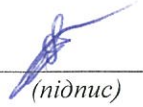
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 172 Електронні комунікації 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) Владислав КОВАЛЬОВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Владислав КОВАЛЬОВ

Керівник: Анатолій МАКАРЕНКО

Рецензент: О. Варфоломеєва

Київ – 2024

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

Кафедра Мобільних та відеоінформаційних технологій
Ступінь вищої освіти Магістр
Спеціальність 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма Апаратура радіозв'язку, радіомовлення і телебачення

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувачка кафедрою МВТ
_____ Наталія РУДЕНКО
«___» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ковальову Владиславу Вікторовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих»,
керівник кваліфікаційної роботи Анатолій МАКАРЕНКО, д.т.н., професор,
затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від 15.10.2024 р. №320.

2. Строк подання кваліфікаційної роботи 25.12.2024 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:
   1. Технологія LTE.
   2. Методи кодування відеоданих.
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Аналіз технічних характеристик технології LTE;
   2. Метод зменшення перешкод у часовій області для технології C-RAN;
   3. Метод тестування 4k-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих.

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	26.10.24	Викон.
2.	Аналіз технічних характеристик технології LTE	29.10.24	Викон.
3.	Метод зменшення перешкод у часовій області для технології C-RAN	01.12.24	Викон.
4.	Метод тестування 4k-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих	02.11.24	Викон.
5.	Висновки, вступ, реферат	11.12.24	Викон.
6.	Розробка презентації	25.12.24	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Владислав КОВАЛЬОВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

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

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Ковальова Владислава Вікторовича

на тему: «Метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих»

Актуальність:

Актуальність теми обумовлена зростаючим попитом на 4K-відео в реальному часі для застосувань, таких як стрімінгові платформи, телемедицина та системи відеоспостереження. Інтеграція цих підходів із теорією кодування відеоданих дозволяє мінімізувати затримки, зменшити втрати кадрів і забезпечити стабільну якість відео, що є критично важливим для сучасних систем.

Позитивні сторони:

1. Зміст магістерської роботи відповідає завданню. Її автор, показала високий рівень знань і ступінь підготовленості до майбутньої роботи за фахом.
2. Текст викладений грамотно, ясно, послідовно. Графічний матеріал оформлений якісно. Широко використовується сучасна науково-технічна література, включаючи англомовні видання.

Недоліки:

1. У роботі необхідно більш детально розкрити механізми інтеграції хмарних ресурсів із методами оптимізації відеопотоку.
2. Розглянути більш детально особливості алгоритмів планування та адаптивного балансування навантаження, зосередившись на впливі цих механізмів на зниження затримок у 4K-відео.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «відмінно», а здобувач Ковальов Владислав Вікторович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Рецензент: _____ О. Варфоломеєва

(науковий ступінь, вчене звання) *(підпис)* *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

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

Направляється здобувач Ковальов В.В. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

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

на тему: Метод тестування 4К-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

В.о. директора ННІТ _____ Владислав КРАВЧЕНКО
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Ковальов Владислав Вікторович 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 Ковальова Владислава Вікторовича на оцінку «відмінно» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

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

" " _____ 2024 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Ковальов В.В.
(прізвище та ініціали)

допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

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

" " _____ 2024 року

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 78 стор., 17 рис., 9 табл., 41 дж.

Метою роботи є розробка методу тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих, який забезпечує високу якість відтворення та ефективне використання мережевих ресурсів у середовищах LTE та C-RAN.

Об'єктом дослідження є процес передачі та обробки відеоданих в на основі хмарних сервісів.

Предметом дослідження є метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих.

Короткий зміст роботи: У першому розділі досліджено технічні характеристики LTE, зокрема її високу пропускну здатність, низькі затримки та адаптивність до змінних умов. Розглянуто OFDMA, SC-FDMA та механізм агрегації несучих частот, які є основою для оптимальної передачі даних і підтримки 4K-відео в режимі реального часу.

У другому розділі розроблено методи зменшення інтерференції для C-RAN. Метод UWPA забезпечує ефективний розподіл спектральних ресурсів, знижуючи рівень перешкод, а DP-ABS оптимізує доступ до спектра, покращуючи SINR. Їх інтеграція в C-RAN підвищує пропускну здатність і QoS, що критично для передачі великого обсягу даних.

У третьому розділі запропоновано метод хмарного кодування 4K-відео на основі технологій кодування та обчислень. Розроблено інтегровану хмарну платформу, яка оптимізує обробку відео завдяки адаптивному плануванню, балансуванню навантаження та сумісності з різними алгоритмами кодування.

Результати демонструють покращення QoS і QoE для користувачів та ефективне використання мережевих і обчислювальних ресурсів під час тестування 4K-відео в реальному часі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: 5G-ТЕХНОЛОГІЇ, LTE, HETNET, C-RAN, БАЗОВА СТАНЦІЯ, ХМАРНЕ КОДУВАННЯ 4K-ВІДЕО, АЛГОРИТМ, ЦОД

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 78 pages, 17 pictures, 9 table, 41 sources.

The purpose of the work – development of a real-time 4K video testing method based on video coding theory, which ensures high playback quality and efficient use of network resources in LTE and C-RAN environments.

Object of research – process of video data transmission and processing in cloud-based services.

Subject of research – real-time 4K video testing method based on video coding theory.

Summary of the work: The first section examines the technical characteristics of LTE, in particular its high throughput, low latency, and adaptability to changing conditions. OFDMA, SC-FDMA, and the carrier aggregation mechanism are considered, which are the basis for optimal data transmission and support for real-time 4K video.

The second section develops interference mitigation methods for C-RAN. The UWPA method provides efficient allocation of spectral resources, reducing the level of interference, and DP-ABS optimizes spectrum access, improving SINR. Their integration into H-CRAN increases throughput and QoS, which is critical for transmitting large amounts of data.

The third section, a method for cloud-based 4K video encoding based on coding and computing technologies is proposed. An integrated cloud platform is developed that optimizes video processing through adaptive scheduling, load balancing, and compatibility with various encoding algorithms.

The results demonstrate improved QoS and QoE for users and efficient use of network and computing resources during real-time 4K video testing.

KEYWORDS: 5G TECHNOLOGIES, LTE, HETNET, C-RAN, BASE STATION, CLOUD 4K VIDEO ENCODING, ALGORITHM, DATA CENTER

ЗМІСТ

ВСТУП 8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЇ LTE 10
1.1 Основні технічні характеристики технологій 5 покоління 10
1.2 Агрегація несучих частот смартфонів, що використовують технологію LTE 16
РОЗДІЛ 2. МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ПЕРЕШКОД У ЧАСОВІЙ ОБЛАСТІ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ C-RAN 19
2.1 Огляд методу зменшення (пом'якшення) перешкод UWPA 19
2.2 Метод зменшення перешкод у часовій області для технології C-RAN DP-ABS 25
2.3 Робота методу зменшення перешкод у часовій області DP-ABS разом з технологією H-CRAN 33
2.4 Аналіз результатів моделювання. Робота DP-ABS з UWPA 37
РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТЕСТУВАННЯ 4K-ВІДЕО У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ КОДУВАННЯ ВІДЕОДАНИХ 49
3.1 Методи реалізації доступу до хмарного програмного забезпечення 49
3.2 Стандарти кодування відеоданих 54
3.3 Метод кодування та тестування 4K-відео у режимі реального часу 60
ВИСНОВКИ 74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 79
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ 83

ВСТУП

Технології обробки та передачі відеоданих відіграють ключову роль у сучасному інформаційному суспільстві, де високоякісне відео використовується у сферах телекомунікацій, розваг, медицини, освіти та багатьох інших галузях. Одним із найважливіших напрямків розвитку цієї сфери є впровадження технологій передачі відео ультрависокої чіткості (4K), що потребують значних обчислювальних ресурсів та ефективного управління мережею. Однак забезпечення якості обслуговування (QoS) та якості досвіду (QoE) при передачі 4K-відео в режимі реального часу залишається значним викликом через обмеження пропускної здатності мереж, затримки, втрати пакетів та інші фактори.

Одним із перспективних рішень є використання технологій LTE та C-RAN (Cloud Radio Access Network), які забезпечують ефективне управління мережевими ресурсами. LTE як технологія четвертого покоління мобільного зв'язку надає високу пропускну здатність, низькі затримки та широкі можливості для оптимізації мережевих процесів. Водночас концепція C-RAN дозволяє централізувати обробку сигналів, що сприяє зменшенню інтерференції та підвищенню ефективності використання спектра. У цьому контексті важливо розробити методи, які враховують специфіку цих технологій для забезпечення якісного відтворення 4K-відео.

Теорія кодування відеоданих є фундаментальною основою для створення сучасних алгоритмів стиснення та передачі відео. Алгоритми, такі як H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 та AV1, дозволяють суттєво зменшити обсяг даних, необхідних для передачі, без значної втрати якості. Однак ефективне використання цих алгоритмів у реальному часі вимагає адаптації до умов мережі, що постійно змінюються.

У роботі пропонується розробка методу хмарного тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих, який дозволяє враховувати технічні особливості технологій LTE та C-RAN. Такий підхід спрямований на оптимізацію процесів передачі та обробки відео, зменшення

перешкод у часовій області та покращення якості відтворення.

Актуальність дослідження обумовлена швидким зростанням обсягу відеоконтенту у глобальному інтернеті та зростаючими вимогами до його якості. Розвиток технологій 4K стає важливим для таких сфер, як телемедицина, деякі аспекти промисловості 4.0, дистанційна освіта та віртуальна реальність. У зв'язку з цим виникає необхідність у нових методах тестування, які враховують сучасні технологічні тренди, зокрема використання хмарних обчислень та інноваційних мережевих рішень.

Метою магістерської роботи є розробка методу тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих, який забезпечує високу якість відтворення та ефективне використання мережевих ресурсів у середовищах LTE та C-RAN.

Об'єктом дослідження є процес передачі та обробки відеоданих в на основі хмарних сервісів.

Предметом дослідження є метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЇ LTE

1.1 Основні технічні характеристики технологій 5 покоління

LTE (Long Term Evolution або довгострокова еволюція) за визначенням консорціуму 3GPP - це новітній стандарт для бездротового мобільного зв'язку 4-го і 5-го покоління (4G-5G) [1, 2].

На мережевому рівні LTE працює повністю на базі IP-технологій, а на фізичному рівні (в радіоканалі) застосовується ортогональне частотне ущільнення, і, в результаті, ми отримуємо високу пропускну здатність, маленькі затримки і фантастичну спектральну ефективність.

LTE - це не просто Upgrade 3G. Це зовсім інший підхід, а фізика його така (табл. 1.1):

- перехід від кодового поділу каналів (CDMA) до частотного (OFDMA і SC-FDMA);

- перехід від комутації каналів на технології IP - комутацію пакетів.

За прогнозами експертів, вже в 2025 році понад 5 млрд. абонентів стануть членами світового співтовариства, так званого "мобільного світу". При цьому половина всього населення планети буде мати постійний доступ до послуг LTE мереж.

Характеристики мереж LTE

Продуктивність і пропускна здатність - одна з вимог LTE полягає в забезпеченні пікової пропускної спроможності зворотного каналу не менше 100 Мбіт / с [2].

Технологія передбачає підтримку швидкості обміну даними понад 300 Мбіт / с, проте шведи вже продемонстрували нам наступний етап розвитку LTE - з теоретично можливою пікової пропускною спроможністю до 1,2 Гбіт / с.

Таблиця 1.1

Порівняльна таблиця мереж GPRS, 3G і 4G

Стандарт мережі	Технологія	Модуляція	Швидкість передачі даних (макс.) до абонента / від абонента	Смуга сигналу, МГц
GSM	GPRS	GMSK	20/20 кбіт/с	0,2
	EDGE	8PSK	59,2/59,2 кбіт/с	0,2
UMTS	R99 WCDMA	QPSK	384/384 кбіт/с	5
	HSDPA	16QAM/QPSK	14,4/5,76 Мбіт/с	5
	HSPA+	64QAM/16QAM	21/11,5 Мбіт/с	5
	DC HSPA+	64QAM/16QAM	42/23 Мбіт/с	10
LTE Release 8	MIMO 2x2	64QAM	150/75 Мбіт/с	20
LTE-Advanced Rel. 10	Downlink 8x8 MIMO / Uplink 4x4 MIMO	64QAM	3/1.5 Гбіт/с	100
LTE-Advanced Pro Rel. 13 (4.5G)	8x8 MIMO	256QAM	25/11.5 Гбіт/с	640

Простота - підтримуються гнучкі варіанти смуги пропускання з частотою від 1,4 МГц до 20 МГц і дуплексна передача з поділом по частоті (FDD) і за часом (TDD). При використанні TDD (Time Division Duplex) вся смуга поперемінно віддається на завантаження або вивантаження даних. При використанні FDD (Frequency Division Duplex) вхідний і вихідний трафік розділені частотно, завантаження даних йде на одній частоті, а вивантаження на інший [3, 4].

Затримка передачі даних в LTE менше, ніж в існуючих технологіях 3G. Ця перевага є дуже важливим для обслуговування інтерактивних середовищ з ефектом присутності (наприклад, багатокористувацьких ігор) і обміну великими обсягами медіаконтенту.

Різноманітність пристроїв - крім мобільних телефонів і периферійних пристроїв, вбудованими LTE-модулями планується оснащувати багато комп'ютерних та побутові електронні пристрої. Це ноутбуки, планшети, ігрові приставки та set-top box-и, відеокамери та інші портативні пристрої (табл. 1.2).

Швидкості у LTE і LTE-A

Швидкість передачі даних до 100 Мбіт в секунду. З поправкою на те, що цей показник може змінюватися в залежності від поточної мережевого навантаження і місцезнаходження користувача. В рамках технології передбачені швидкості більше 300 Мбіт / с. Подальша еволюція розвитку (LTE Advanced) передбачає пропускну спроможність до 3 Гбіт / с до абонента і до 1.5 Гбіт / с від абонента.

І, примітно те, що для переходу з LTE на LTE Advanced потрібно просте оновлення програмного забезпечення і подальша перенастроювання базових станцій оператора. Для впровадження функціональності MIMO 8x8 необхідно буде замінити радіо-модулі.

Категорії мобільних пристроїв

Ця характеристика дуже важлива для модемів LTE, від неї залежить можливість об'єднання каналів шириною до 20 МГц. Модем шостої категорії одночасно використовує 2 канали, при цьому швидкість досягає 300 Мбіт / с. Модеми категорії 9 об'єднує вже 3 несучих смуги, при цьому «розганяючись» до

Таблиця 1.2

Основні робочі характеристики

Параметр	Значення
Спектр частот	1.4, 3, 5, 10, 15 и 20 МГц
Пікові швидкості	• Downlink (2-х канальний MIMO): 100 Мбіт/с; • Uplink (одноканальний Tx): 50 Мбіт/с (канал 20 МГц);
Конфігурація антен	• Downlink: 4x2, 2x2, 1x2, 1x1; • Uplink: 1x2, 1x1;
Затримка	• Керуючий (сигнальний) рівень (логіка роботи мережевого пристрою - куди і як слати мережевий трафік): менше 100 мс для переходу на рівень користувача; • Рівень користувача (передача корисного трафіку): менше 10 мс від клієнта до сервера;
Розмір стільники	• Повна функціональність: до 5 км; • Незначні погіршення: 5 км - 30 км;
Мобільність	• Оптимізовано для низькій швидкості (0-15 км / год); • Висока продуктивність на швидкості до 120 км / год; • Підтримує працездатність при пересуванні на швидкості до 350 км / год;
Виграш спектральної ефективності	• Downlink: в 3 - 4 раза HSDPA Rel.5; • Uplink: в 2 - 3 раза HSUPA Rel. 6;

450 Мбіт / с. А пристрої 12 категорії, на тих же трьох смугах, досягають максимуму в 600 Мбіт / с. 16 категорія здатна використовувати 4 канали в режимі MIMO, видаючи до 1 Гбіт / с. Найсучасніші моделі категорії 20 об'єднують до 7 каналів відразу, досягаючи фантастичних швидкостей, до 2 Гбіт / с (табл. 1.3) [5].

Таблиця 1.3

Категорії мобільних пристроїв

Категорія абонентського пристрою	Макс. швидкість DL, Мбіт / с	Агрегація несучих	Додаткові технології
CAT4	150	-	2x2 MIMO
CAT6	300	2 x 20 МГц	2x2 MIMO
CAT9	450	3 x 20 МГц	2x2 MIMO
CAT12	600	3 x 20 МГц	4x4 MIMO, 256 QAM
CAT16	980	4 x 20 МГц	4x4 MIMO, 256 QAM

Плюси і мінуси агрегації частот. Основною перевагою технології для оператора це підвищення пропускної здатності каналу і збільшення одночасного обслуговування абонентів з однієї базової станції. Наприклад, флагман Самсунга Galaxy S10, що відповідає п'ятому поколінню зв'язку (5G).

Недоліком технології є підвищена витрата енергії, з огляду на те, що стільниковому пристрою доводиться підтримувати зв'язок відразу з декількома базовими станціями.

Також оператори економно використовують частотний ресурс, рідко встановлюючи на одній вишці приймачі для різних підмереж, що заважає мобільних пристроїв досягати максимальної для категорії швидкості.

Як правило, в містах використовується Band 7 (2600 МГц), а в малонаселеній місцевості - низькочастотний Band 20 (800 МГц), і поруч один з одним це обладнання майже не зустрічається, позбавляючи тим самим, смартфони здатності об'єднати ці канали.

LTE-Advanced

Перший набір специфікацій LTE був завершений в березні 2009 року. Перша комерційна мережа LTE була відкрита в грудні 2009 року. За даними Ovum WCISK до кінця 2019 роки кількість підключень до LTE мереж налічуватиме 5 млрд. Перші смартфони з підтримкою LTE були представлені в 2011 році. Базові технологічні можливості розвиваються далі, що веде до ще більш високих швидкостей передачі даних і більш високої щільності розміщення базових станцій, і наступний крок в еволюції розвитку називається LTE-Advanced. Спрямований він на отримання швидкостей понад 1 Гбіт / с. Розвиток LTE-A починається з 10 релізу, котрий був завершений в червні 2011 року [3, 6].

6 основних особливостей LTE-Advanced [7]:

• Агрегація несучих в низхідному каналі для збільшення швидкості передачі даних до 300 Мбіт / с при спектрі 20 + 20 МГц і 2x2 MIMO, а потім навіть до 3 Гбіт / с при використанні смуги пропускання 100 МГц і 8x8 MIMO. Для збільшення швидкості передачі даних потрібна велика пропускна здатність.

• Еволюція MIMO до 8x8 в сторону абонента і 4x4 в сторону базової станції, що дає переваги для використання технології формування променя, збільшення пропускної здатності мережі при агрегації несучих. Мультиантени збільшують швидкість передачі даних і пропускну здатність мережі.

