Delivery Business First to Get FAA Approval. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-04-23/alphabet-s-dronedelivery-business-cleared-for-takeoff-by-faa. (дата звернення: 22.10.2023).

4. Bor-Yaliniz, M. Salem, G. Senerath and H. Yanikomeroglu. Is 5G Ready for Drones: A Look into Contemporary and Prospective Wiréless Networks from a Standardization Perspective. IEEE Wireless Communications 26.1 (2020), 18–27.

5. H. Hellaoui, O. Bekkouche, M. Bagaa and T. Taleb. Aerial Control System for Spectrum Efficiency in UAV-to-Cellular Communications. IEEE Communications Magazine (2020), 108–113.

6. S. Sekander, H. Tabassum and E. Hossain. Multi-Tier Drone Architecture for 5G/B5G Cellular Networks: Challenges, Trends, and Prospects. IEEE Communications Magazine 56.3 (2018), 96–103. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1700666.

7. Y. Zeng, Q. Wu and R. Zhang. Accessing from the sky: A tutorial on UAV communications for 5G and beyond. arXiv preprint arXiv:1903.05289 (2019).

8. Fotouhi, H. Qiang, M. Ding, M. Hassan, L. G. Giordano, A. Garcia-Rodriguez and J. Yuan. Survey on UAV cellular communications: Practical aspects, standardization advancements, regulation, and security challenges. IEEE Communications Surveys & Tutorials (2019).

9. M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, Y. Nam and M. Debbah. A Tutorial on UAVs for Wireless Networks: Applications, Challenges, and Open Problems. IEEE Communications Surveys Tutorials 21.3 (2019), 2334–2360.

DOI:10.1109/COMST.2019.2902862.

10. G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklós, et al., "Design aspects of network assisted device-to-device communications", IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 3, 2022.

11. G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklós, et al., R2–140363: D2d mobility scenarios, 2020.

12. K. Ouali, M. Kassar and K. Sethom, "Handover performance analysis for managing D2D mobility in 5G cellular networks", IET Communications, vol. 12, no. 15, pp. 1925-1936, 2018.

13. Безпілотний літальний апарат [Електронний ресурс] - Режим доступу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний_літальний_апарат (дата звернення: 15.11.2023).

14. H. B. Valiveti and P. T. Rao, "Ehsd: an exemplary handover scheme during d2d communication based on decentralization of sdn", Wireless Personal Communications, vol. 94, no. 4, pp. 2393-2416, 2020.

15. D. Solomitckii, M. Gapeyenko, V. Semkin, S. Andreev and Y. Koucheryavy. Technologies for efficient amateur drone detection in 5G millimeter-wave cellular infrastructure. IEEE Communications Magazine 56.1 (2018), 43–50.

16. A. Mourad. Self-Backhauling in 5G. 5G-PPP Workshop on 5G RAN Design, Air Interface Design and Integration, Valencia, Spain. 2016.

17. Bekmezci I. Flying Ad-Hoc Networks: A Survey / I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, S. Temel // Ad Hoc Networks, Elsevier. - 2013. - Vol. 11. - № 3. - P. 1254–1270.

18. M. Polese, M. Giordani, A. Roy, S. Goyal, D. Castor and M. Zorzi. End-to-End Simulation of Integrated Access and Backhaul at mmWaves. 2018 IEEE 23rd International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD). IEEE. 2018, 1–7.

19. F. Boccardi, R. W. Heath, A. Lozano, T. L. Marzetta and P. Popovski. Five disruptive technology directions for 5G. IEEE Communications Magazine 52.2 (Feb. 2014), 74–80. DOI: 10.1109/MCOM.2014.6736746.

20. A. Ghosh, T. A. Thomas. Millimeter-Wave Enhanced Local Area Systems: A High-Data-Rate Approach for Future Wireless Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 32.6 (2014), 1152–1163. DOI: 10. 1109/JSAC.2014.2328111.

21. I. A. Hemadeh, K. Satyanarayana, M. El-Hajjar and L. Hanzo. Millimeter-Wave Communications: Physical Channel Models, Design Considerations, Antenna Constructions, and Link-Budget. IEEE Communications Surveys & Tutorials 20.2 (Secondquarter 2018), 870–913. DOI: 10.1109/COMST.2017.2783541.

22. L. Zhang, H. Zhao, S. Hou, Z. Zhao, H. Xu, X. Wu, Q. Wu and R. Zhang. A Survey on 5G MillimeterWave Communications for UAV-Assisted Wireless Networks. IEEE (2019), 117460–117504. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2929241.

23. M.-H. Golbon-Haghighi. Beamforming in wireless networks. Towards 5G Wireless Networks-A Physical Layer Perspective. InTech, 2016.

24. W. Lee, S.-R. Lee, H.-B. Kong and I. Lee. 3D beamforming designs for single user MISO systems. Global Communications Conference (GLOBECOM), 2013 IEEE. IEEE. 2013, 3914–3919.

25. What will 5G be? / J. G. Andrews, S. Buzzi, W. Choi [та ін.] // IEEE Journal on selected areas in communications. - 2014. - Vol. 32. - № 6. - P. 1065–1082.

26. Multilevel cloud based Tactile Internet system / A. A. Ateya, A. Vybornova, R. Kirichek, A. Koucheryavy // 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), 2017. - IEEE, 2017. - P. 105–110.

27. Bekmezci I. Flying Ad-Hoc Networks: A Survey / I. Bekmezci, O. K. Sahingoz, S. Temel // Ad Hoc Networks, Elsevier. - 2013. - Vol. 11. - № 3. - P. 1254–1270.