• Гетерогенна мережу (HetNet) для спільного розміщення макро-, мікро- і пікостанцій. Функції HetNet забезпечують координацію перешкод між мережевими рівнями і збільшують пропускну здатність мережі і локальне покриття з високою щільністю пікостільників, одночасно розділяючи частоту з мікро і

макростільниками.

• Вузли ретрансляції (Relay nodes) для транзитної передачі даних базових станцій за допомогою телефону. Лінія передачі може використовувати внутрісмугову або позасмугову передачу. Вузли ретрансляції використовуються для збільшення покриття мережі, коли магістральні наземні сполуки недоступні.

• Скоординована багатоточкова передача і прийом (CoMP) дозволяє використовувати кілька сектрів різних БС для передачі даних до одного терміналу. Координована багатоточкова зв'язок використовується для поліпшення швидкості передачі даних на кордоні стільники, які обмежені міжстільниковими перешкодами. Передача в сторону абонента може здійснюватися з кількох секторів в один і той же момент часу, і назад, прийом даних від абонента йде кількома секторами.

• Самоорганізуємі мережеві функції (SON) прискорюють і спрощують розгортання мережі і підвищують продуктивність кінцевого користувача, забезпечуючи правильну і оптимізовану настройку параметрів мережі.

1.2 Агрегація несучих частот смартфонів, що використовують технологію LTE

Агрегація несучих частот смартфонів Huawei, Samsung, Iphone та інших брендів - це механізм об'єднання частотних діапазонів в єдину смугу з метою збільшення пропускної здатності інтернет-каналу. При цьому використовується технологія MIMO і підтримка проміжних ретрансляторів (Relay Nodes). Простіше кажучи, це спосіб прискорення передачі даних в мережах 4G. Він активно застосовується в стандарті LTE-Advanced (LTE A), мобільні оператори так і називають цю технологію 4G + [1 - 3, 8].

Принцип роботи агрегації частот. На 2021 р. 4G працює в 6-ти частотних діапазонах (рис. 1.1).

Кожен з них використовує не одну конкретну частоту, а якийсь відрізок шириною: 1.4, 3, 5, 10, 15, 20 МГц. Зроблено це для того, щоб кожному оператору

в кожному діапазоні дісталося по частотному відрізку. Агрегація частот об'єднує кілька таких відрізків в єдиний «коридор». Наприклад, робить з 2-х або 3-х відрізків по 10 МГц один, багатосмуговий, шириною 20 або 30 МГц. Використовуючи дану технологію, смартфони можуть передавати / отримувати дані відразу по двох каналах, що значно збільшує швидкість передачі даних. Таким чином, долається обмеження за кількістю підключених абонентів і збільшується смуга пропускання каналу [9 - 11].

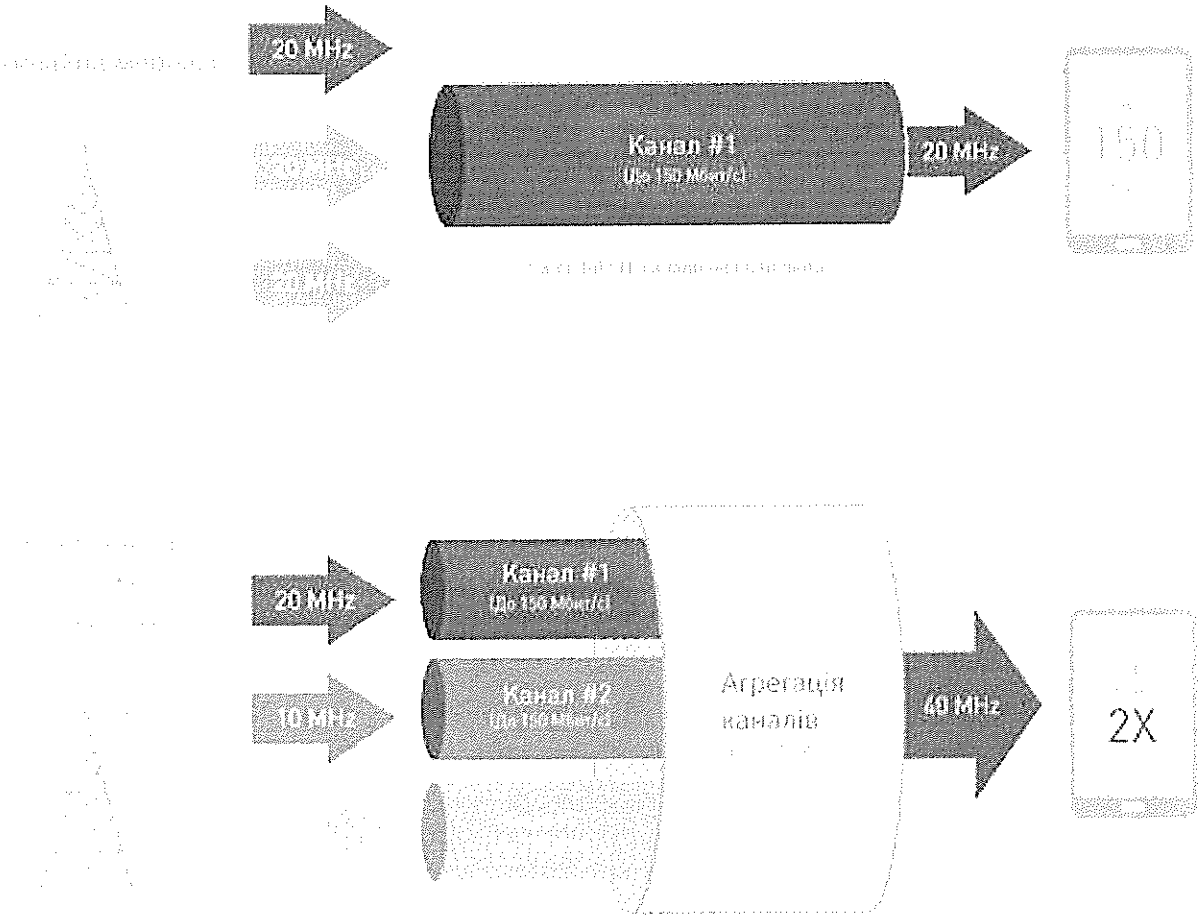


Рис. 1.1. Принцип агрегації 3-х частотних каналів в LTE-Advanced

Три сценарії об'єднання несучих (ОН)

Агрегація несучих в одному діапазоні: ця форма ОН використовує один діапазон. Можливі два варіанти (рис. 1.2):

Суміжна. Це найпростіша форма реалізації агрегації несучих LTE. При цьому

несучі знаходяться на сусідніх каналах поруч один з одним. У цьому випадку потрібен тільки один приймач, так як сигнал розглядається як один розширений.

Несуміжних: трохи складніше у виконанні, що несуть використовують одну і ту ж робочу смугу, але не є сусідами один з одним. Тут вже потрібні два приймачі, тому що сигнал не може розглядатися як один сигнал, що збільшує складність і вартість рішення.

Несуміжних в різних діапазонах: ця форма агрегації несучих використовує різні смуги. Це більш складна задача, так як несучі з різних робочих діапазонів. Таким чином, потрібно кілька приймачів для передачі / прийому сигналів. Цей тип ОН самий витратний і складний в реалізації.

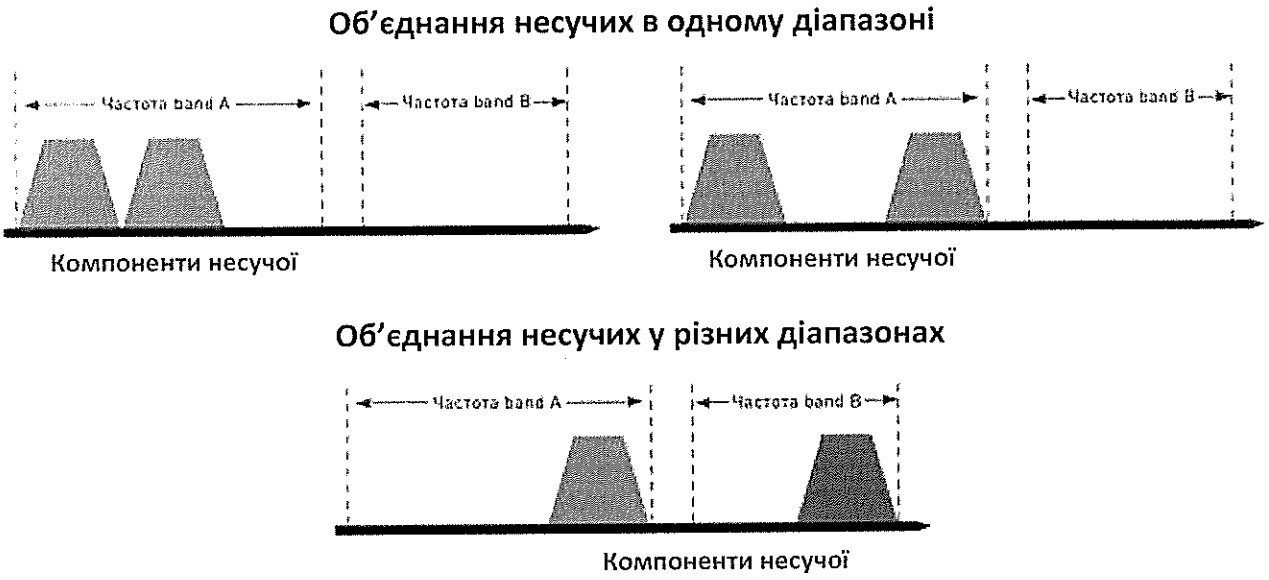


Рис. 1.2. Три сценарії агрегації несучих в LTE-Advanced

Ця технологія може застосовуватися до варіантів LTE з FDD або TDD з максимум п'ятьма компонентними несучими, кожна з шириною смуги до 20 МГц, в результаті чого загальна ширина смуги передачі досягає до 100 МГц [12].

РОЗДІЛ 2. МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ПЕРЕШКОД У ЧАСОВІЙ ОБЛАСТІ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ C-RAN

2.1 Огляд методу зменшення (пом'якшення) перешкод UWPA

З початку Інтернету люди намагалися знайти кращі способи мати ефективніший електронний зв'язок та швидшу мережу. Оскільки обсяг даних зростав так стрімко, попит на швидшу мережу ще більше зріс за останні кілька років.

В 2018 р. міжнародний стандарт 5G, який кілька років розроблявся спільно найбільшими телекомунікаційними та IT-корпораціями світу, схвалений на пленарній сесії консорціуму 3GPP, повідомляє Samsung Electronics. Пленарне засідання 3GPP TSG №80 затвердило технічні вимоги до автономного Релізу 15 5G [1, 2, 13 - 15].

Таким чином, стандарт 5G прийнятий. Все готове до впровадження, і судячи по заявах розробників, можливості нового покоління зв'язку дозволять телеком-операторам розвивати нові напрямки бізнесу (рис. 2.1) [4, 16].

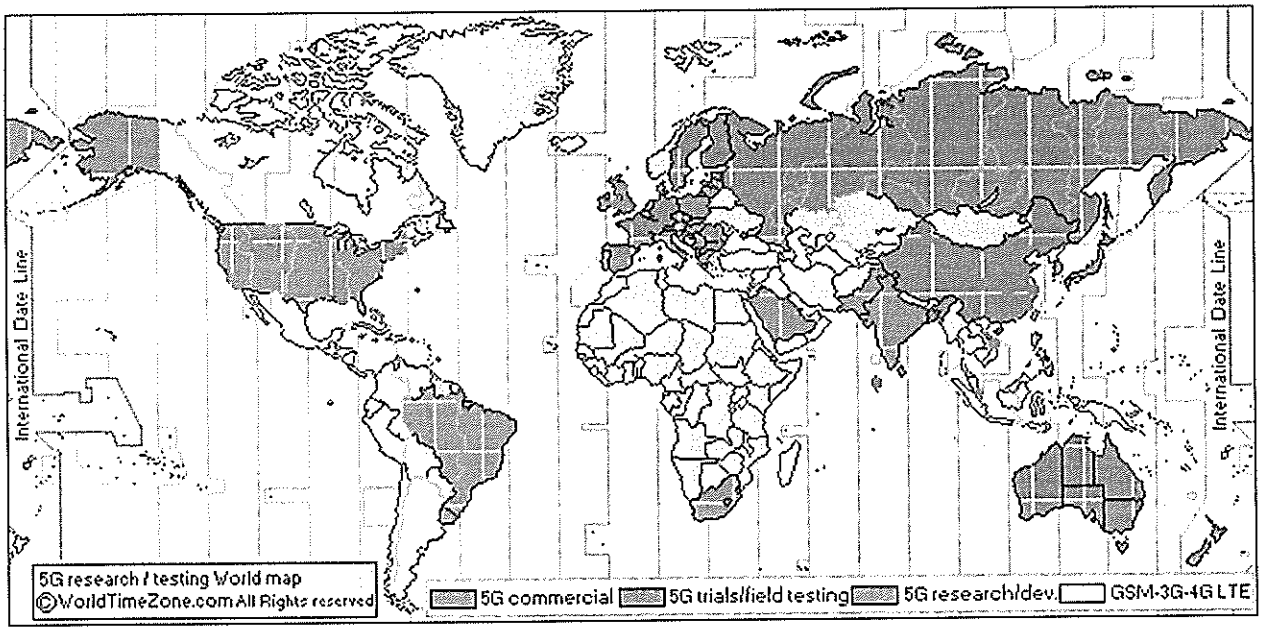


Рис. 2.1. Карта покриття розвитку 5G-мереж в світі
(тестування, випробування і дослідження)

Розглянемо раніше запропонований метод спільного використання спектру між користувачами макро- та малих стільників - метод спільного використання спектру UWPA [17 - 19] - забезпечення комплексного рішення для зменшення (пом'якшення) інтерференційних перешкод. UWPA використовує природу централізованої обробки C-RAN, щоб призначити оптимальну спільну частину смуги пропускання для кількості пікоелементів, які класифікуються як стільники, що не заважають, з незначним впливом на макростільники, в той час як найбільш серйозні перешкоди виділяють виділену частину спектру. Результати дослідження, [20], показують, що запропонована схема перевершує відповідні літературні дослідження. Спільний доступ до спектру на різних рівнях не є новою областю, і вона розглядалася і раніше [20, 21]. Однак обидві схеми покладаються на SBS для вибору режиму використання спектру на основі розташування стільників та порогового параметра, які розділяють всю макрообласть на внутрішню та зовнішню зони. Запропонований метод UWPA [22, 23] - зважена за ймовірністю схема для ефективного розподілу робочої пропускної здатності між MBS і SBS. Цей метод запропонував механізм класифікації малих стільників на спільні або виділені смуги пропускання, який реалізується в блоці розподілу в пулі BBU. SBS, які поділяють спектральні ресурси з MBS, позначені як стільники, що заважають на макросервісах через їх сильний вплив. Навпаки, виділені стільники позначені як неперешкоджаючі на макростільниках.

Запропонований алгоритм UWPA базується на двох основних етапах; перший етап — розширена метод для алгоритму [23]. Але цей етап має на меті збільшити кількість користувачів малих стільників, які використовують спільний спектр, враховуючи щільність малих стільників як вбудований фактор у прийнятті рішення, чи буде стільник спільним чи виділеним. Алгоритм передбачає наявність таблиці класів, що зберігається в дата-центрі; ця таблиця містить клас користувача, якість обслуговування (QoS) і вимоги SINR для кожного класу макрокористувачів і малих стільників. Для простоти макрокористувачі об'єднані в три рівні класу, як показано в таблиці 2.1, і кожен рівень пов'язаний з порогом SINR.

Таблиця 2.1.

Вимоги користувача до SINR

Клас	Мінімальний SINR користувача
Преміум	13 дБ
Голд	6 дБ
Базовий	0 дБ

Запропонована схема UWPA передбачає сигналізацію конфігурації, яка виконується кожен конкретний проміжок часу відповідно до виробників і постачальників. Об'єкт Resource Intelligence Entity (RIE) у центрі C-RAN (пул BBU) збирає умови каналу для користувачів малих стільників у всіх малих стільниках. Користувач малої стільникової мережі отримує пілотну потужність від MBS та інших SBS, у тому числі той, який обслуговує користувача малої стільникової мережі для обчислення отриманої потужності опорного сигналу (RSRP) і якості отриманого опорного сигналу (RSRQ), як у LTE, і повідомляє про це до центр C-RAN через обслуговуючого стільника; це може статися через додане сигнальне повідомлення керування радіоресурсами. Збираючи ці вимірювання, RIE може обчислити SINR для кожного користувача малої стільникової мережі, а потім усереднювати їх SINR у певному SBS, щоб обчислити середнє значення SINR як ключовий показник продуктивності стільника LTE, а потім порівняти його з цільовим порогом SBS. SBS поділяються на три різні класи з точки зору радіочастотних умов (РЧ). Класи стільників у цій техніці розглядаються як наступні: стільник преміум-класу, який повинен мати найкраще покриття та відносно високе середнє значення SINR (~10 дБ) як порогове значення, стільник голд-класу з менш строгими вимогами до середнього SINR (~5 дБ), і базові стільники з найнижчими вимогами (~0 дБ). Таким чином, якщо відповідний SINR перевищує поріг класу, який SBS перелічується в початковому списку, створеному C-RAN SBS, які працюють у спільно використовуваній частині в межах досліджуваного макро стільника. В іншому випадку користувачі SBS не зможуть впоратися з високими перешкодами, що призводять до низького SINR. Аналогічно,

макростільники отримують пілот-сигнал від SBS для обчислення відповідних RSRP і RSRQ. Після цього вони повідомляються в центр C-RAN через MBS. RIE в центрі може обчислити інтерференційні перешкоди від кожного SBS на кожному макрокористувачі. Передбачається, що RIE має таблицю макрокористувачів з їхнім асоційованим класом, з якої він може точно встановити максимальні перешкоди, які може відчувати кожен макрокористувач, щоб задовольнити вимогу класу SINR. Для кожного макрокористувача RIE знаходить список SBS, які можуть використовувати спільний спектр.

На другому етапі алгоритму UWPA вибирається оптимальний набір SBS, який становить список SBS, що мають найменшу інтерференцію на макросерверах. Вибраний список повинен мати найменший вплив на преміум, потім на голд і, нарешті, на базових користувачів.

Показано, що UWPA перевершує сучасні схеми, оскільки враховує як щільність малих стільників, так і інтерференційні перешкоди. Використання щільності малих стільників призводить до більш високого оптимізованого спільного співвідношення, що, у свою чергу, призводить до більшої частини спільного спектру та більшої кількості малих стільників для роботи в спільній пропускній здатності. Однак, коли в спільній частині працює більша кількість малих стільників, користувачі макро- та малих стільників відчувають вищі інтерференційні перешкоди. Тим не менш, етап 2 UWPA вирішує цей момент, оскільки шукає набір невеликих стільників з найменшим впливом на потужність перешкод для макро- та малих користувачів.