28. Chornaya D. Investigation of Machine-to-Machine Traffic Generated By Mobile Terminals / D. Chornaya, A. Paramonov, A. Koucheryavy // 6th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2014. - IEEE, 2014. - P. 210–213.

29. Ubiquitous Sensor Networks in the Heterogeneous LTE Network / A. Futahi, A. Koucheryavy, A. Paramonov, A. Prokopiev // 17th International Conference on

Advanced Communication Technology (ICACT), 2015. - IEEE, 2015. - P. 28–32.

30. The Quality of Experience Subjective Estimations and Hurst Parameters Values Interdependence. Internet of Things, Smart Spaces and Next Generation Networks and Systems / M. Makolkina, A. Paramonov, A. Prokopiev, A. Koucheryavy // Lecture Notes in Computer Science (LNCS). - 2014. - Vol. 8638. - P. 311–318.

31. Image Transmission over IEEE 802.15.4 and ZigBee Networks / G. Pekhteryev, Z. Sahinoglu, P. Orlik, G. Bhatti // 2005 IEEE International Symposium on Circuits and Systems. - 2005. - Vol. 4. - P. 3539–3542.

32. Tharini C. An Energy Efficient Spatial Correlation Base Data Gathering Algorithm for Wireless Sensor Networks / C. Tharini, V. Ranjan // International Journal of Distributed and Parallel Systems. - 2011. - Vol. 2. - № 3. - P. 16–24.

33. Vybornova A. Analysis of the Packet Path Lengths in the Swarms for Flying Ubiquitous sensor Networks / A. Vybornova, A. Paramonov, A. Koucheryavy // Communications in Computer and Information Science (CCIS). - 2017. - Vol. 678. - P. 362–370.

34. T. S. Rappaport, Y. Xing, G. R. MacCartney, A. F. Molisch, E. Mellios and J. Zhang. Overview of millimeter wave communications for fifth-generation (5G) wireless networks with a focus on propagation models. IEEE Transactions on Antennas and Propagation 65.12 (2017), 6213–6230.

35. T. A. Thomas, H. C. Nguyen, G. R. MacCartney and T. S. Rappaport. 3D mmWave Channel Model Proposal. 2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall). Sept. 2014, 1–6. DOI: 10.1109/VTCFall.2014.6965800.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Презентація по магістерській роботі на тему:

МЕТОД ВИКОРИСТАННЯ БПЛА ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ ЗОНИ ПОКРИТТЯ 5G-БАЗОВИХ СТАНЦІЙ

Студента
Макарова Богдана Олеговича

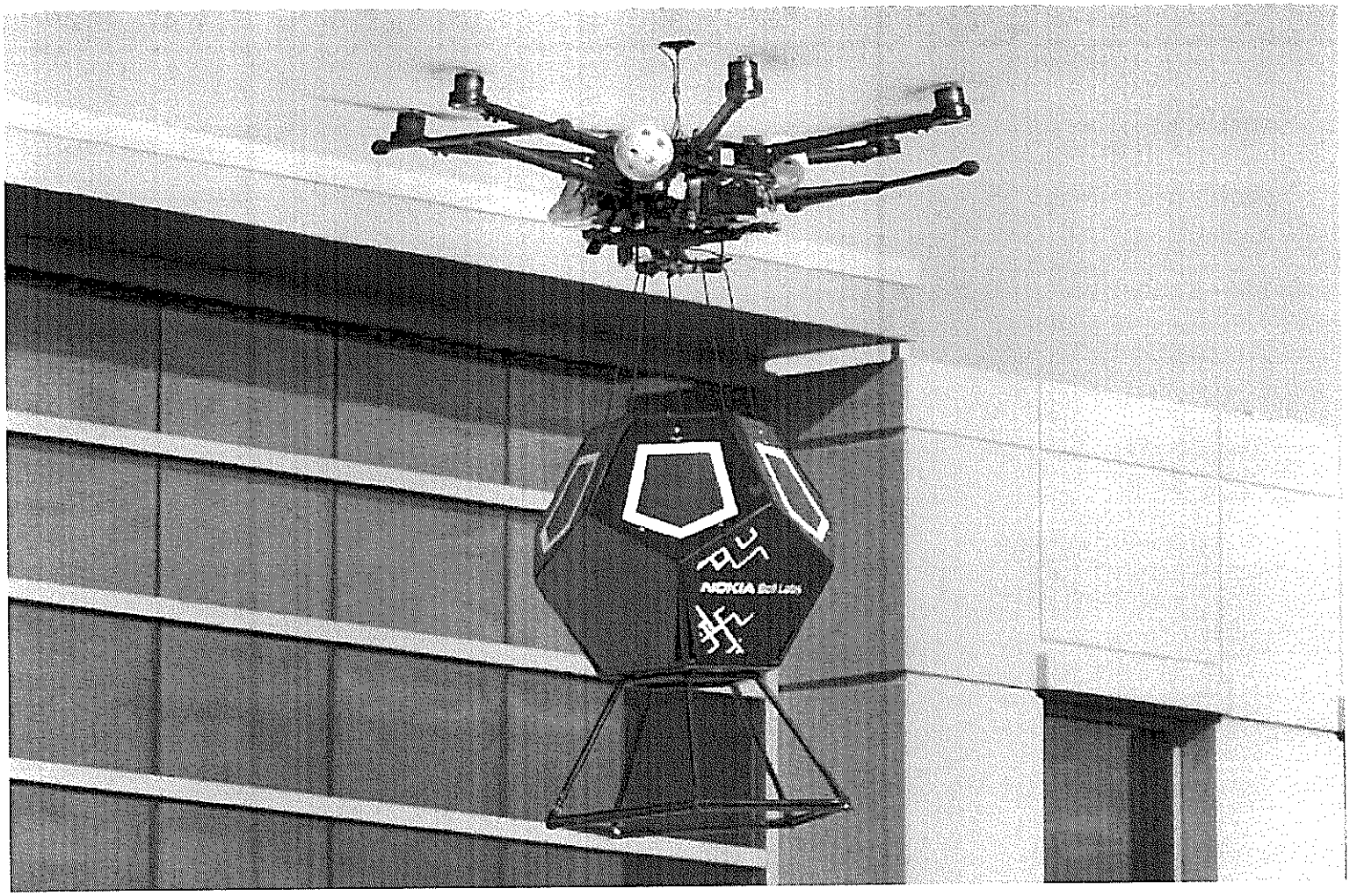
Об'єкт, Предмет, Мета роботи

Об'єктом дослідження є процес мобільного зв'язку п'ятого покоління.

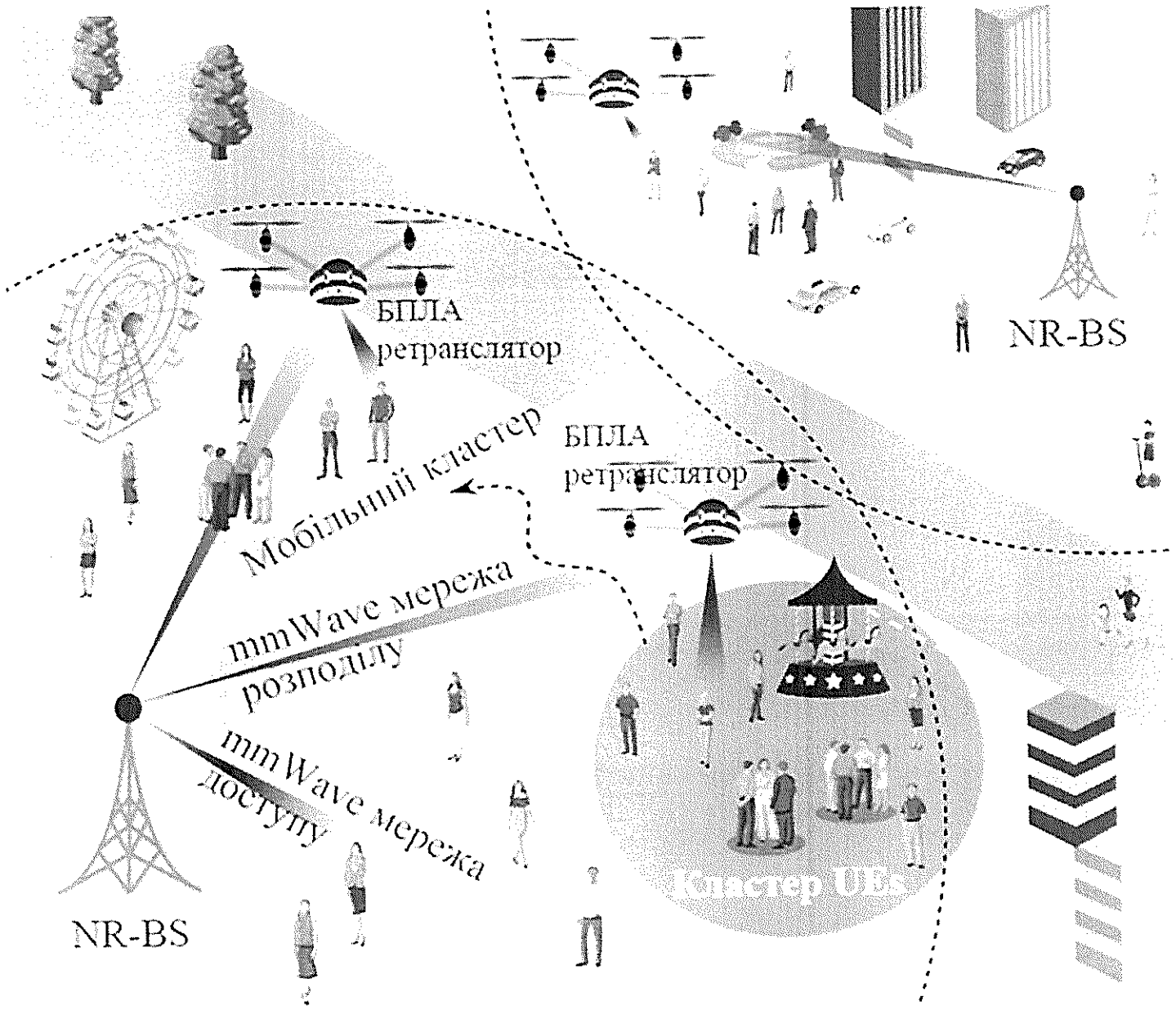
Предметом дослідження є методика розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА.

Мета роботи. Розробка методики розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА.