Алгоритм UWPA порівнюється з наступними найсучаснішими схемами:

(A) Гібридне призначення частоти для фемтостільників і аналізу зони покриття (HFAC) [20]: ця схема залежить від радіусу малого стільника як порогового значення для порівняння потужності, отриманої від MBS і кожного SBS з малим стільником, щоб класифікувати малі BS відповідно до розділених та виділених частин спектру.

(B) Алгоритм використання гібридного спектру (HSUA) [21]: ця схема спирається на географічне розташування SBS та його віддаленість від MBS. Зони

MBS поділяються на внутрішню і зовнішню; невеликі стільники, розташовані у внутрішній частині (близько до MBS), працюють у виділеному спектрі, а ті, що розташовані у зовнішній зоні (подалі від MBS), працюють у спільному розділі.

(C) Алгоритм, зважений на основі ймовірності (PWBA) [23]: розглядається лише вплив SBS на макросервери з одним користувачем на SBS і вибрано остаточний набір SBS для використання спільного спектру як перетину між списками SBS, створеними PWBA.

Аналіз пропускної здатності як малих, так і макростільникових користувачів показує покращення, запроваджене методом UWPA. Наприклад, рис. 2.2 ілюструє кумулятивну функцію розподілу (CDF), яка визначається як ймовірність того, що випадкова величина X приймає значення, менше за певне значення XX. CDF генеруються в результаті моделювання Монте-Карло, де загальна кількість 200 користувачів розподіляється по сусідству з макростільником, і користувачі підключаються або до макро-BS, або до піко-BS на основі вищих критеріїв отриманої потужності. Потім моделювання повторюється п'ять разів для створення мережевих реалізацій. На рис. 2.2 видно, що для пропускної здатності користувача малої стільникової мережі всі схеми досягають близької продуктивності для низьких значень пропускної здатності, при цьому схема UWPA досягає трохи нижчої пропускної здатності порівняно з іншими схемами (наприклад, менше 20 Мбіт/с). Однак для більш високих рівнів пропускної спроможності запропонована схема UWPA забезпечує кращу продуктивність, наприклад, 74% пропускної спроможності користувача малої стільникової мережі менше або дорівнює 90 Мбіт/с, де 88% досягли цього показника для схеми HSUA і 90% для схеми HFCA і PWBA. У запропонованому алгоритмі процес вибору остаточного набору SBS для роботи в спільному спектрі реалізується через кілька етапів, щоб підтримувати високу QoS для преміальних, голд і базових макросерійних користувачів відповідно. І HFAC, і HSUA розглядали лише потенційне покращення спектральної ефективності SBS, але не враховували інтерференційні перешкоди на макросерверах, тоді як PWBA враховує ці перешкоди.

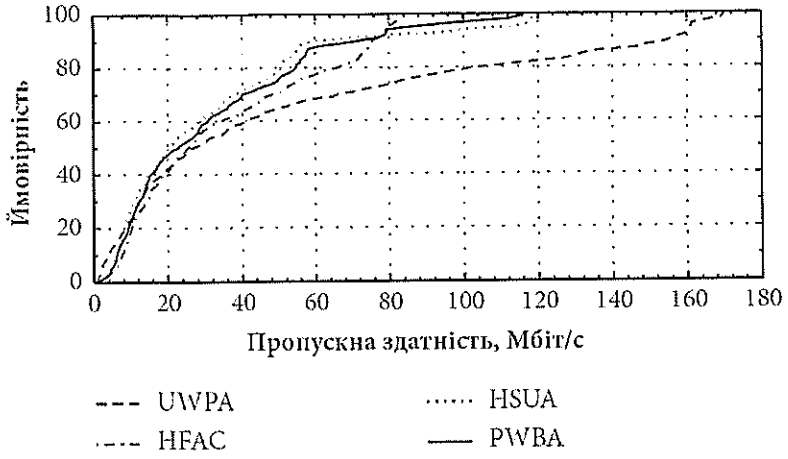


Рис. 2.2. Функція розподілу ймовірностей пропускної здатності користувачів малих стільників

Тим не менш, алгоритм PWBA працює лише для обмеженої кількості макрокористувачів, оскільки було передбачено лише 10 макроклієнтів у їх моделюванні [23], де етап перетину PWBA мінімізує кількість SBS для роботи в спільному спектрі в зворотній пропорції з кількістю макрокористувачів. Таким чином, PWBA неможливий для великої кількості макросерверів.

З іншого боку, враховуючи, що QoS розглядається в UWPA, продуктивність також вимірюється з точки зору коефіцієнта задоволеності преміум-користувача, який є ймовірністю того, що конкретний користувач преміум-класу досягне пропускної здатності, що дорівнює або перевищує певний поріг, як показано:

$$P_c(T, UEpremier) \triangleq P(Thr > T), \tag{2.1}$$

де T – поріг пропускної здатності, заснований на вимогах користувача до швидкості передачі даних, який вважається 20 Мбіт/с.

На рис. 2.3 показано ймовірність досягнення пропускної здатності вище 20 Мбіт/с у всіх схемах, як користувачів преміум-класу, як макростільників, так і малих стільникових користувачів. Реалізація UWPA надає високий пріоритет користувачам преміум-класу, що призводить до більшої задоволеності послугами з точки зору пропускної здатності PHY. Наприклад, запропонований UWPA досяг 45% задоволеності порівняно з 32%, 35% і 34% для схем HFAC, HSUA і PWBA

відповідно.

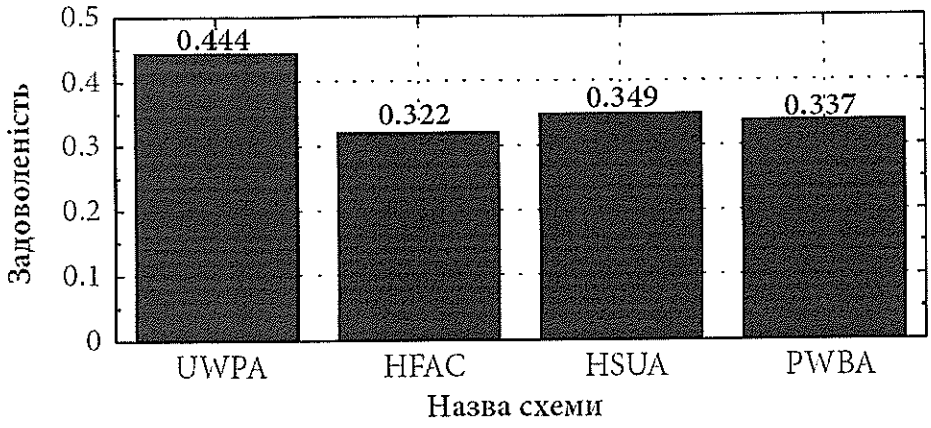


Рис. 2.3. Коефіцієнти задоволеності QoS макрокористувачів

2.2 Метод зменшення перешкод у часовій області для технології C-RAN DP-ABS

Передбачається, що як MBS, так і SBS дотримуються пропорційного справедливого підходу до планування. Передбачається, що всі користувачі малої стільникової мережі мають рівні можливості, будучи запланованими на довгострокову перспективу як планувальник Round Robin (RR). Отже, середню пропускну здатність для конкретного користувача малої стільникової мережі (j) можна обчислити як $\overline{r_{ij}} = r_{ij} / \mathrm{K}_i$, де K_i — кількість користувачів, зокрема, малої базової станції (j) $\mathrm{SBS_i}$. Користувач класифікується як пригнічених на основі функції корисності U, визначеної:

$$U = \prod_{i=1}^{m}\prod_{j=1}^{K_i}\overline{r_{ij}} = \frac{\prod_{i=1}^{m}\prod_{j=1}^{K_i} r_{ij}}{K_i} = \frac{\prod_{i=1}^{m}\prod_{j=1}^{K_i} r_{ij}}{\prod_{i=1}^{m} K_i^{K_i}} \tag{2.2}$$

З (2.2) можна зробити висновок, що коли новий користувач приєднується до конкретного $\mathrm{SBS_i}$, новий U визначається як:

$$U_{new}(i,j) = U_{old} \cdot \frac{r_{ij} \cdot K_i^{K_i}}{(K_i+1)^{K_i+1}} \tag{2.3}$$

Можна запропонувати механізм асоціації стільників, заснований на функції корисності максимізації U, припускаючи, що K_i – це кількість користувачів малих стільників в SBS_i, яка розглядається як (K_i -1) початкові користувачі плюс новий доданий. Обчислення функції максимальної корисності за допомогою динамічного програмування (DP):

$$U_{max}(K_1, K_2, \ldots, K_m) = \max \left\{ U_{max}(K_1, K_2, \ldots, K_{i-1}, \ldots, K_m) \cdot \frac{r_{ij} \cdot (K_i - 1)^{K_i - 1}}{(K_i)^{K_i}} \mid j = \sum K_i \right\} \quad (2.4)$$

Така ж стратегія під час розрахунку U_{max} за DP дозволила застосувати її у «перевиборі пригніченого UE», і вона вважається основним механізмом у визначенні пригнічених-користувачів у цьому дослідженні. Припускаючи, що певний SBS_i має певну кількість користувачів, пов'язаних з ним (незалежно від того, яка схема використовується для асоціації) і коефіцієнт приглушення α. Зведена швидкість передачі даних стільника для значення α (позначається як $U_i^{tot}(\alpha)$) розраховується як сума двох допоміжних функцій ($U_i^N(\alpha)$, $U_i^V(\alpha)$), пов'язаних із користувачами, які не є пригніченими, і справжніми пригніченими, як N_i та V_i з щільністю в SBS_i як $N_i^N(\alpha)$ і $N_i^V(\alpha)$ відповідно. Користувачі N_i заплановані спеціально в підкадрах ABS, а користувачі V_i — у субкадрах без ABS. На основі (2.2) та взяття авторизованих користувачів для його компонентів, то $U_i^{tot}(\alpha)$ можна переписати як

$$U_i^{tot}(\alpha) = U_i^N(\alpha) + U_i^V(\alpha) = \left\{ \log_2(1-\alpha) \cdot N_i^N(\alpha) + \sum_{j=1}^{N_i^N(\alpha)} \log_2\left(R_{Nj}^i\right) \right\} + \left\{ \log_2(\alpha) \cdot N_i^V(\alpha) + \sum_{j=1}^{N_i^V(\alpha)} \log_2\left(R_{Vj}^i\right) \right\} \quad (2.5)$$

R_{Nj}^{i} та R_{Vj}^{i} у (2.5) є середніми швидкостями передачі даних у довгостроковій перспективі для користувачів N_i та V_i відповідно. Ці цифри математично отримані в [25] для пропорційного справедливого планування наступним чином:

$$\begin{aligned} \mathrm{R}_{Nj}^{i} &= \frac{\mathrm{G}\left(N_i^N(\alpha)\right)\cdot r_{Nj}^{i}}{N_i^N(\alpha)}, \\ \mathrm{R}_{Vj}^{i} &= \frac{\mathrm{G}\left(N_i^V(\alpha)\right)\cdot r_{Vj}^{i}}{N_i^V(\alpha)} \end{aligned} \tag{2.6}$$

тоді як r_{Nj}^{i} та r_{Vj}^{i} – це швидкість передачі даних посилання для користувачів, які не є пригніченими, і саме пригнічених відповідно. Максимізацію (2.4) NP-важку задачу вирішити, тому було розглянуто DP розв'язок. DP вирішує цю проблему зі зменшенням складності від $O(2^{k_i})$ до $O(\mathrm{k}_i^2)$, де k_i – кількість користувачів на SBS_i, тоді як 2 представляє підмножини малих користувачів, які підлягають класифікації. На завершення, критерії вибору конкретного користувача малого стільника як N_i або V_i в SBS_i засновані на максимізації агрегованої функції корисності $U_i^{tot}(\alpha)$. Максимальний $U_i^{tot}(\alpha)$для заданого значення коефіцієнта приглушення а визначається як:

$$U_{imax}(N,V \mid \alpha) = \max\left\{U_i(N,V \mid \alpha)\right\} \tag{2.7}$$

Іншими словами, кожен новий доданий користувач може бути або N_i, або V_i, і його/її пов'язана швидкість зв'язку додається як до підпрограми $U_i^N(\alpha)$ так і до $U_i^V(\alpha)$ для пошуку $U_{i_{\max}}(\mathrm{N},\mathrm{V}|\alpha)$ у можливих підпрограмах функцій, що в свою чергу визначає функцію максимальної корисності. Виходячи з вищезазначеного та (3), (4) та (5), $U_{i_{\max}}(\mathrm{N},\mathrm{V}|\alpha)$ задається формулою (2.8) і проілюстровано на кроці 7 у псевдокоді етапу вибору пригнічених DP:

$$U_{i_{max}}(N,V \mid \alpha) = \max \left\{ \left\{ U_{i_{max}}(N-1,V \mid \alpha) + \log_2 \left[(1-\alpha) \cdot r_i^N \cdot \frac{(N-1)^{N-1} \cdot G\left(N_i^N(\alpha)\right)^N}{N^N \cdot G\left(N_i^N(\alpha)-1\right)^{N-1}} \right] \right\}, \left\{ U_{i_{max}}(N,V-1 \mid \alpha) + \log_2 \left[(\alpha) \cdot r_i^V \cdot \frac{(V-1)^{V-1} \cdot G\left(N_i^V(\alpha)\right)^V}{V^V \cdot G\left(N_i^V(\alpha)-1\right)^{V-1}} \right] \right\} \right\} \quad (2.8)$$

Вказано кінцеві N_i та V_i у кожному SBS_i, які реалізують $U_{i_{max}}(N,V|\alpha)$. Центр RIE в C-RAN (пул BBU) зможе позначити кожного користувача малого стільника як пригніченого і не пригніченого в кожному пікостільнику окремо, як пояснюється в псевдокоді алгоритму 1 вибору пригнічених DP (крок 3 – крок 12).

Також запропонована схема [14] на основі ABS навпаки, не покладається на застосування ABS на макростільниках. Отримання оптимальної щільності ABS можливо при обчисленні максимальної корисності для кожного користувача малого стільника та функції корисності для одного і того ж значення α (коефіцієнт приглушення) для користувачів макростільників, а потім обчислити загальну функцію корисності системи для всіх можливих значень α.

Алгоритм 1: Етап динамічного програмування вибору пригнічення (Dynamic Programming).

Введення даних N_i & V_i =0; $U_{i_{max}}(0,0|\alpha)=0$;

1. **For each** $SBS_i \in$ SBS_list
2. Отримати операційний тип SBS_i_ (спільні/виділені смуги)
3. **if** [SBS_i_ операційний тип == спільний]
4. **For each** $S_{ms_{uej}} \in SBSi$
5. Розрахувати r_{uej}^N, r_{uej}^V.
6. Отримати номер of N_i, V_i для SBS_i

7. Розрахувати $U_{i_{\max}}(\mathrm{N},\mathrm{V}|\alpha)$ відповідно до рівняння (2.7)

8. Відновити результат вибору для $S_{ms_{uej}}$ як $\mathrm{N_i}$ як $\mathrm{V_i}$

9. Оновити номери $\mathrm{N_i}$ чи $\mathrm{V_i}$;

10. **end for**;

11. Остаточний розрахунок $r_{uej}, \overline{r_{uej}}$

12. **else**

13. **Для кожного** $S_{ms_{uej}} \in SBSi$

14. Остаточний розрахунок $r_{uej}, \overline{r_{uej}}$.

15. **end for;**

16. **end if;**

17. **end for.**

На основі процесу порівняння, оптимально отримано значення щільності ABS для синхронного ABS. У класичних сценаріях розгортання ABS рішення про конфігурацію ABS в мережі включає в себе коефіцієнти компромісу між збільшенням ємності через розширення діапазону малих стільників, коли ми застосовуємо зміщення потужності, і втратою ємності через неможливість розподілити ресурси для користувачів макроствльників в ABS інтерферуючого MBS [26]. У джерелах пояснень, для спрощення, MBS працюють не в ABS і повністю відключаються в ABS. Однак SBS працюють у всіх субкадрах, а пригнічені UE переважно плануються в підкадрах ABS. Інше припущення полягає в тому, що всі домашні eNBs (HeNBs) або SBSs, розгорнуті в області макростільників, можуть виконувати процедуру синхронізації для синхронізації з MBS. MBS агресивно запускає HeNBs через канал магістралі для роботи в режимі ABS з обраним шаблоном ABS.

Якщо припустити, що користувачі макростільника за замовчуванням не плануються в приглушених субкадрах, щоб пом'якшити серйозність перешкод для користувачів-пригнічених SBS, що, у свою чергу, призведе до втрати ємності для користувачів макростільника. Крім того, є й інші фактори з точки зору практичності при застосуванні фіксованого рисунка ABS; наприклад, при низькому завантаженні системи ймовірність того, що користувачі зазнають перешкод спільного каналу, низька, і немає потреби в ABS. Інший фактор: коли ABS

налаштовано, кількість макросерій, переданих SBS під час застосування розширення діапазону стільника (CRE), вплине на кількість необхідних ABS. Для вирішення вищезгаданих проблем у цьому дослідженні застосована нова концепція розділення околиць широкого макрорегіону на змінну кількість секторів залежно від щільності ABS. Щільність ABS (іменується α) відіграє ключову роль у тому, на скільки секторів розрізається макрооточення. Наприклад, коли $\alpha = 0.4$, то є два шаблони ABS, які призводять до двох секторів у макрообласті.

Алгоритм 2: DP-DAP для макрокористувачів.

1. Отримати загальну кількість субкадрів $sbfrme_{tot}$, α, *NuofMacropersbfrme, SBS_list, MMS_list, Sms_list*

2. **for each** $subframe_i \in sbframe_{tot}$

3. Отримати пов'язаний сектор і SBSs;

4. Застосувати ABS-шаблон для SBSs у відповідну секунду

5. **While** лічильник <*NuofMacropersbfrme*

6. Index = index +1;

7. **if [MMS$_j$ (index)** 's sector != пов'язаний сектор]

8. **MMS$_j$** це виділені ресурси;

9. Позначити **MMS$_j$** як запланований;

10. Лічильник = Лічильник +1;

11. **end if;**

12. **end while;**

13. Лічильник =0;

14. **end for.**

На рис. 2.4 зображено відображення між α та розташуванням стільника з точки зору кількості секторів. Ця схема працює на основі субкадру і називається (DP-Diverse ABS Pattern), іменується як DP-ABS. Наприклад, у конкретному ABS субкадрі X пригніченому користувачеві SBSs виділяються ресурси в субкадрі X, таким чином, що лише макрокористувачі, які знаходяться в тому ж секторі, що і SBS, не будуть заплановані на цьому субкадрі. Тим не менш, макросерії, які

розподілені в інших секторах, виділяються в субкадрі X (кроки 7 і 8 в Алгоритмі 2). Це можна реалізувати практично за допомогою сучасних антенних технологій (формування променя, спрямована антена тощо). Псевдокод, пов'язаний із вищезгаданим методом, показаний в Алгоритмі 2.

На рис. 2.5 показаний макростільник з невеликими стільниками, розкиданими поблизу, і всі вони підключені до пулу BBU в центрі обробки даних. Щільність ABS в цьому прикладі становить 3/10, а макрообласть розрізана на три різні області. Маленькі стільники в різних секторах мають різні візерунки ABS; це дозволяє користувачам макросів в інших секторах використовувати приглушені підкадри, що полегшить втрату ємності застарілої ABS.

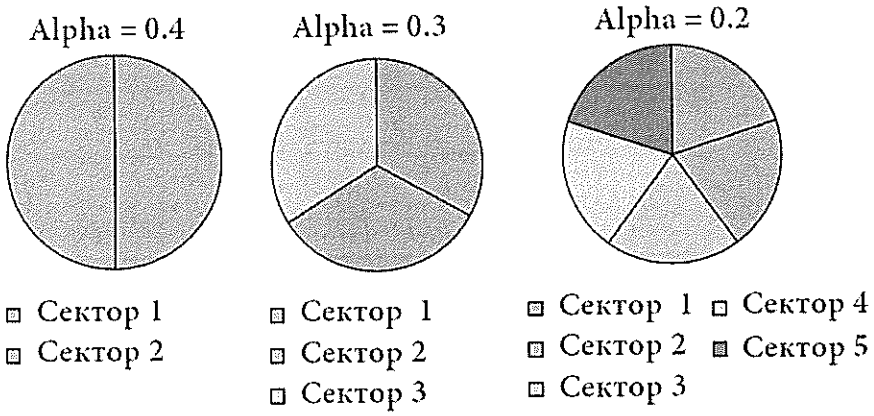


Рис. 2.4. Зіставлення між альфа-версією та схемою стільників

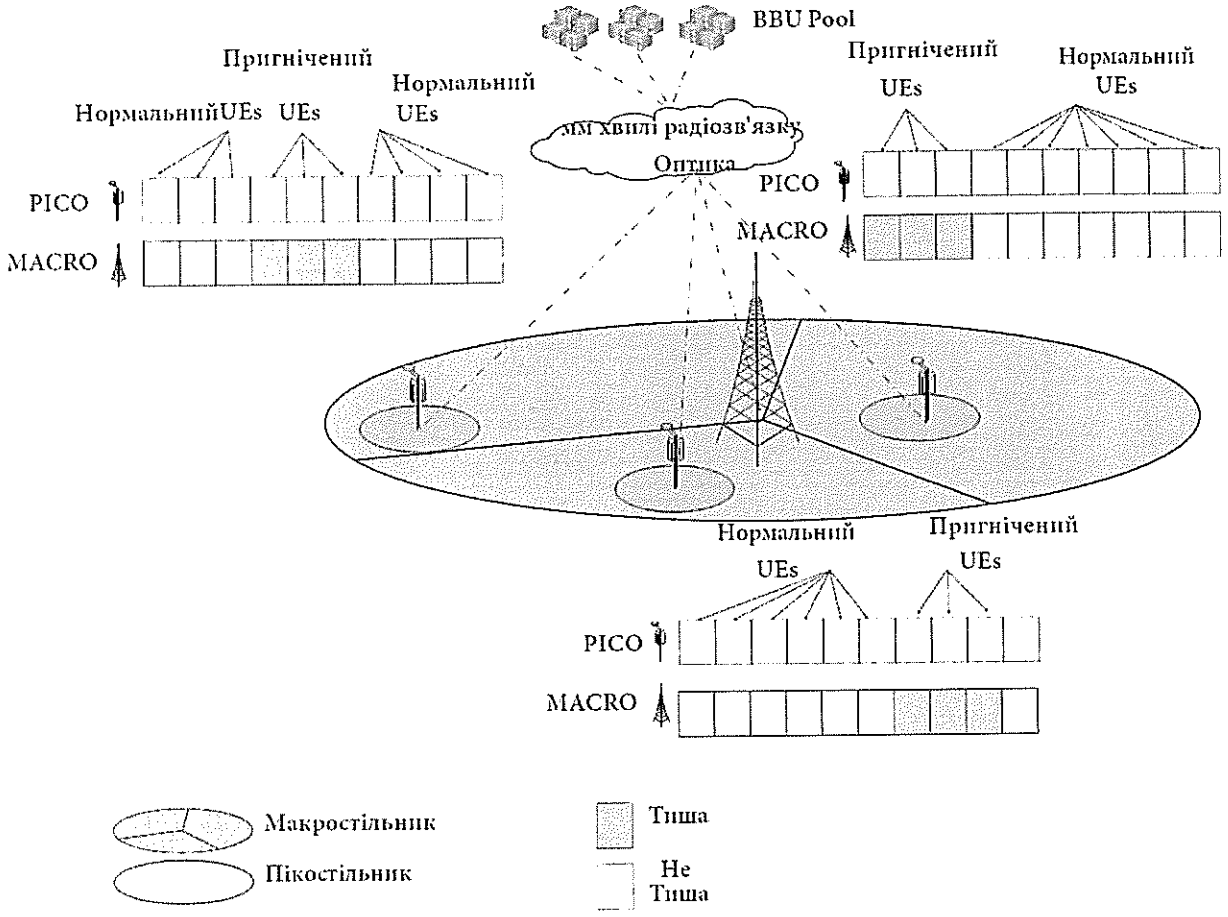


Рис. 2.5. Різноманітні шаблони ABS у секторалізованому H-CRAN. BBU-pool - Baseband Unit

2.3 Робота методу зменшення перешкод у часовій області DP-ABS разом з технологією H-CRAN

У цьому дослідженні стільникова архітектура хмарної мережі HetNet розгорнута для роботи в одному діапазоні HetNet. Ми розглядаємо дворівневу C-RAN HetNet, що складається з (1) першого рівня, утвореного лише макростільниковою BS з можливостями RRH, тоді як наступні рівні відповідають малим стільниковим RRH (пікостільникам у цьому дослідженні) з антенами, розташованими у віддалених місцях, які розгортають LTE. Припускаємо, що RRH підключаються до BBU через ідеальне оптичне волокно; (2) пул BBU з розширеними функціями спільної роботи між сайтами різних рівнів; (3) передні зв'язки з високою пропускною здатністю між RRH та пулом BBU, всі рівні підключені до хмарного дата-центру, де розміщений пул BBU. Фронтальна RF і прості функції обробки реалізовані в RRH, тоді як інші процедури обробки основної смуги частот і верхні рівні виконуються спільно в пулі BBU. Просторова конфігурація RRHs на другому рівні моделюється з використанням рівномірного розподілу в розглянутій області макростільника (стільник рівня 1). Рис. 2.6 ілюструє багаторівневу C-RAN HetNet як сценарій співіснування для однієї MBS і кількох SBS, які представляють піко- та фемто- в HetNet; однак у даному дослідженні розглядається лише випадок пікоелементів. Покриття кожного стільника залежить від його типу (наприклад, MBS або SBS). Кількість користувачів, пов'язаних з кожним SBS, змінюється весь час. Пул BBU підтримує регулярну сигналізацію з MBS і SBS для збору інформації про умови користувача (наприклад, рівні SINR). Передбачається, що SBS може працювати в спільному розділі спектру разом з MBS або виділеною частиною. Обидва розділи розподіляються на основі виводу алгоритму, який виконується в RIE в пулі BBU. Розглядається передача по низхідній лінії зв'язку, коли пул BBU надсилає окремі потоки даних користувачам через RRH.

У цьому дослідженні реалізовано тривимірну метод каналу 3GPP/ITU, яка враховує як поширення в азимуті, так і в площинах висоти. 3D-метод ITU враховує великомасштабне завмирання, враховуючи втрати на шляху і ефекти затінення, а

також маломасштабне загасання за допомогою детального моделювання багатопроменевих компонентів (MPC). Великомасштабні параметри (LSP), які використовуються в цій моделі, засновані на передбаченнях 3D трасування променів, які надають інформацію про амплітуду, фазу, часову затримку, кут прибуття (AoA) і кут відправлення (AoD) в областях висоти та азимуту, див. рівняння (2.9). Впровадженої статистики 3D-каналів і моделювання відповідних LSP - ця система була зметодована на несучій частоті 2,6 ГГц, а реалізовані моделі втрат на трасі для умов непрямої видимості, показані на рис. 2.6.

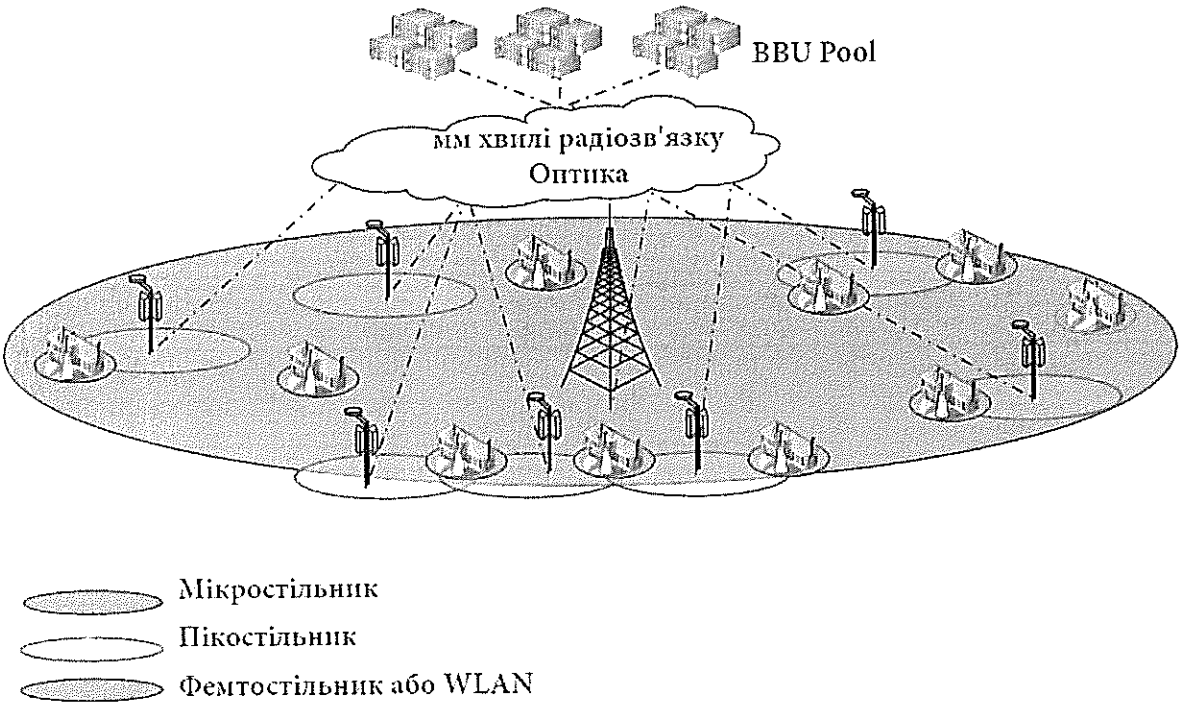


Рис. 2.6. Архітектура H-CRAN

$$PL_{NLOS} = 39 \log_{10}(d) + 25 \tag{2.9}$$

Для кожного сценарію використовувалися унікальні параметри, що описують характеристики поширення сигналу, такі як коефіцієнти відбиття, розсіювання та дифракції. Модель була адаптована до умов реального часу за рахунок врахування динамічних змін у розташуванні базових станцій та мобільних пристроїв.

Таблиця 2.2.

Визначення змінних канальної матриці

Параметр	Опис
P_n	Потужність кластера
$E_{r,x,u,V}, E_{r,x,u,\mathrm{H}}$ $E_{\mathrm{t},x,\mathrm{s},V}, E_{\mathrm{t},x,\mathrm{s},\mathrm{H}}$	Компоненти вертикальної та горизонтальної поляризації діаграми спрямованості антени прийому та передачі
Верхні індекси VV і HH	Отриманий кополяризований сигнал
Верхні індекси VH і VH	Отриманий крос-поляризований сигнал
$\Phi_{n,m}^{VV}, \Phi_{n,m}^{VH}, \Phi_{n,m}^{HV}, \Phi_{n,m}^{HH}$	Початкові фази променя m у кластері n
κ	Коефіцієнт потужності крос-поляризації
$\Psi_{n,m}^{Tx}, \Psi_{n,m}^{Rx}$	Одиничний вектор Tx і Rx, визначений рівняннями (3) і (4)
$\Omega_{n,m}^{Tx}, \Omega_{n,m}^{Rx}$	Координата елементів антени Tx і Rx MIMO j і i
λ_0	Довжина хвилі несучої частоти
$\upsilon_{n,m}$	швидкість UE у напрямку (θ, ϕ)

Математичне виведення 3D-матриці каналу з варіантом часу виражається в (2.10), а опис термінів, які складають матрицю каналів, визначено в таблиці 2.2. Потрібно звернути увагу, що в (2.10) кути виходу та входу для кожного багатопроменевого променя в областях висоти та азимуту позначаються як $(\theta,\phi)_{n,m,AoD}$ і $(\theta,\phi)_{n,m,AoA}$ відповідно. Крім того, в (2.10) індекси u відносяться до елемента антени прийому, s - для елемента антени передачі, n - для номера кластера променів і m - для променя підшляху в кластері. Рівняння (2.10) представляє канал зміни часу системи MIMO загалом між будь-якою приймальною антеною u та антеною s передачі. Рівняння (2.10) також ілюструє об'єкти, які становлять коефіцієнти каналу. Таким чином, кінцева матриця каналу являє собою просторову

згортку потужності кожного кластера MPC з діаграми випромінювання антени прийому та передачі, враховуючи розміщення елементів антени за координатами xyz та доплерівський зсув у разі рухливості, як показано на (2.10). У разі поляризації діаграми спрямованості антени додається поляризаційна матриця 2x2. Координатні вектори прийому та передачі, надані в (2.10), детально виражені в (2.11) і (2.12) для моделювання каналів 3GPP/ITU.

$$
\begin{aligned}
& H_{u,s,n}(t) = \sqrt{P_n} && \text{Потужність кластера} \\
& * \sum_{m=1}^{m=M} \begin{bmatrix} E_{tx,s,V}\left((\theta,\phi)_{n,m,AOA}\right) \\ E_{tx,s,H}\left((\theta,\phi)_{n,m,AOA}\right) \end{bmatrix}^T && \text{Шаблон антени передачі} \\
& * \begin{bmatrix} \exp\left(j\Phi_{n,m}{}^{vv}\right) & \sqrt{K_{n,m}}\exp\left(j\Phi_{n,m}{}^{vh}\right) \\ \sqrt{K_{n,m}}\exp\left(j\Phi_{n,m}{}^{hv}\right) & \exp\left(j\Phi_{n,m}{}^{hh}\right) \end{bmatrix} && \text{Перехресна поляризація та початкові фази} \\
& * \begin{bmatrix} E_{rx,u,V}\left((\theta,\phi)_{n,m,AOD}\right) \\ E_{rx,u,H}\left((\theta,\phi)_{n,m,AOD}\right) \end{bmatrix}^T && \text{Схема прийому антени} \\
& * \exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda_0}\Omega_i^{Tx}\cdot\Psi_{n,m}^{Tx}\right) && \text{Координатний вектор антени передачі} \\
& * \exp\left(j\frac{2\pi}{\lambda_0}\Omega_i^{Rx}\cdot\Psi_{n,m}^{Rx}\right) && \text{Координатний вектор приймальної антени} \\
& * \exp\left(j2\pi\upsilon_{n,m}t\right) && \text{Ефект Доплера}
\end{aligned}
\tag{2.10}
$$

$$\Psi_{n,m}^{Tx} = \left[\cos\phi_{n,m}^{AoD}\cos\theta_{n,m}^{AoD},\ \sin\phi_{n,m}^{AoD}\cos\theta_{n,m}^{AoD},\ \sin\theta_{n,m}^{AoD}\right]^T \tag{2.11}$$

$$\Psi_{n,m}^{Rx} = \left[\cos\phi_{n,m}^{AoA}\cos\theta_{n,m}^{AoA},\ \sin\phi_{n,m}^{AoA}\cos\theta_{n,m}^{AoA},\ \sin\theta_{n,m}^{AoA}\right]^T \tag{2.12}$$

Налаштування моделювання. Розглянемо метод мережі HetNet, представлену раніше, загальна кількість 200 користувачів рівномірно розподілені по всій області макростільника. Таким чином, кожен користувач асоціюється з BS, яка має найвищу отриману потужність. Це означає, що різні SBS мають різну

кількість пов'язаних користувачів. Параметри моделювання наведені в таблиці 2.3.

2.4 Аналіз результатів моделювання. Робота DP-ABS з UWPA

UWPA дозволяє великій кількості малих стільників використовувати ті ж ресурси, що й MBS, враховуючи пом'якшення інтерференційних перешкод. Однак, розглядаючи рисунок 2.8, SINR користувача малого стільника, можна помітити, що їх SINR нижчий, ніж в інших схемах, хоча кінцева пропускна здатність вища. Вища пропускна здатність, отримана в даній методології, пояснюється більшим спільним спектром, який використовується користувачами невеликих стільників. Гібридна схема є розширеною версією UWPA. Він включає UWPA як перший крок у розподілі частот або ресурсів; однак він вставляє механізм поділу за часом, заснований на запропонованому ABS із секторизацією поблизу (DP-ABS). Після того, як SBS визначено з точки зору ресурсів як спільні чи виділені, етап вибору пригніченого DP застосовується для позначення користувачів малої камери як пригніченого чи не пригніченого. В якості останнього етапу використовується лише поділ часу на спільних SBS, що дозволяє розподілити пригнічених і звичайних користувачів у різних підкадрах. Макросери тим часом зіставляються з їхніми асоційованими секторами та субкадрами для розподілу ресурсів, як описано в механізмі різноманітного шаблону ABS, а пов'язаний алгоритм псевдокодування показано в Алгоритмі 2: DP-ABS для макростільників.

Щоб продемонструвати приріст продуктивності спільного DP-ABS і раніше запропонованого UWPA, результати порівнюються з найсучаснішими методами. Критерії відбору користувачів малої стільникової мережі- пригнічених в літературі ґрунтувалися на багатьох показниках, таких як розгляд усіх певних користувачів малої стільникової мережі SBS як користувачів- пригнічених, які заплановані лише в ABS, тоді як усі макростільники заплановані в не-ABS [27]. Інший показник ґрунтується на врахуванні користувачів малої стільникової мережі, розташованих у CRE, коли вони використовуються як користувачі-пригнічені, та користувачів малої стільникової мережі в основному околиці, перш ніж застосовувати CRE як

не- пригнічені, ця метрика називається CRE на основі або CRE. Метод CRE дозволяє користувачам асоціюватися з БС з нижчим SINR [28] (рис. 2.7).