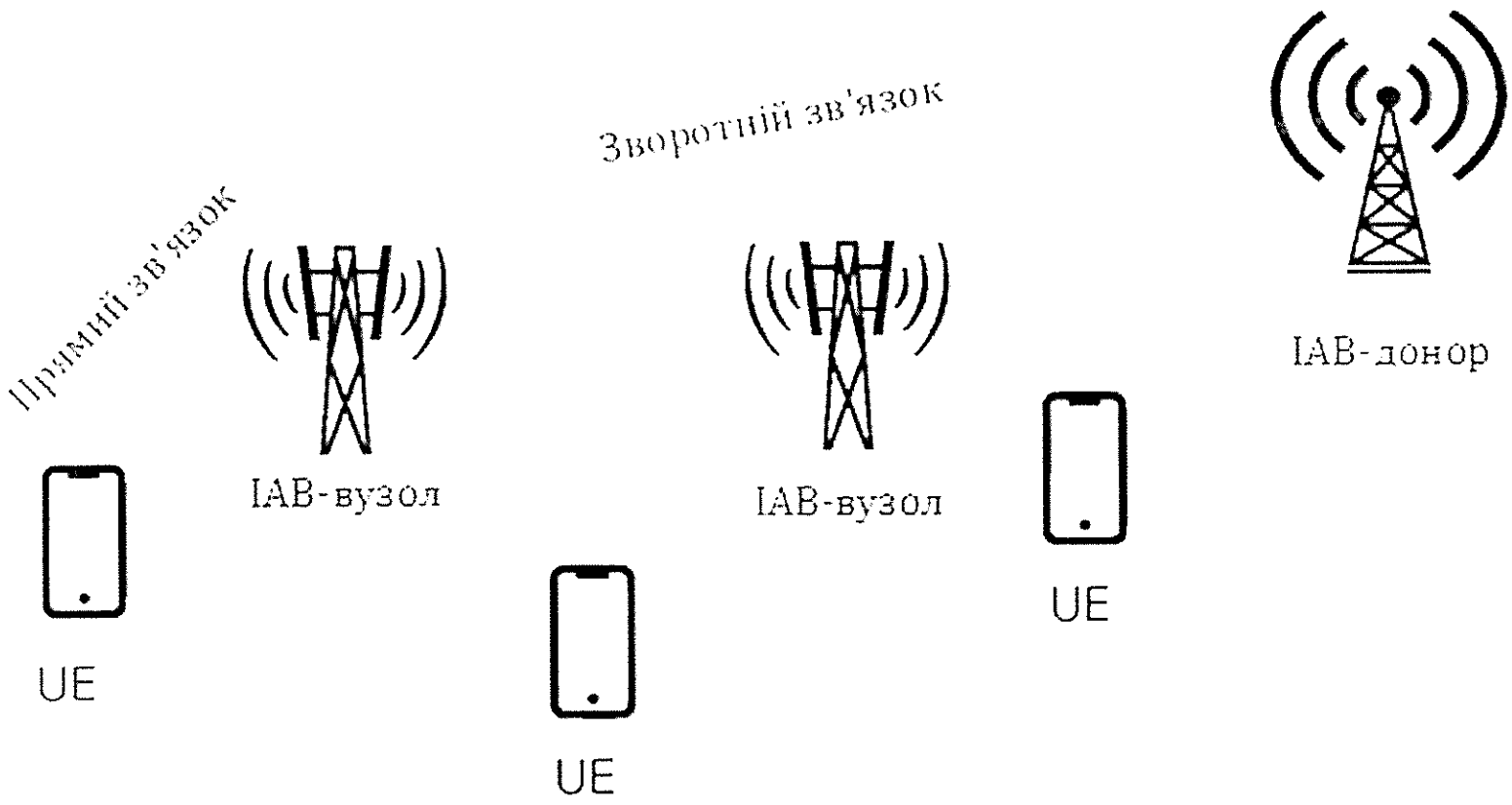
БПЛА, як носій БС



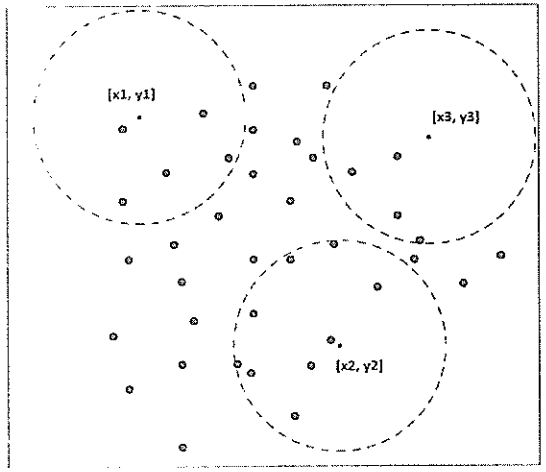
Модель застосування БПЛА на основі mmWave



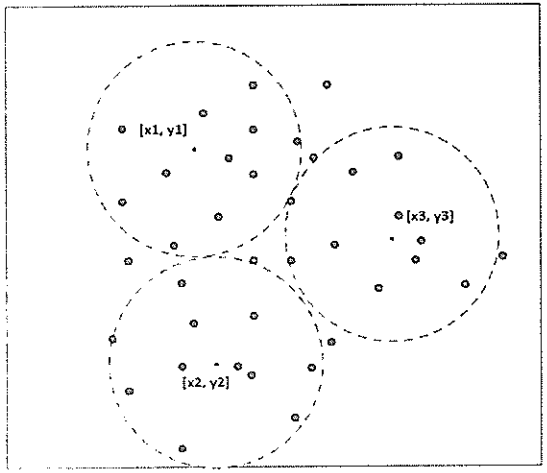
Архітектура мережі Integrated Access and Backhaul