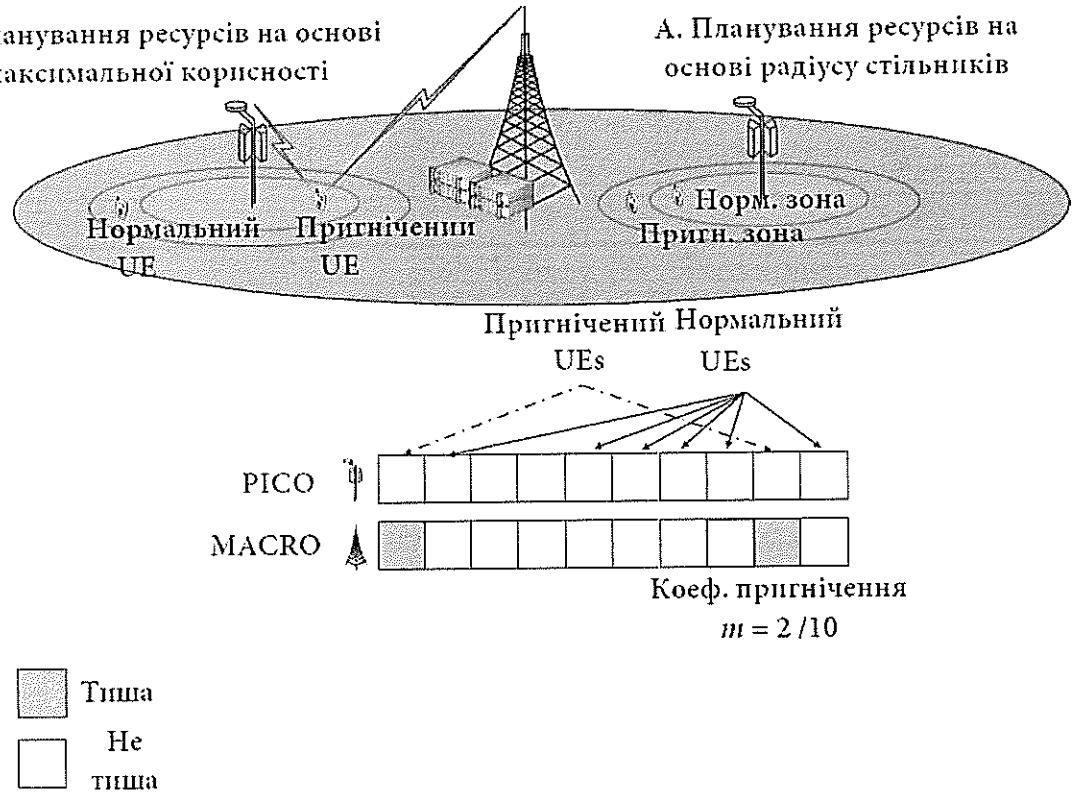


Рис. 2.7. Діапазон стільників і максимальне розподілення ресурсів на основі корисності в H-CRAN

Розглядається як ефективний механізм розвантаження трафіку для збільшення загальної потужності системи. CRE використовувався в літературі для розширення діапазону дрібних стільників фактично шляхом додавання зміщення до отриманої потужності малих стільників замість збільшення потужності передачі BS з малими стільниками; це покращує пропускну здатність на межі стільника та загальну пропускну здатність мережі. Багато досліджень були зосереджені на координації міжстільникових перешкод у CRE; це пов'язано з тим, що потужність багатьох макро-BS завдає шкоди користувачам розширеного регіону, які використовують зміщення для підключення до BS меншої потужності, і тому були запропоновані механізми різниці для обчислення оптимальних значень зміщення (рис. 2.8).

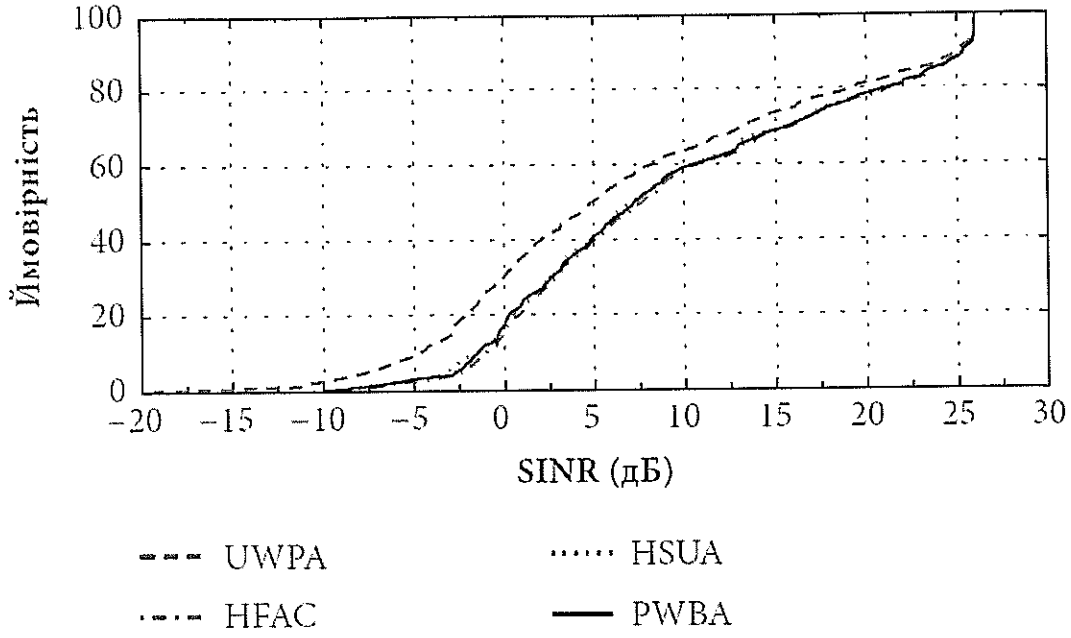


Рис. 2.8. SINR користувачів малої стільникової мережі в UWPA, HFAC, HSUA та PWBA-CDF

Це дослідження порівнює з вищезгаданими показниками в розділі про розподіл часу. Рис. 2.7 ілюструє різницю між схемою на основі максимізації корисності, використаної в цьому дослідженні, та схемою на основі CRE. Це показує, що пригніченний користувач може перебувати як всередині (до застосування CRE), або поза мережею (при застосуванні CRE). Таким чином, запропоновану структуру порівнюють з трьома іншими основними схемами: AS (де всі користувачі малих стільників заплановані в ABS), на основі CRE (де обидві схеми будуть працювати поверх UWPA) і тільки на основі UWPA. На основі UWPA передбачається результат першого етапу цієї гібридної роботи (розділ ресурсів UWPA). Ця структура передбачає, що період шаблону ABS становить 10 мс (тривалість 10 субкадрів). Метою дослідження є підвищення SINR для користувачів малої стільникової мережі.

Покращення SINR для малих користувачів. У цьому розділі представлена продуктивність SINR для користувачів малої стільникової мережі.

Таблиця 2.3.

Параметри моделювання

Параметри	Значення
Радіус макростільника	1500 м
Потужність передачі MBS	49 дБм
Загальна кількість користувачів	200
Потужність передачі SBS	20 дБм
Кількість піко стільників	10
Пропускна здатність 20 МГц	20 МГц
Тип антени	Ізотропна
Несучі частоти	2,6 ГГц
Метод бездротового каналу	Extended 3D 3GPP/ITU
Умови розповсюдження	NLOS, Urban
Кількість мережевих реалізацій	3

SINR розраховується відповідно до наступного рівняння:

$$SINR_{U_i,BS_j} = \frac{P_j \left(L_{U_i,BS_j}\right)^{-1}}{N_0 + \sum_x (BS_x) P_x \left(L_{U_i,BS_x}\right)^{-1}}, \quad (2.13)$$

де $SINR_{U_i,BS_j}$ є SINR у користувача (U_i), пов'язаного з BS (BS_j). P_j - потужність передачі пов'язаної $BS(BS_j)$, L_{U_i,BS_j} представляє втрату потужності, викликану великомасштабним загасанням через втрати в тракті та маломасштабним загасанням через багатопроменевого поширення (маломасштабне загасання моделюється матрицею каналу), між користувачем (U_i) і пов'язаною BS (BS_j), а N_0 — потужність шуму в UE, визначена (14). BS_x представляє список BS, що заважає, з BS_j, P_x - потужність передачі BS_x, що заважає, і L_{U_i,BS_x} - це втрата потужності, як згадувалося раніше, між BS_x, що заважає, і користувачем U_i.

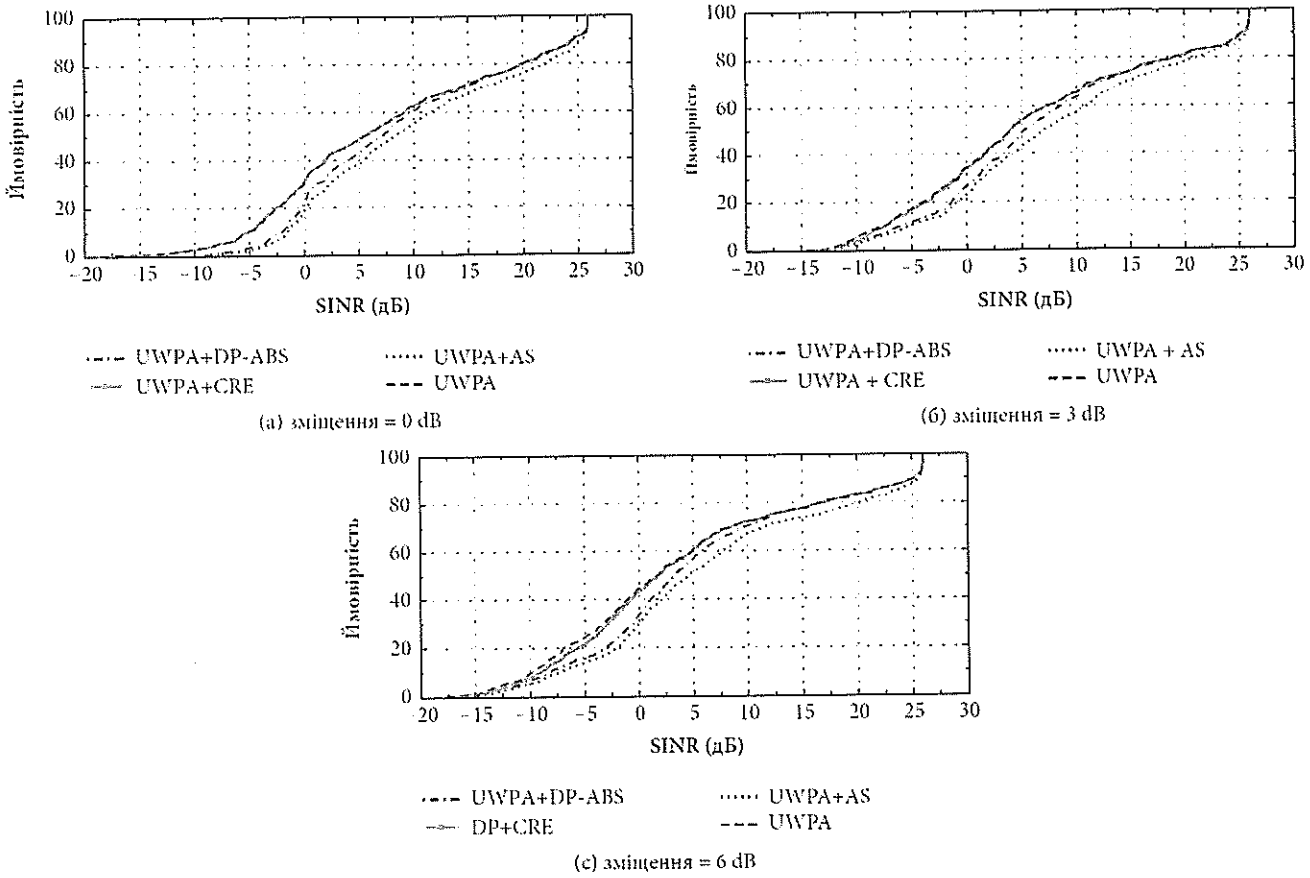


Рис. 2.9. SINR користувачів малої стільникової мережі в UWPA, UWPA+AS, UWPA+CRE та UWPA+(DP-ABS)-CDF.

Білий шум N_0 розраховується як

$$N_0 = KTB\,(dBm) + NF\,(dB) \tag{2.14}$$

У (2.14) K - постійна Больцмана, T - температура в Кельвінах, B - ефективна смуга пропускання (90% загальної пропускної здатності), а NF - показник шуму. LTE-Advanced Bandwidth розглядається в 10 МГц і для UE, T=15°C (288 Кельвінів) і NF =9 дБ [31].

Рис. 2.8 ілюструє SINR малого стільникового користувача з UWPA в порівнянні з попередніми схемами. На даному рисунку порівнюється HFAC, HSUA та PWBA з UWPA. 50% користувачів малої стільникової мережі відчувають звук менше 8,247 дБ у HFAC, 7,94 дБ у HSUA та 7,967 дБ у PWBA. У той час як 50% користувачів малої стільникової мережі відчувають менше 5,415 дБ в UWPA. На

рис. 2.9 показано покращення SINR користувачів малих стільників завдяки використанню DP-ABS.

Рисунки 2.9(а), 2.9(б) і 2.9(с) охоплюють випадок, коли не застосовується (без потужності, зміщення 3 дБ і зміщення 6 дБ) відповідно. Інші базові лінії для порівняння: (UWPA +AS) і (UWPA+CRE), а також лише UWPA. З рисунків 2.9(а) і 2.9(б) можна помітити, що SINR користувачів малої стільникової мережі в UWPA, (UWPA+AS), (UWPA+CRE) і (UWPA+DP-ABS), застосовуючи (UWPA +CRE) без або з малим значенням зміщення не призведе до жодного покращення. Інтуїтивно зрозуміло, що (UWPA+CRE) з нульовим зміщенням вважається тим самим, що й UWPA, тому в першу чергу не очікується покращення, і тому їх пов'язані криві збігаються на рис. 2.9. Крім того, на рис. 2.9(б) зображено мало помічене відхилення від рисунка 2.9 (а) між UWPA і (UWPA+CRE). Однак на рис. 2.9(с) підтверджується, що застосування більшого зміщення (наприклад, 6 дБ) призводить до покращення порівняно з вихідним UWPA. Тим не менш, покращення незначне в порівнянні з іншими застосовуваними схемами (UWPA+AS, UWPA+(DP-ABS)). Це пов'язано з тим, що при малих значеннях упередженості кількість користувачів- пригнічених мала, порівняно із загальною кількістю користувачів у випадку без упередження. Це означає, що їхнє покращення SINR не вплине на загальний SINR стільника. Поліпшення SINR в (UWPA+(DP-ABS)) можна помітити, оскільки 50% користувачів малої стільникової мережі відчувають менше 3,235 дБ порівняно з 55% для того самого SINR в UWPA (покращення на 5%) на рис. 2.9(с). Подібні спостереження взяті з рисунків 2.9(а) та 2.9(б). Попередні схеми гірші за (UWPA +AS), оскільки це ортогональний випадок повторного використання; таким чином, MBS не заважає користувачам SBS.

Продуктивність макрокористувачів. Очікується, що розділення макрорегіону на сектори є більш ефективним з точки зору втрати потужності для макросерверів, ніж класичний ABS, який розглядає планувальник RR. Таким чином, у нашому дослідженні оцінюються дві метрики: перший показник — це середня пропускна здатність макрокористувача, а другий - статистичний показник,

який фіксує, скільки разів заплановано середній макрокористувач та названо час планування.

Таблиця 2.4.

Розрахована пропускна здатність (середня швидкість UE в біт/с/UE) для макрокористувачів

Зміщення			
Значення Alpha	0	3	6
0,2	*4,4e5/**3,6e5***	*4,9e5/**3,9e5***	*5e5/**4e5***
0,3	*4,3e5/**3e5***	*4,7e5/**3e5***	*5,2e5/**3,7e5***
0,4	*4,5e5/**2,7e5***	*4,5e5/**2,8e5***	*5,2e5/**3,2e5***

Таблиця 2.5.

Кількість разів планування для макрокористувачів

Зміщення			
Значення Alpha	0	3	6
0,2	*144/**117***	*159/**129***	*172/**140***
0,3	*145/**103***	*156/**110***	*172/**123***
0,4	*145/**87***	*158/**96***	*170/**104***

У таблицях 2.4 і 2.5 наведено результати для обох показників відповідно. Результати розраховані для обох схем (UWPA+DP-ABS (наведено курсивом)) і (UWPA+ класичний ABS (жирний)) з урахуванням різних зміщень α значень. З таблиць можна помітити, що значення не впливає на час планування для макрокористувачів, оскільки вони також заплановані в приглушених ABS. Однак збільшення α в класичному ABS скорочує час планування, оскільки вони обернено пропорційні. Це інтуїтивно призводить до зниження пов'язаної пропускної здатності. Збільшення зміщення потужності має ефект, оскільки дозволяє більш оригінальним макрокористувачам асоціюватися з SBS, що зменшує загальну кількість макрокористувачів у макрорегіоні; це, у свою чергу, збільшує час

планування, як можна побачити з таблиці 2.5. Варто зазначити, що макропропускна здатність, представлена в цьому розділі, розраховується відповідно до (15), і вона представляє безпомилкову пропускну здатність для системи LTE, розраховану на основі про кількість часів планування та кількість ресурсів, призначених для кожного користувача:

$$Thr_macro = \frac{T_{sch} * RBU * 12 * 7 * 2 * R * k_{mod}}{S_{time}}, \quad (2.15)$$

де *Thr_macro* – це швидкість безпомилкової передачі даних (специфічна для системи LTE та конкретної пропускної здатності), *RBU* – це кількість блоків ресурсів, призначених для конкретного користувача, *R* – швидкість кодування, k_{mod} – порядок модуляції, а S_{time} – час моделювання. Числа 12, 7 і 2 відносяться до кількості несучих на блок ресурсів, кількості символів OFDM на слот і кількості слотів на субкадр відповідно. Запропонована схема (UWPA+DP-ABS) демонструє покращення з точки зору обчисленої пропускної здатності та кількості часів планування проти (UWPA + Classic ABS).

Числові результати в таблицях 2.4 і 2.5 підкреслюють підвищення продуктивності для всіх випадків, наприклад, коли $\alpha = 0{,}3$ і зміщення потужності = 3 дБ, (UWPA+DP-ABS) досягає 56% покращення середньої швидкості даних користувача і 41% кількості часу планування.

Підвищення пропускної здатності користувачів малої стільникової мережі. Очікується, що дизайн DP-ABS поверх UWPA змусить користувачів малої стільникової мережі відчувати вищу пропускну здатність, оскільки це доводить покращення їх SINR. Пропускна спроможність користувача малої стільникової мережі розраховується відповідно до Шеннона (Ergodic):

$$C = B * \log_2(1 + \gamma) \quad (2.16)$$

Ємність у *B* – це об'єм спектру, доступний для цього конкретного стільника, а γ – отриманий SINR. Щоб продемонструвати покращення, запроваджене методом DP-ABS, порівняння виконується з (UWPA+AS), (UWPA+CRE) і малою

пропускною здатністю користувача відразу після застосування лише UWPA. Ефективність оцінюється для випадку зміщення діапазону стільника 3 дБ і трьох різних значень a (0,2, 0,3 і 0,4).

На рисунках 2.10 (a), 2.10 (б) та 2.10 (c) показані відповідні криві середньої пропускної здатності CDF щодо (a =0,4, 0,3 та 0,2) відповідно. Помічено, що (UWPA+DP-ABS) досягло покращення пропускної здатності UWPA для всіх значень α . Наприклад, гібридна схема (UWPA+DP-ABS) досягає 6% збільшення кількості користувачів, які досягають пропускної здатності вище 2 Мбіт/с лише проти UWPA. Застосування CRE поверх UWPA не змінює UWPA лише за винятком невеликого відхилення за вищими ставками. Тільки UWPA навіть краще, ніж застосування (UWPA+AS), оскільки останній має низьку продуктивність на 22% у кількості користувачів, які мають пропускну здатність більше 2 Мбіт/с. Метод DP-ABS поділяє користувачів малої стільникової мережі на користувачів-пригнічених і не-пригнічених. Тому, щоб зробити порівняння справедливим з результатами UWPA, розглядається вимірювання середньої пропускної здатності для користувачів- пригнічених і не- пригнічених. Тим не менш середня пропускна здатність розраховується наступним чином:

$$\overline{r_{ij}} = \frac{r_{ij}}{K_i}, \tag{2.17}$$

де K_i - загальна кількість малих користувачів у певному стільнику. Замість цього $\overline{r_{ij}}$ обчислюється шляхом ділення r_{ij} на загальну кількість користувачів малого стільника одного типу (пригніченого чи не пригніченого) у певному стільнику. Без втрати загальності, покращення середньої пропускної здатності пов'язане з покращенням SINR у пригнічених користувачів малої стільникової мережі, що призводить до кращої швидкості передачі даних. Це крім того факту, що середня пропускна здатність звичайних користувачів малої стільникової мережі в жодному SBS не змінилася через виділення інших ресурсів для пригнічених користувачів малої стільникової мережі. На рисунках 2.11(a), 2.11(б), 2.11(c), 2.12(a), 2.12(б) та 2.12(c) зображено середню пропускну здатність для пригнічених

та не пригнічених користувачів малих стільників для a =0,4 , 0,3 і 0,2 відповідно, знову. Для a = 0,4 користувачі малих стільників, які не є пригніченими, мають найвище покращення порівняно з UWPA, порівняно з іншими значеннями a (0,3, 0,2). Наприклад, a =0,4 призводить до того, що 50% користувачів мають швидкість менше 3,71 Мбіт/с порівняно з 3,213 Мбіт/с для a =0,3 і 2,304 Мбіт/с для a = 0,2.

Навпаки, користувачі малих стільників-пригнічених демонструють найвище покращення порівняно зі такими ж користувачами в UWPA, коли a =0,2, як зазначено на рис. 2.12(c). Це пов'язано з тим, що коли α дорівнює 0,2, користувачі малих стільників-пригнічених мають менше ресурсів, ніж у випадку a =0,3 і 0,4, але загальна кількість користувачів малих стільників-пригнічених в конкретній мережі менша (коли α = 0,2) відповідно до процес первинної класифікації (етап відбору пригніченого DP). Тому користувачі- пригнічені мають більше шансів на виділення ресурсів.

Для зміщення =3 дБ, α =0,3 демонструє найвище покращення порівняно з α =0,4 і 0,2. Проте запропонована схема (UWPA+DP-ABS) перевершує інші схеми незалежно від значень. Коли α =0,3, 50% користувачів малої стільникової мережі мають середню пропускну здатність, що дорівнює або менше 1,909 Мбіт/с, порівняно з 57% у ((UWPA + CRE), лише UWPA) і 78% для (UWPA+AS).

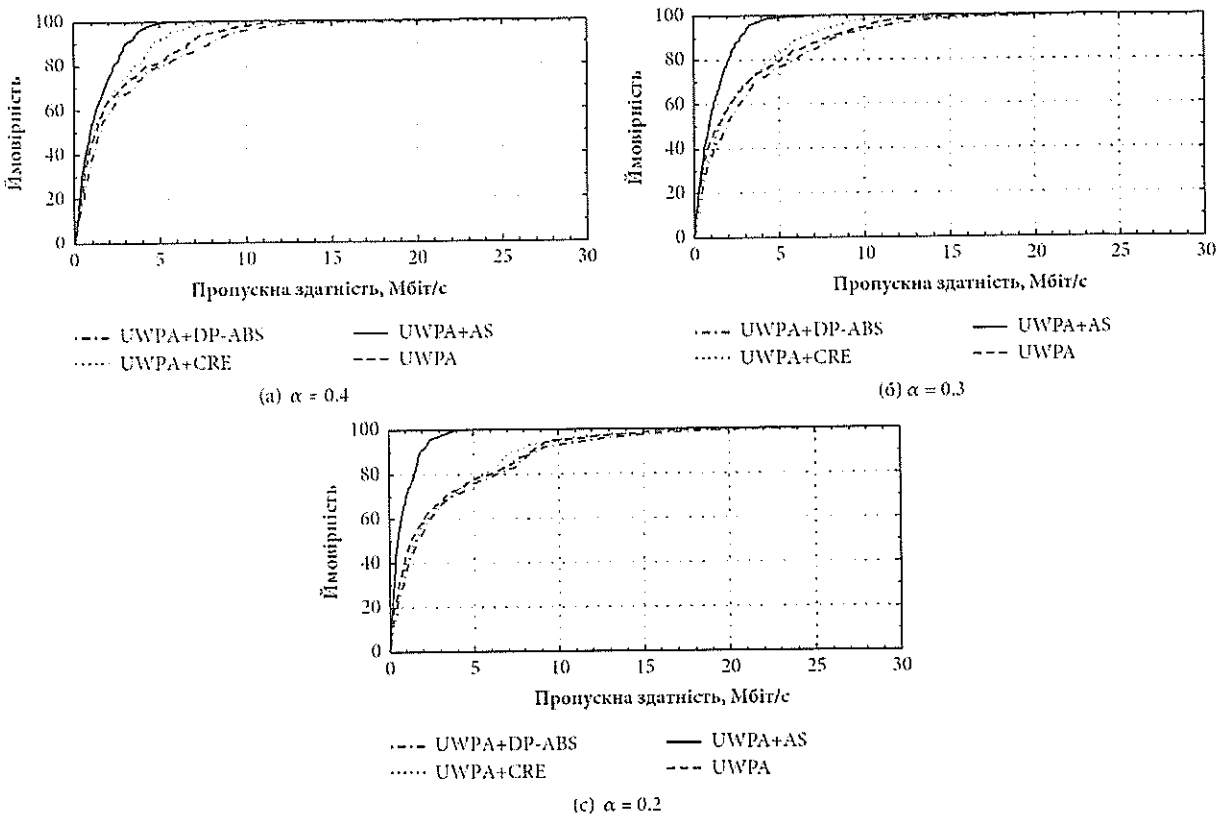


Рис. 2.10. Середня пропускна здатність користувачів малих стільників для різних значень Alpha

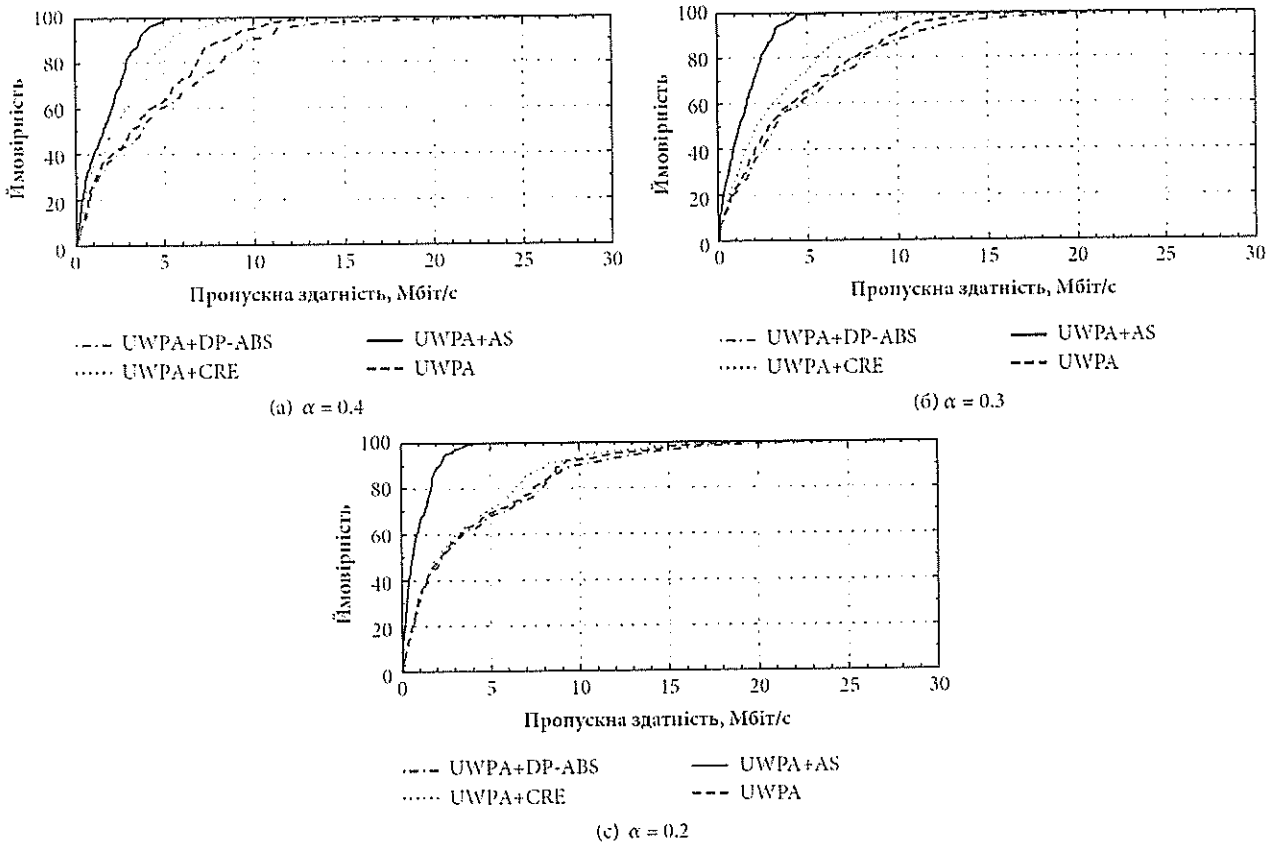


Рис. 2.11. Середня пропускна здатність не пригнічених користувачів малих стільників

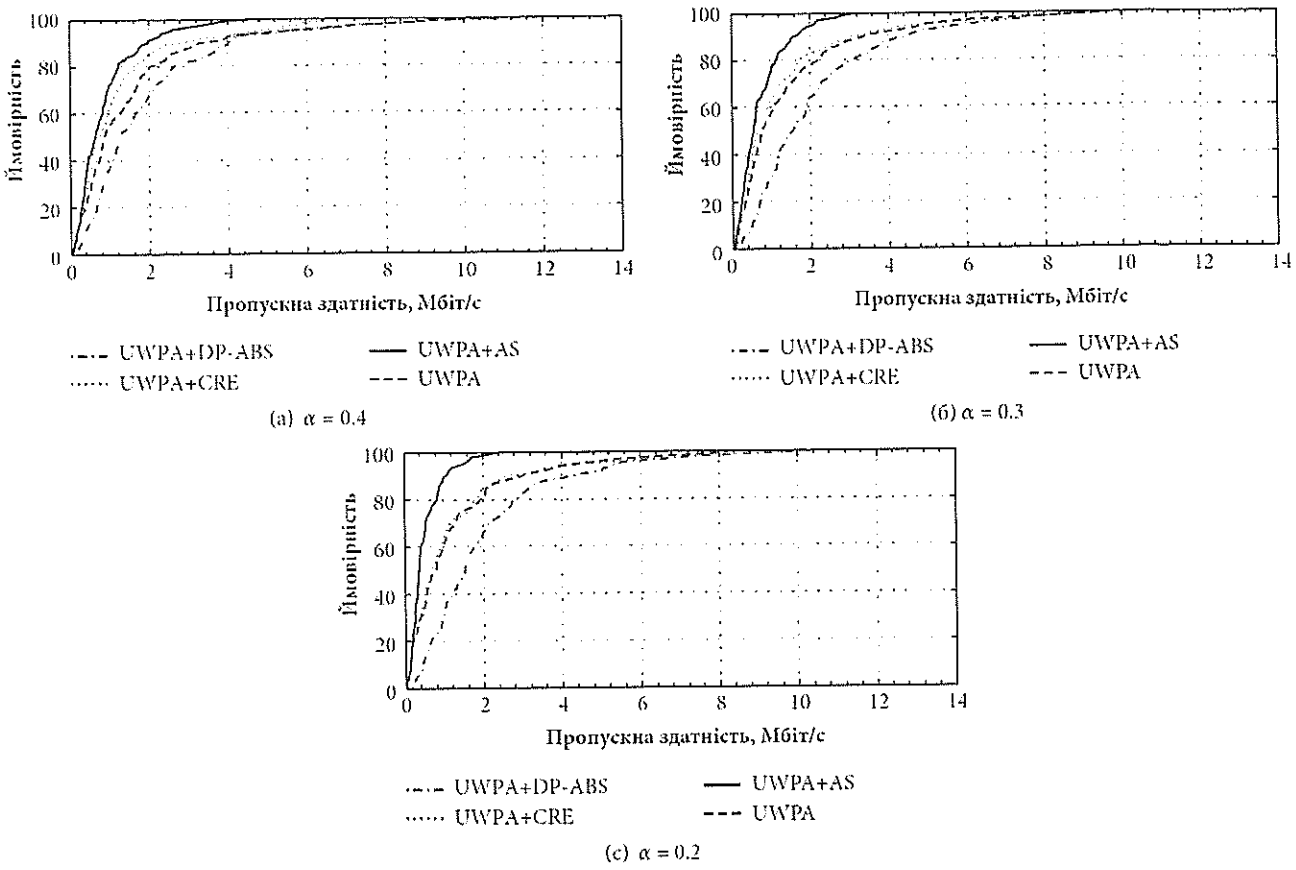


Рис. 2.12. Середня пропускна здатність пригнічених користувачів малих стільників

РОЗДІЛ 3. МЕТОД ТЕСТУВАННЯ 4К-ВІДЕО У РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ КОДУВАННЯ ВІДЕОДАНИХ

3.1 Методи реалізації доступу до хмарного програмного забезпечення

Мережеве програмне забезпечення призначене для організації спільної роботи групи користувачів на різних комп'ютерах. Дозволяє організувати загальну файлову структуру, загальні бази даних, доступні кожному члену групи. Забезпечує можливість передачі повідомлень і роботи над спільними проектами, можливість поділу ресурсів. Наступним етапом розвитку мережевого програмного забезпечення є хмарні платформи [29, 30].

Хмарні обчислення викликають великий інтерес і широко застосовуються. Вони пропонує клієнтам додатки, дані, обчислювальні ресурси та функції управління інформаційними технологіями (IT) як послугу через Інтернет або виділену мережу. Кілька конвергуючих та взаємодоповнюючих факторів призвели до появи хмарних обчислень як популярної моделі надання послуг IT, яка подобається всім зацікавленим сторонам. Розглянута як зміна парадигми в IT, вона приймається для різноманітних застосувань - персональних, академічних, ділових, державних тощо - не тільки для економії витрат та доцільності, а й для досягнення стратегічних цілей IT та бізнесу. Це перетворює кожен сектор суспільства і робить глибокий вплив, особливо на IT-індустрію та IT-фахівців - розробників додатків, корпоративних IT-адміністраторів та IT-керівників. Керуючись прогресом хмарних технологій, розповсюдженням мобільних пристроїв, таких як смартфони та планшети, та використанням різноманітних додатків, підтримуваних бездротовим широкосмуговим доступом до Інтернету, обчислювальний ландшафт продовжує змінюватися. У способі доставки та використання IT спостерігається зміна парадигми.

Хмарні обчислення - це нова радикальна технологія доставки IT та бізнесу. Користувачі можуть користуватися хмарними послугами, коли вони потрібні, і там, де вони їм потрібні, і в кількості, яка їм потрібна, і оплачувати лише ті ресурси, які

вони використовують. Він також пропонує величезну обчислювальну потужність, масштабованість на вимогу та доступність утиліти за низьких витрат.

Хмарні обчислення вже не є галасливими. Люди користуються хмарними програмами, такими як веб-пошта та веб-календар або веб-сайти для спільного використання фотографій (наприклад, Flickr, Picasa) та Інтернет-сховище даних. Малі та середні підприємства використовують хмарні програми для обліку, обробки оплати праці, клієнтів управління відносинами (CRM), бізнес-розвідка та обмін даними. Великі підприємства використовують хмарні сервіси для функцій бізнесу, таких як управління ланцюгами постачань, зберігання даних, аналітика великих даних, управління бізнес-процесами, CRM, моделювання та імітація, а також розробка додатків. Дослідження показують, що користувачі надають зручність, гнучкість, можливість обміну інформацією та безпеку даних як основні причини для участі у хмарних обчисленнях [31 - 33].

По мірі того, як хмарні обчислення рухаються у напрямку прийняття основних напрямків, спостерігається значне хвилювання та оптимізм, а також занепокоєння та критика. Багато людей мають неповну інформацію або плутають реальні переваги та ключові ризики хмарних обчислень. Враховуючи його трансформаційний потенціал та значення, важливо, щоб студенти, IT-фахівці, керівники бізнесу та урядові лідери мали усвідомлене цілісне розуміння хмарних обчислень та того, як вони можуть його сприйняти.

У цьому розділі представимо огляд концепцій хмарних обчислень, хмарних сервісів, хмарних моделей та програм. Ми також окреслюємо переваги та обмеження хмарних обчислень, визначаємо його потенційні ризики та обговорюємо перспективи хмарних ситуацій та те, що можуть зробити підприємці та особи для успішного використання хмарних обчислень. Нарешті, ми обговорюємо перспективи та наслідки хмарних обчислень для підприємств, IT-індустрії та IT-фахівців.

Еволюція з середини 1970-х років обчислювальна техніка пройшла через кілька етапів - від основних комп'ютерів до міні-комп'ютерів до персональних комп'ютерів до мережевих обчислень, обчислень клієнт-сервер та розподілених

обчислень. Тепер, набуваючи повне коло, обчислювальна техніка переміщується назовні до хмар, до віддалених обчислювальних ресурсів, досягнутих через Інтернет.