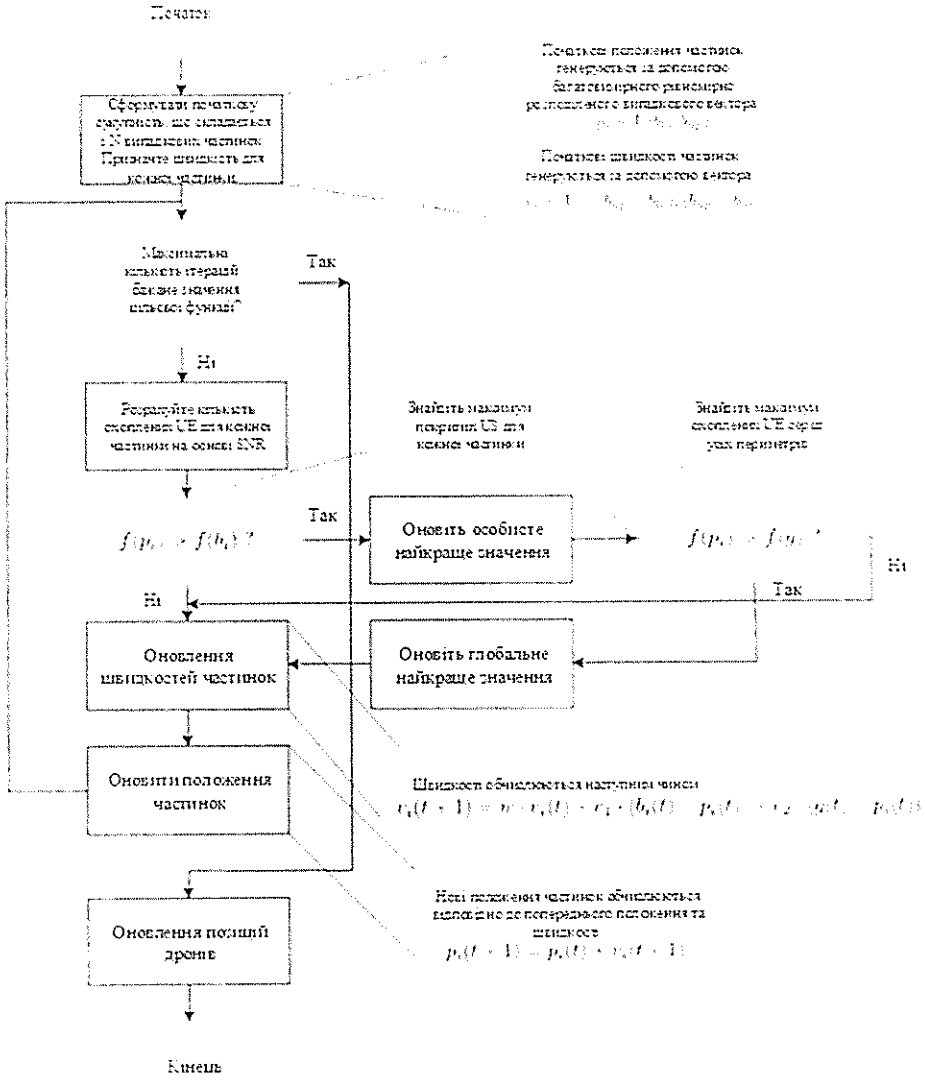
Алгоритм розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА



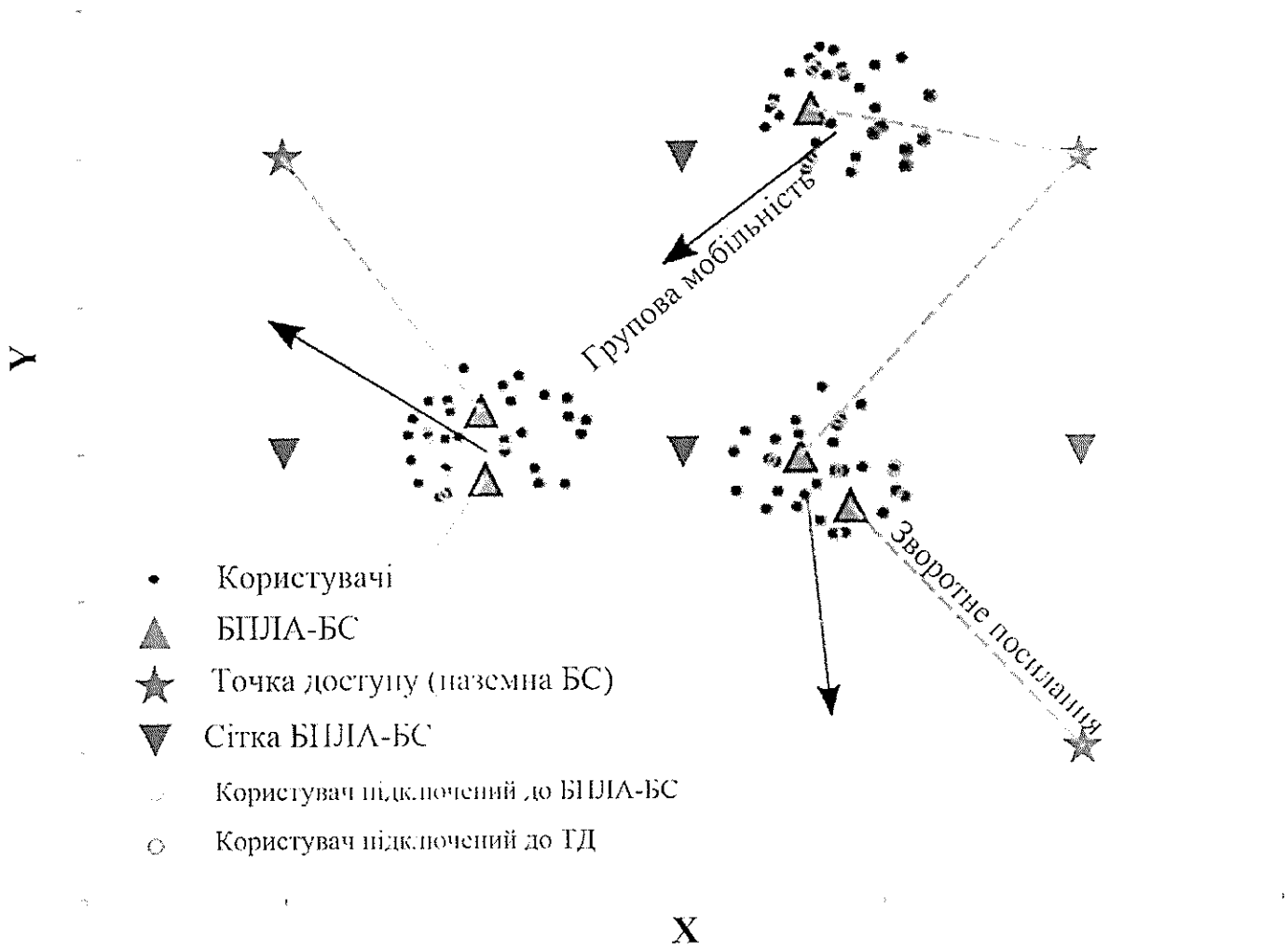
Вихідні позиції



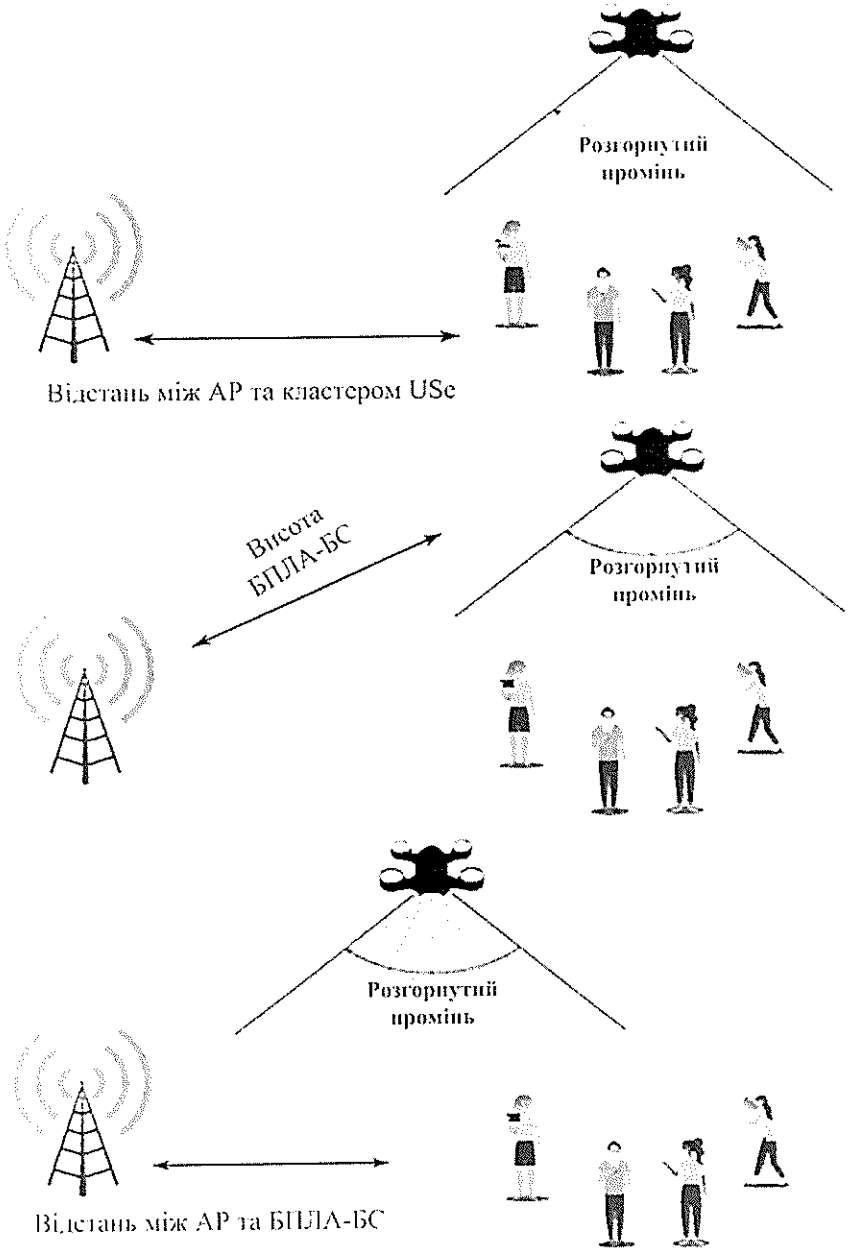
Робота алгоритму



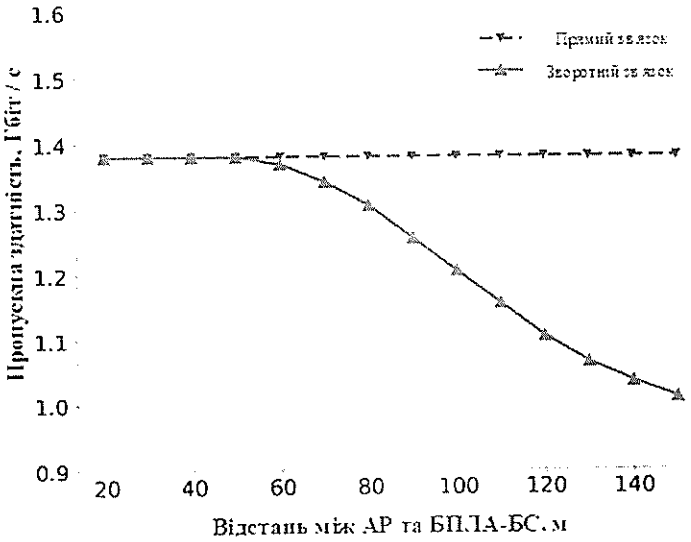
Приклад розгортання БПЛА на базі розробленого алгоритму