Залежно від того, як ви переглядаєте хмарні обчислення, це можна описати різними способами. Існує декілька визначень, але Національний інститут стандартів і технологій (NIST) пропонує класичне визначення, яке охоплює ключові елементи та характеристики хмарних обчислень:

Хмарні обчислення - це модель для надання повсюдного, зручного доступу на вимогу мережі до спільного пулу налаштованих обчислювальних ресурсів (наприклад, до мереж, серверів, сховищ даних, додатків та служб), які можна швидко забезпечити та випустити з мінімальними зусиллями управління або взаємодія постачальника послуг.

Міжнародна організація зі стандартизації (ISO) надає аналогічне визначення, вирішивши назвати хмарні обчислення "розвиваючою парадигмою": "Хмарні обчислення - це парадигма для забезпечення доступу до мережі до масштабованого та еластичного пулу обмінних фізичних чи віртуальних ресурсів з самостійними, надання послуг та адміністрування на вимогу» (ISO / IEC DIS 17789: 2014, 2014).

Gartner визначає хмарні обчислення спрощено, як "Стиль обчислень, де масштабовані та еластичні можливості, що підтримуються IT, надаються як послуга для декількох клієнтів за допомогою Інтернет-технологій".

Ще одне визначення охоплює декілька ключових характеристик хмарних обчислень і представляє більш широкий та практичний погляд на нього:

Хмари є великим набором легко зручних та доступних віртуалізованих ресурсів, таких як обладнання, платформи розвитку та / або послуги. Ці ресурси можна динамічно перенастроювати, щоб підлаштовуватися під змінне навантаження (масштаб), дозволяючи також оптимально використовувати ресурси . Цей пул ресурсів, як правило, використовується моделлю оплати за використання, в якій постачальник інфраструктури надає гарантії за допомогою індивідуальних угод про рівень обслуговування (угод про рівень обслуговування) (табл. 3.1) [34, 35].

Таблиця 3.1.

Характеристики хмари

Характеристика хмари	Опис
Самообслуговування на вимогу	Можливості обчислень (наприклад, час сервера та мережеве зберігання) можуть бути в односторонньому порядку автоматично надані за потреби).
Широкий доступ до мережі	Можливості доступні через неоднорідні тонкі або товсті клієнтські платформи (наприклад, мобільні телефони, планшети, ноутбуки та робочі станції).
Об'єднання ресурсів	Обчислювальні ресурси (наприклад, зберігання, обробка, пам'ять та пропускна здатність) об'єднані для обслуговування декількох споживачів і динамічно призначаються та перерозподіляються відповідно до попиту. Клієнти не контролюють точне розташування ресурсів, але можуть мати змогу вказати місцеположення (наприклад, країну, штат або центр обробки даних).
Швидка еластичність	Можливості можна еластично забезпечити та звільнити пропорційно попиту. Наявні можливості часто виявляються необмеженими.
Розмірене обслуговування	Використання ресурсів автоматично контролюється та оптимізується за допомогою можливостей вимірювання, відповідних типу послуг (наприклад, зберігання, обробка, пропускна здатність та активні облікові записи користувачів).
Багатосторонність	Хмарні обчислення - це спільний ресурс, який спирається на об'єднання ресурсів як важливу особливість. Він передбачає використання одних і тих же ресурсів кількома споживачами, які називаються орендарями.

Основні характеристики хмари. Хмарні обчислення мають такі ключові відмінні характеристики:

- самообслуговування за запитом;
- широкий доступ до мережі;
- об'єднання ресурсів;
- швидка еластичність і масштабованість;
- розмірене обслуговування;
- багатосторонність.

Ці характеристики, коротко викладені в табл. 3.1, відрізняють хмарні обчислення від інших форм традиційних обчислень.

Хмара базується на деяких старих основах IT, таких як централізоване, спільне об'єднання ресурсів, обчислювальна програма та віртуалізація, а також включає нові механізми забезпечення ресурсів та динамічного масштабування. Я не приймає нові бізнес-моделі та доходи та включає положення моніторингу для стягнення за використані ресурси. Хмарні обчислення стали більш широко доступними лише з прийняттям широкосмугового доступу до Інтернету та прогресом у віртуалізації та розробці та роботі центрів обробки даних. Філософські та світоглядні зміни постачальників та користувачів IT також були рушійними факторами популярності хмари.

Атрибути хмарних обчислень. Обчислювальні хмари мають кілька відмінних ознак. Вони:

- мають у своєму розпорядженні величезні ресурси та підтримувати декількох користувачів одночасно;
- підтримка масштабованості комп'ютерних потреб користувачів на вимогу;
- пропонувати повсюдний доступ - збережені дані та програми доступні авторизованими користувачами в будь-якому місці та в будь-який час;
- полегшити обмін даними, провести повний аналіз даних та співпрацювати;
- зазвичай самолікуються і можуть самоконфігуруватись, забезпечуючи постійну доступність у разі виходу з ладу своїх обчислювальних ресурсів;
- пропонуйте розширений досвід користувача через спрощений інтерфейс користувача веб-браузера.

3.2 Стандарти кодування відеоданих

Методи відеокодування – це набір алгоритмів і технологій, призначених для стиснення відеоданих з метою зменшення обсягу інформації, необхідної для зберігання та передачі відеоконтенту, з мінімальною втратою якості. Основна мета відеокодування полягає в ефективному скороченні розміру відеофайлів, що дозволяє знизити навантаження на канали зв'язку і скоротити вимоги до обсягу сховищ даних.

Методи відеокодування зазвичай поділяються на інтрафреймові (суб'єктні) та інтерфреймові (просторово-часові). Серед найпоширеніших технологій кодування – це алгоритми H.264, H.265 (HEVC) та AV1, які використовують складні методи прогнозування, трансформації, квантування та ентропійного кодування. Ці методи дозволяють адаптувати якість зображення до вимог конкретного застосування (наприклад, передача у реальному часі або зберігання у високій якості).

Методи відеокодування є критичними у таких сферах, як відеоспостереження, потокове мовлення, відеоконференції та цифрове телебачення, оскільки забезпечують оптимальну передачу відео з урахуванням технічних обмежень.

Стандарти кодування відео відіграють вирішальну роль у сфері телекомунікацій, визначаючи, як відеодані стискаються та передаються різними мережами [1]. Ці стандарти необхідні для забезпечення ефективного кодування відео та звуку при збереженні максимально можливої якості відтворення інформації в межах обмеженої смуги пропускання каналів зв’язку[2]. Оскільки телекомунікаційні технології продовжують розвиватися, значення цих стандартів лише зростає. Вони забезпечують сумісність між різними платформами та пристроями, що дозволяє користувачам безперешкодно отримувати доступ до відеовмісту. Розуміння стандартів кодування відео є життєво важливим для професіоналів галузі, оскільки воно впливає на все, починаючи від служб потокового відео та закінчуючи системами відеоконференцій.

Таблиця 3.2.

Порівняння стандартів кодування відеоданих

Стандарт	Рік випуску	Ефективність стиснення	Підтримувані роздільності	Основні застосування
H.264 (AVC)	2003	Добра	До 4K	Стримінг, телемовлення, відеоконференції
H.265 (HEVC)	2013	Краща (до 50% ефективніше, ніж H.264)	До 8K	4K/8K стримінг, телемовлення, зберігання відео
VP9	2012	Подібна до HEVC	До 8K	Веб-стримінг (YouTube тощо)
AV1	2018	Краща (до 30% ефективніше, ніж HEVC)	До 8K	Веб-стримінг, перспективні стандарти телемовлення

Історичний розвиток стандартів кодування відео свідчить про значну еволюцію, спричинену технологічним прогресом і зміною споживчих вимог[3]. Ранні стандарти, такі як H.261, проклали шлях до сучасних схем кодування, і кожен новий стандарт спирався на успіхи своїх попередників і усував обмеження. Наприклад, стандарт H.264, також відомий як AVC (Advanced Video Coding), став високоефективною технологією, яка слугувала наріжним каменем у стисненні відео з моменту його появи [4]. Цей розвиток ілюструє реакцію галузі на зростаючу потребу у вищій якості відео в середовищах із дедалі обмеженішою пропускною здатністю, підкреслюючи важливість постійних інновацій у стандартах кодування відео.

Сьогодні в телекомунікаціях широко використовуються кілька ключових стандартів відеокодування, кожен з яких пропонує унікальні переваги та функції[5]. Серед них H.264 залишається одним із найвимогливіших і

найпопулярніших стандартів у світі відеокодування завдяки балансу ефективності стиснення та якості [6]. Крім того, високоефективне кодування відео (HEVC або H.265) визнано наступником H.264, забезпечуючи покращений рівень стиснення при збереженні якості відео [7]. Інші відомі стандарти включають MPEG-2, який часто використовується для цифрового телевізійного мовлення, і новий стандарт AV1, який націлений на надання безкоштовних варіантів кодування для потокового онлайн-відео. Постійний розвиток цих стандартів демонструє прагнення телекомунікаційної індустрії покращити доставку відео та покращити взаємодію з користувачем.

Технічні аспекти стандартів кодування відео

У сфері телекомунікацій різні методи та алгоритми стиснення відео відіграють вирішальну роль в оптимізації передачі відеоданих [7]. Ці методи стиснення необхідні для зменшення розміру відеоматеріалів без суттєвої шкоди для якості. Серед найбільш широко використовуваних алгоритмів є стандарт H.264, який отримав визнання за свою ефективність і результативність з моменту впровадження в 2003 році[1]. Ефективне стиснення не тільки сприяє швидшій передачі через мережі, але й мінімізує вимоги до пам'яті. Крім того, методи оцінки якості є життєво важливими для регулювання процесу стиснення, щоб гарантувати збереження цілісності відео при значному зменшенні розміру файлу [1]. Цей баланс між стисненням і якістю є ключовим для збереження задоволеності користувачів і забезпечення безперебійного відтворення відео на різних платформах.

Роздільна здатність і бітрейт є двома основними факторами, які суттєво впливають на якість передачі відео в телекомунікаціях[3]. Роздільна здатність відео вказує на чіткість зображення, а бітрейт визначає кількість даних, що обробляються за секунду під час відтворення. Вища роздільна здатність, наприклад HD і 4K, потребує вищих бітрейтів для підтримки якості, що призводить до підвищених вимог до передачі даних[6]. Наприклад, найвища стандартна роздільна здатність, 4 CIF, доступна на швидкості, починаючи з 384 Кбіт/с, тому дуже важливо налаштовувати параметри відеопотоку на основі умов мережі[8]. Ця адаптивність забезпечує оптимальну якість відео, гарантуючи, що глядачі отримають найкращий

досвід незалежно від обмежень пропускної здатності. Взаємодія між роздільною здатністю та бітрейтом не тільки впливає на взаємодію з користувачем, але й впливає на вимоги до інфраструктури для постачальників послуг у телекомунікаційній галузі.

Проблеми сумісності викликають значне занепокоєння у сфері стандартів кодування відео, оскільки різні формати та протоколи повинні бездоганно працювати разом, щоб забезпечити ефективний зв'язок [3]. Стандарт H.264/AVC, розроблений у 2008 році, є одним із найпоширеніших форматів, що використовуються в сучасних відеозастосунках, включаючи трансляцію та потокове передавання[9]. Однак різноманітність стандартів, таких як ATSC і DVB, вимагає ретельного розгляду сумісності для полегшення відеоконференцій і доставки контенту [2]. Проблеми можуть виникнути, коли різні системи чи пристрої не відповідають однаковим стандартам, що може призвести до можливих збоїв у роботі та взаємодії з користувачем. Таким чином, постійний прогрес у стандартах кодування відео спрямований на підвищення сумісності між різними платформами, забезпечуючи безперешкодний доступ користувачів до високоякісного відеовмісту.

Вплив стандартів відеокодування на телекомунікації

Стандарти кодування відео відіграють ключову роль у підвищенні якості відео та ефективності потокової передачі в телекомунікаціях [1]. Завдяки прогресу в техніці кодування кодеки, такі як H.264, і його наступники, такі як H.265, значно покращили можливості стиснення відеофайлів, дозволяючи передавати відео вищої якості з меншою пропускною здатністю [10]. Ця підвищена ефективність дозволяє постачальникам послуг надавати контент високої чіткості без перевантаження мережевих ресурсів, тим самим покращуючи взаємодію з користувачем. Як наслідок, користувачі отримують переваги від плавнішої потокової передачі, зменшення буферизації та загального покращення чіткості зображення, що має вирішальне значення в епоху, коли високий попит на високоякісний відеовміст. Здатність підтримувати високоякісне трансляційне відео має важливе значення для підтримки задоволеності та залучення користувачів [11].

Іншим критичним впливом стандартів кодування відео є їх роль у спрощенні керування пропускною здатністю в мережах[2]. Зі збільшенням обсягу відеоданих, що передаються, ефективне керування пропускною здатністю мережі має важливе значення для забезпечення плавного потоку даних. Стандарти стиснення, такі як H.265, дозволяють передавати більші обсяги відеоданих, не вимагаючи пропорційного збільшення пропускної здатності, ефективно оптимізуючи використання доступних мережевих ресурсів [7]. Це особливо важливо в телекомунікаціях, де перевантаження мережі може призвести до погіршення якості послуг. Застосовуючи ефективні методи кодування відео, постачальники послуг можуть зменшити експлуатаційні витрати, одночасно задовольняючи зростаючий попит на відеовміст, забезпечуючи таким чином більш надійну та ефективну телекомунікаційну інфраструктуру.

Стандарти кодування відео також є фундаментальними для розвитку нових технологій, зокрема 5G та Інтернету речей (IoT). Ці новітні технології вимагають ефективних методів передачі даних для підтримки різноманітних програм і послуг, які вони забезпечують. Наприклад, високошвидкісні можливості мереж 5G вимагають передових стандартів кодування відео для швидкої та ефективної обробки та передачі великих обсягів даних. Крім того, оскільки пристрої IoT розмножуються, вони генерують величезні обсяги відеоданих, які потрібно кодувати та ефективно передавати. Впровадження сучасних стандартів кодування гарантує, що ці технології можуть працювати оптимально, прокладаючи шлях для інновацій у телекомунікаціях, які покращать підключення та покращать роботу користувача на численних платформах.

Основні стандарти кодування відео, що використовуються

H.264, також відомий як Advanced Video Coding (AVC), є одним із найбільш широко використовуваних стандартів кодування відео в телекомунікаціях сьогодні [12]. Цей стандарт був розроблений для забезпечення високоякісного стиснення відео при збереженні прийнятних розмірів файлів, що робить його дуже ефективним для програм потокового передавання, трансляції та відеоконференцій[11]. Універсальність H.264 призвела до його впровадження на

різних платформах, включаючи диски Blu-ray, потокові онлайн-сервіси та мобільні пристрої. Його здатність забезпечувати чудову якість відео з нижчими бітрейтами стала кардинальною в індустрії, забезпечивши більш плавне відтворення та зменшивши час буферизації для користувачів. Отже, H.264 залишається наріжним каменем у сфері технологій стиснення відео, доводячи свою цінність як у споживчих, так і в професійних умовах.

Поява HEVC, або H.265, ознаменувала значний прогрес у технології стиснення відео, пропонуючи численні переваги перед своїм попередником, H.264[2]. Однією з ключових переваг H.265 є його підвищена ефективність стиснення, яка, як кажуть, приблизно вдвічі ефективніша, ніж H.264[13]. Це означає, що H.265 може забезпечити таку саму якість відео з удвічі нижчим бітрейтом, що робить його ідеальним вибором для доставки вмісту високої чіткості, особливо в сценаріях з обмеженою пропускною здатністю[14]. Крім того, H.265 містить удосконалені методи внутрішньокадрового прогнозування руху, які сприяють кращій загальній якості відео та зменшенню артефактів під час відтворення [15]. Оскільки все більше постачальників контенту переходять на потокову передачу 4K і навіть 8K, потреба в ефективних стандартах кодування, таких як HEVC, стає все більш важливою для задоволення вимог сучасних телекомунікацій.

Оскільки сфера кодування відео продовжує розвиватися, з'являються нові стандарти, такі як AV1 і VVC (Versatile Video Coding), щоб вирішити проблеми, пов'язані з високою роздільною здатністю та різноманітними платформами потокового передавання[16]. AV1, розроблений Alliance for Open Media, розроблений для забезпечення чудової ефективності стиснення, залишаючись безоплатним, що робить його привабливим варіантом як для творців контенту, так і для розповсюджувачів [16]. З іншого боку, VVC обіцяє ще більше підвищити продуктивність стиснення, задовольняючи широкий спектр випадків використання, від потокового відео високої роздільної здатності до віртуальної та доповненої реальності[16]. Ці нові стандарти представляють майбутнє кодування відео в телекомунікаціях, підкреслюючи постійну потребу в інноваціях у цифровому ландшафті, що постійно змінюється.

3.3 Метод кодування та тестування 4K-відео у режимі реального часу

В магістерській роботі розроблено метод кодування та тестування 4K-відео у режимі реального часу (МКТ).

Потреба у тестуванні 4K-відео у режимі реального часу є обґрунтованою, адже якість відео безпосередньо впливає на досвід кінцевих користувачів. Ретельно протестовані системи дозволяють забезпечити надійне відтворення, мінімізувати затримки, а також адаптуватися до різних умов мережі та вимог пристроїв. Це особливо актуально у сучасному світі, де відеоконтент складає значну частку інтернет-трафіку.

Тестування 4K-відео у режимі реального часу є важливою складовою розробки, впровадження та підтримки систем передачі та відтворення відео високої якості. Метою таких тестів є забезпечення оптимальної роботи відеосистем, підтвердження відповідності стандартам і вимогам, а також виявлення та усунення можливих проблем у процесі передачі або відтворення відео.

Основні елементи тестування:

1. Якість відео (QoE):
   - Оцінка якості зображення з урахуванням людського сприйняття (наприклад, PSNR, SSIM, VMAF).
   - Тестування відео на артефакти, розмиття або втрату кольору.
2. Якість обслуговування (QoS):
   - Тестування затримок (latency), пропускної здатності та надійності мережі.
   - Оцінка втрат пакетів і впливу буферизації.
3. Синхронізація аудіо та відео:
   - Перевірка, чи звук і відео залишаються синхронізованими під час відтворення.
4. Стабільність у режимі реального часу:
   - Тестування систем під навантаженням, зокрема при потоковій передачі через мережі з низькою пропускною здатністю.

- Вплив адаптивного бітрейту (ABR) на якість відтворення.

5. Сумісність:
   - Перевірка, чи коректно відео відображається на різних пристроях та платформах (телевізори, мобільні пристрої, ПК).
6. Вплив кодеків:
   - Тестування ефективності та швидкості кодеків (H.264, H.265, VP9, AV1) при обробці 4K-відео.