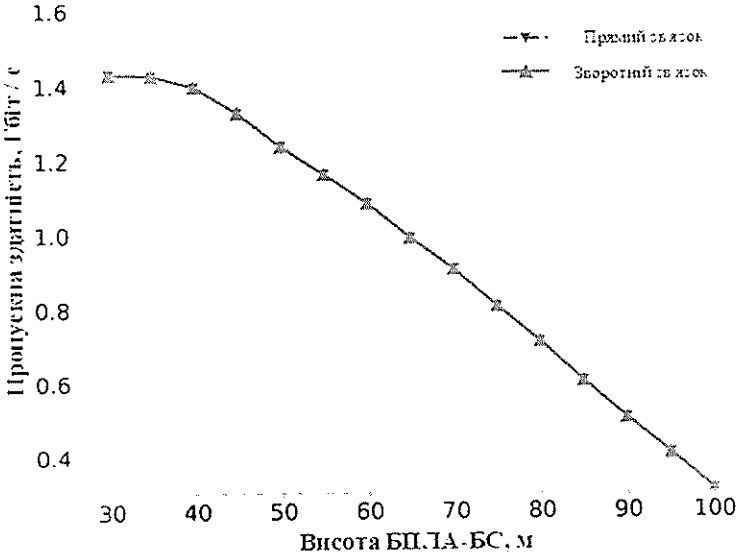
Сценарії ефективності запропонованої методики



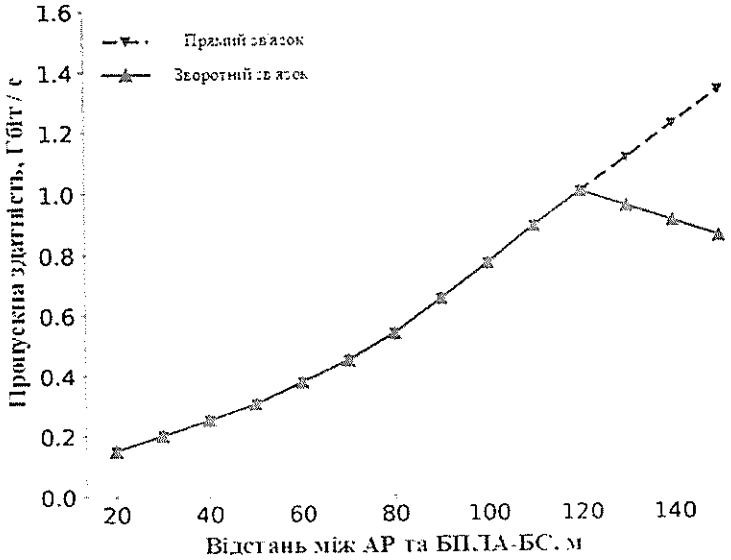
Результати моделювання 3х сценарів



Залежність пропускної здатності для першого сценарію

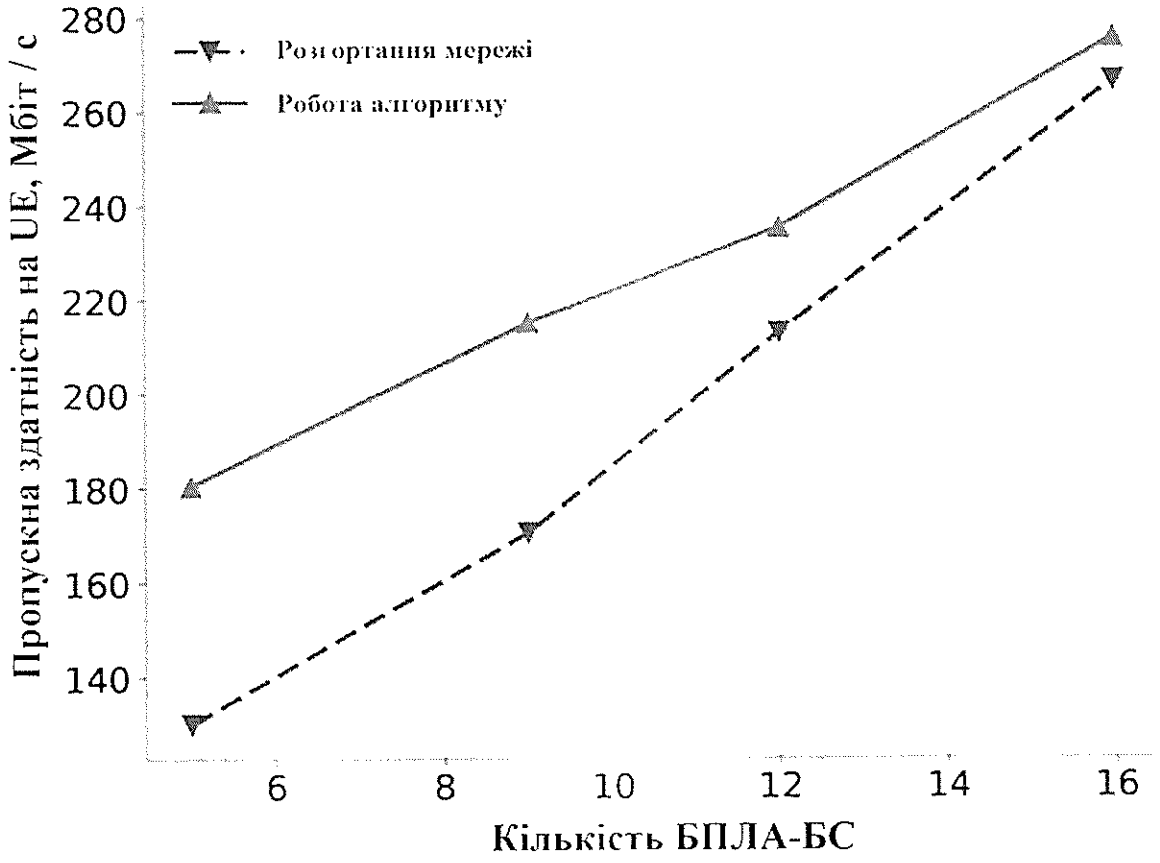


Залежність пропускної здатності для другого сценарію

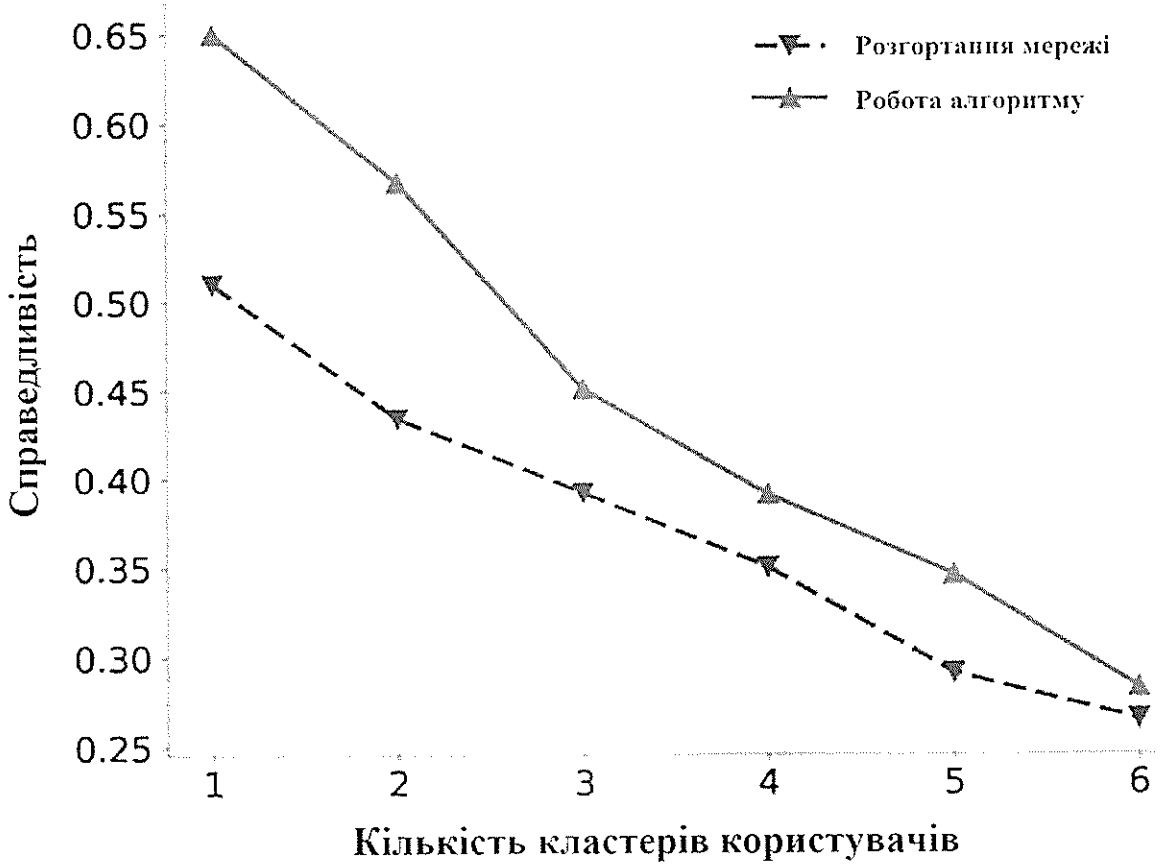


Залежність пропускної здатності для третього сценарію

Середня пропускна здатність абонентських терміналів для різної кількості БПЛА



Показник справедливості отриманих ресурсів



Висновки

В роботі розглянуто останні досягнення 3GPP, що стоять за проектом інтегрованого доступу та зворотного зв'язку, підтримки базових станцій БПЛА та функцією радіопередачі mmWave. Проведено порівняння статичних та мобільних варіантів зв'язку на основі БПЛА за практичних припущень щодо компонування системи mmWave, мобільності та кластеризації користувачів, геометрії антенної решітки та динамічного зворотного зв'язку. Зроблено висновок, що використання мобільності БПЛА для обслуговування 5G користувачів може поліпшити загальну продуктивність системи навіть за наявності обмежень на пропускну здатність.

Представлено імітаційне моделювання, на основі розробленого алгоритму розрахунку збільшення зони покриття 5G-базових станцій за допомогою БПЛА. Наведено експериментальні результати шляхом порівняння статичних та динамічних IAB-рішень за реальних підходів до розгортання мереж.

Запропоновано методику до оптимізації позицій БПЛА на основі mmWave з можливостями IAB. Методика може використовуватися операторами мережі для підвищення загальної продуктивності системи.

Апробація результатів магістерської роботи

Основні результати магістерської роботи доповідалися на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation», Київ: ДУІКТ, 20 грудня 2023 р.

Основні наукові результати магістерської роботи опубліковано в науковому журналі “Наукові записки ДУІКТ, – 2023, – №2”.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

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

Автор: Богдан МАКАРОВ

Назва: Метод використання БПЛА для збільшення зони покриття 5G-базових станцій

Координатор: Анатолій МАКАРЕНКО

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1 :3.3

Коефіцієнт подібності 2 :1.1

Тривога: 8

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☑ виявлені в роботі запозичення є сумлінними і не мають ознак плагіату. Тому робота визнається самостійною і допускається до захисту;

☐ виявлені в роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання;

☐ виявлені в роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. У зв'язку з чим, робота не допускається до захисту.

…… ……

Дата *Підпис Наукового керівника*