МКТ - завершуючий крок у відеопродакшн, який поєднує уяву аніматора та його художню творчість. В даному випадку МКТ означає розраховане відображення яке є процесом перетворення 3D моделі в реальну з відчутними візуальними ефектами. Після того, як дизайнери створили анімацію за допомогою спеціального програмного забезпечення, їм потрібно використати високоефективний спосіб перетворення анімації в зображення. Високий рівень візуалізації може продемонструвати детальні текстури матеріалу та ефекти освітлення, що робить анімовані зображення більш яскравими та виразними. Тому нам потрібна високошвидкісна та суперпродуктивна, професійна платформа. Результат МКТ визначить остаточний візуальний ефект проекту. Суть МКТ полягає в розрахунках, зроблених всередині комп'ютера на основі повного набору програм. Це перетворює анімаційний дизайн в конкретне зображення за допомогою комбінації налаштувань моделі, світла, текстур, та інших елементів.

З різноманітністю способів виготовлення хороших моделей з композитним освітленням в складних умовах, комплексна сцена часто містить велику кількість геометричних моделей, високу точність параметрів налаштування і складний потік роботи. Тому знадобиться багато часу для обчислення при візуалізації анімації. МКТ стає інтенсивним процесом, який висуває більш високі вимоги до продуктивності обчислювальної техніки та місця зберігання. Фактично, для виготовлення тридцяти кадрів тривалого відео може знадобитися всього десять хвилин, але частіше потрібно в декілька разів більше часу на візуалізацію.

Таблиця 3.3.

Порівняння об'єктивних та суб'єктивних методів тестування відео

Тип	Метод	Принцип роботи	Переваги	Недоліки
Об'єктивний	PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio)	Вимірює співвідношення сигналу до шуму між оригінальним та стисненим відео.	Швидкий розрахунок; широко використовується.	Не враховує особливості людського сприйняття.
	SSIM (Structural Similarity Index)	Оцінює структурну подібність між двома відео, з урахуванням текстур та яскравості.	Добре відображає людське сприйняття якості.	Може не враховувати всі аспекти відео, важливі для людини.
	VMAF (Video Multi-Method Assessment Fusion)	Комплексний індекс, що враховує якість зображення з позиції людського сприйняття.	Найточніший для оцінки якості відео у потокових системах.	Високі обчислювальні вимоги.
Суб'єктивний	MOS (Mean Opinion Score)	Користувачі оцінюють якість відео за суб'єктивними критеріями на шкалі (1-5).	Відображає реальні відчуття користувачів.	Суб'єктивність оцінок; залежність від думки окремих користувачів.
	Панельне тестування	Експерти аналізують відео та надають якісні оцінки на основі особистого сприйняття.	Дозволяє виявити нюанси, не враховані автоматичними методами.	Часозатратний процес; залежність від компетентності експертів.

МКТ анімації забирає більшу частину ресурсів і часу машини, тому комп'ютер не може робити щось інше під час МКТ, що є серйозною тратою часу та зниженням ефективності роботи. Особливо на виробництві 3D-анімаційних

фільмів та програмування високої чіткості, де цикл візуалізації часто рахується в днях, а то й у місяцях.

Особливостями візуалізації є [36]: (1) Обчислювально-інтенсивний процесор. Візуалізація зазвичай займає багато ресурсів процесора та часу. (2) Висока пропускна здатність пам'яті. Чим вища екранна роздільна здатність та текстури, тим більші вимоги до пропускної здатності пам'яті при виконанні завдань. (3) Висока пропускна здатність мережі.

Коли виконується завдання МКТ, вузол візуалізації зчитує надані файли з мережевого спільного сховища. Так висока пропускна здатність мережі може значно скоротити час попереднього зчитування даних, тим самим підвищуючи ефективність МКТ. (4) Потужна пропускна здатність систем пам'яті. Кожен вузол візуалізації генерує безліч одночасних запитів вводу/виводу під час МКТ. Тому, йому потрібні системи зберігання з найкращою продуктивністю вводу/виводу щоб забезпечити ефективну роботу системи. Виробництво сучасних 3D-анімаційних фільмів часто займають дуже велику кількість часу для МКТ і, як правило, використовує тисячі комп'ютерів. Час МКТ досягає декількох місяців, а то й одного-двох років.

Є три типи платформ сучасної професійної 3D-анімації: (1) ферма традиційні візуалізації. (2) Ферма самообслуговування хмарного МКТ. (3) Ферми автоматичного хмарового МКТ:

– ферма візуалізації - популярна назва для "обчислювальних систем з паралельно розповсюдженим кластером", названа галузями анімації кіноанімації та телебачення. З перспективи МКТ обчислень, суть цих трьох типів візуалізації однакова, так як і всі вони засновані на кластерах високоефективних обчислень. Система розділяє завдання МКТ на декілька частин і призначає їх декільком вузлам візуалізації які розподіляються в системі для обчислення та МКТ разом. Однак традиційна ферма візуалізації може надавати лише місцеві послуги, які потребують додаткового людського втручання для управління та обмежена місцем та часом. Тому початкова модель обслуговування ферми МКТ є дуже незручною у

використанні та керуванні. Суть самореалізації ферми МКТ - це поєднання кластера комп'ютерів та Інтернету;

– особливості ферми самообслуговування хмарної візуалізації: має веб-інтерфейс і може подавати завдання з МКТ через онлайн сторінку. Він підтримується комп'ютерними кластерами з високою продуктивністю та іншим потужним високошвидкісним мережевим обладнанням. Все що потрібно клієнтам це просто використовувати веб-платформу з чітким інтерфейсом і легко нею оперувати. Складну роботу з МКТ зображень було спрощено в три етапи: клієнти подають завдання в Інтернет, завдання відправляється до центру управління хмарною візуалізацією для розрахунку ресурсів, і обидві сторони ведуть вексельний бізнес онлайн;

– ферма автоматичного хмарового МКТ, заснована на хмаровому обчисленні, яке просто має більш високий рівень автоматизації порівняно з фермою самообслуговування хмарного МКТ.

Ресурси що існують в лабораторії університетів для анімації не може задовольнити потреби для викладання та експериментів. Не вистачає професійного обладнання. Відповідно до актуальних вимог, ця доповідь вивчає, як розширити застосування хмарних обчислень на основі існуючих приватних хмар університету. Як віртуалізувати просте обладнання університету та ввести його в єдине управління хмарними ресурсами так, щоб ми могли легко розпоряджатися доступними ресурсами. Встановивши шаблони візуалізації, автоматичну платформу розгортання, так щоб завдання МКТ виконувалось автоматично. в будь-якій віртуальній машині. Поєднати хмарні ресурси з послугами МКТ, яка може заощадити багато витрат на МКТ, підвищити ефективність та якість віртуалізації. Ми розробили і впровадили платформу хмарного МКТ та надали детальне пояснення щодо методу системного створення та робочого процесу.

Проблеми платформ відеокодування. Проблеми, з якими стикаються платформи для МКТ анімації: вузька пропускна здатність мережі. Гігабітна локальна мережа може задовольнити потреби невеликої кількості користувачів. Однак ефективність для великої кількості завдань МКТ та масштабних обчислень

в Гігабітній мережі є дуже низькою. Тому для цього потрібна висока швидкість Інтернет-середовища з більшою пропускною здатністю та низькою затримкою.

Мала продуктивність зчитування/запису для зберігання інформації. Декілька вузлів візуалізації одночасно зчитують і записують в спільний файл під час МКТ анімації. Але система зчитування/запису диску одного сервера не може задовольнити цієї вимоги, що призводить до неефективного МКТ анімації.

Відсутність достатньої гнучкості. Застосування візуалізації анімації вимагає своєчасності та високого рівня складності. Різні завдання з надання анімації мають різні вимоги до операційної системи, програмне забезпечення для візуалізації та двигун МКТ плагінів. Так що вимагає, щоб платформа для візуалізації анімації повинна бути володіють сильною гнучкістю.

Управління та обслуговування системи більш складне. Користувачами програм для МКТ анімації є художники і між ними та професійними системними адміністраторами існує великий розрив. Крім того, існує відсутність програмного забезпечення розробленого для звичок користувача та фактичного попиту для управління системою. Тому користувачам складніше керувати, оновлювати та ефективно підтримувати систему. Як результат платформа МКТ анімації не може працювати з довгостроковою стабільністю [15, 37].

"Острівний стиль" робить візуалізацію досить неефективною. Більшість платформ для візуалізації анімації використовують так званий "острівний стиль" для роботи. Це призводить до величезної витрата ресурсів. Наприклад, деякі відділи мають багато ресурсів для анімації, але завдань з МКТ небагато, в результаті чого платформа МКТ анімації з високими показниками вільного місця і марною тратою ресурсів. У той час як іншим потрібно більше ресурсів для МКТ анімаційних фільмів і телебачення, але не знають де їх знайти. Як надати користувачам зручну, надійну, ефективну платформау візуалізації анімації за допомогою нових технології для ефективної інтеграції обчислень ресурсів даних та програмних ресурсів. Це проблема, яка потребує науковців для її активного дослідження та вирішення.

Теорія та ключові технології впровадження хмарних технологій МКТ.

Хмарний МКТ схожий на модель хмарних обчислень. Програма 3D-МКТа працює на дистанційно. Користувальницький термінал отримує доступ до ресурсів через вебінтерфейс та швидкісне підключення до Інтернету. Запити користувача щодо користування терміналом, і сервером, виконують відповідні завдання на надання відповідної допомоги згідно з інструкцією, зрештою результати візуалізації будуть передаватися назад на термінал користувача для відображення.

Хмарний МКТ - це специфічне застосування хмарної обчислювальної техніки в анімації. Він використовує технологію управління хмарними обчисленнями, наприклад: високу продуктивність обчислювальної техніки, масового зберігання та автоматизовані завдання. Він розбиває одне або кілька МКТ завдань на кілька частин, які будуть оброблені МКТ вузлами на хмарі одночасно. Тому може використовуватися з метою швидкого відтворення [39].

Було б чудово спростити клієнт, коли 2D або 3D процес візуалізації графіки та анімації передається до хмари. Клієнту потрібно лише мати можливість відображення зображення та доступ до мережі Інтернет, тоді ви зможете насолоджуватися вищим рівнем потужності графічної обробки. Традиційне відображення тривимірних анімацій в основному виконується окремим індивідуальним процесом. Але хмарна візуалізація працює на професіональній платформі для МКТ через Інтернет, що значно скорочує час 3D-МКТу та покращує якість та ефективність візуалізації.

Основні технології, застосовані в платформі хмарного МКТ. Технологія віртуалізації: віртуалізація дозволяє кільком віртуальним машинам з різними операційними системами самостійно працювати на одній і тій же фізичній машині паралельно. Кожна віртуальна машина має свій набір віртуального обладнання (наприклад: оперативна пам'ять, процесор, мережева карта тощо), ви можете використовувати базову технологію віртуалізації, щоб розділити або комбінувати обчислювальні ресурси для досягнення певного результату машинного моделювання та розподілу часу. В апаратній віртуалізації, гіпервізор встановлює абстрактний шар між віртуальною машиною та базовим обладнанням. Він може зафіксувати вимогу до операційної системи та обладнання, а також він може

забезпечити віртуальний процесор і пам'ять для операційної системи, на якій він знаходиться. На програмне забезпечення такого рівня як віртуалізація на робочому столі, всі віртуальні, настільні машини керуватимуться в центрі обробки даних рівномірно, і при цьому користувачі можуть отримати повний досвід роботи на ПК.

Технологія масового зберігання та обробки даних: хмара зберігання - це технологія розподіленого зберігання даних. За допомогою кластерних програм, мережевих технологій або розподілених файлових систем та інших функцій, вона інтегрує багато типів запам'ятовуючих пристроїв в мережі для спільної роботи з ними через застосування програмного забезпечення. Тоді вони можуть надати зовнішні дані систем зберігання та доступу до бізнесу. Є ряд хмарових систем зберігання даних, таких як файлова система Google (GFS) що є невідкритою системою та розподіленим файлом Hadoop (HDFS), що представляє собою систему з відкритим кодом. GFS складається блоку Майстра та великої кількості серверів Chunk. Майстер-сервер зберігає простір імен файлової системи, здійснює контроль доступу, файлову інформацію про сегменти, інформацію про місцезнаходження блоку та усі метадані. Після отримання інформації про місцезнаходження цільовий блок від Майстра, клієнт може читати дані безпосередньо з серверів Chunk [40]. Таким чином, це дозволяє уникнути вузькості зчитування/запису інформації в системі. Крім того, файлова система забезпечує безпеку даних за допомогою резервних методів зберігання. Відповідним методом обробки даних є програм модель програмування Map-Reduce. Map-Reduce - це архітектура паралельних даних Big Data, яке було представлено Google у 2004 році.

Вона була розділена на два етапи: Карта та зменшення, звідки й походить назва. На основі моделі Map-Reduce головне завдання ділиться на менші підзадачі і підзадачі які відправляються до непрацюючих вузлів обробки, що збільшує швидкість роботи вузлів обробки та допомагає обробляти більше завдань. Це також позбавляє повільнішої обробки вузлів від затримки загального часу на завершення завдання. Він приховує деталі паралелізації, відмовостійкості, даних розподіл та балансування навантаження. Крім того, його можна встановити на звичайний ПК, за допомогою якого програмісти можуть легко виконувати паралельне

програмування даних. Описані методики вище дають основу для зберігання аналізу масової візуалізації матеріалів. Потік виконання Map-Reduce показаний на рис. 3.1.

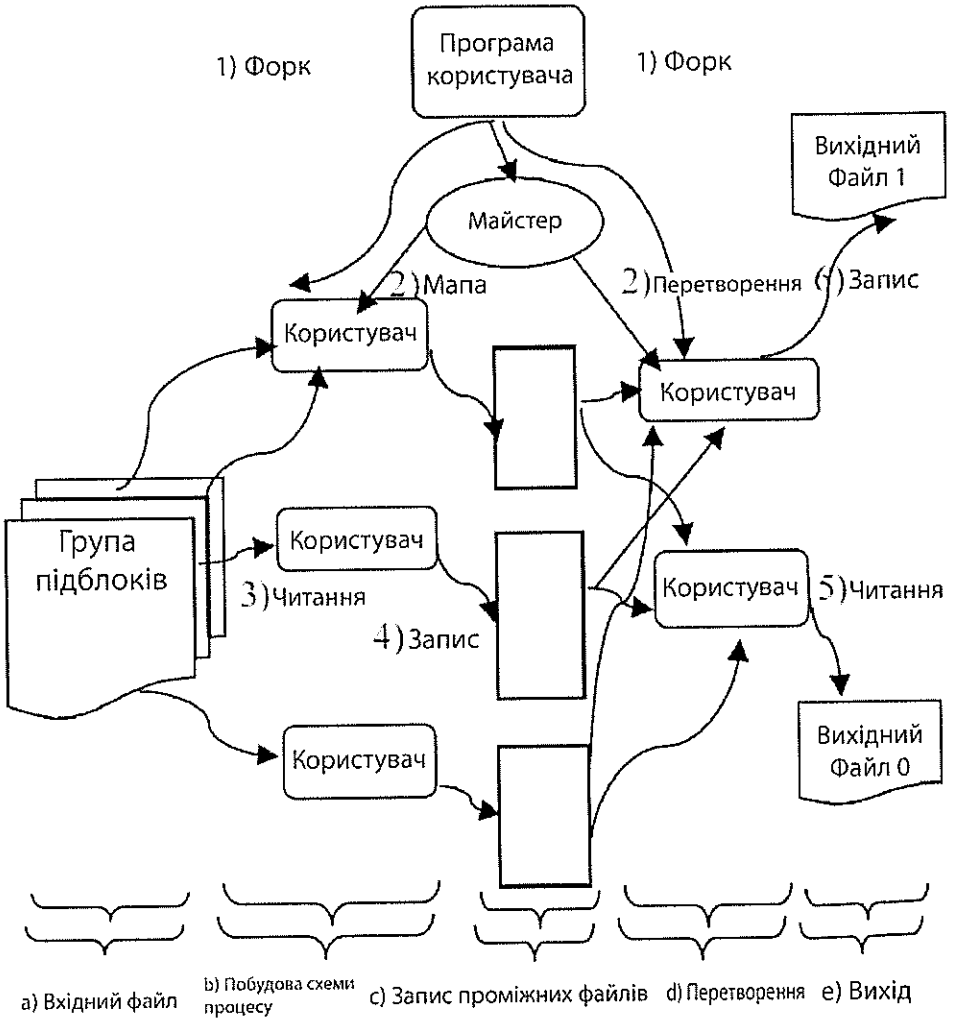


Рис. 3.1. Потік виконання моделі зменшення карт

Хмарний сервіс: хмарні сервіси дозволяють користувачам зберігати та отримувати дані через Інтернет. Основні три типи хмарних сервісів - IaaS, PaaS та SaaS. Модель розгортання хмарних сервісів - це переважно загальнодоступна хмара, приватна хмара, громадська та гібридна.

Кластерна технологія балансування робочого процесу та навантаження: ця технологія поділу віртуального ресурсу потрібна для робочого процесу щоб об'єднувати, встановлювати та розгортати робочі процеси, що дозволяє автоматично виконувати завдання диспетчеризації, оптимізації та управління

ресурсами. Вона автоматично інтегрує різні види процесів, скриптів в централізовану базу даних робочого процесу, що використовується багаторазово. Він також має конфігурацію вузла автозаповнення, розподіл та планування завдань, оповіщення про події тощо. Кластерна технологія балансування навантаження забезпечує, можливість кожного вузла переносити частину навантаження, і динамічно розподіляти навантаження між вузлами, застосовуючи алгоритм балансування навантаження [41].

Проектування платформи МКТ. З розвитком технологічних засобів інформації університетів в останні роки, стало загальним явищем для університетів інвестувати у високоефективні обчислення та обладнання для зберігання даних, але часто недостатньо ресурсів для використання, і ця висока норма вакантного обладнання є поширеною ситуацією. Багато університетів створили цифровий кампус, хмарні платформи та платформи візуалізації хмар які можуть бути створені на основі приватної хмари існуючого цифрового кампусу. Потім простоюючі ресурси можуть бути об'єднані для надання анімації, яка забезпечує міцну підкладку для викладання, дослідження та малого створення анімації.

Архітектура платформи хмарного відеокодування. Запропонована архітектура системи хмарного МКТ, платформа створення на цифровому кампусі та приватна хмара показана на рис. 3.2.

Платформа в основному містить чотири частини: (1) обслуговування інтерфейсу користувачів, (2) управління завданнями МКТ, (3) вузли візуалізації, (4) зберігання ресурсів. У той час як управління завданнями МКТ є основним програмним забезпеченням платформи, МКТ вузли - це вузли основного апаратного та обчислювального ядра візуалізації кластерної системи, основною функцією якої є виконання розрахунків МКТ.

Управління завданнями МКТ: система управління завданнями - це основне програмне забезпечення платформи візуалізації, відповідальне за організацію задач візуалізації, візуалізацію вузлів розподілу, планування, управління чергою візуалізації. На основі задач користувача на МКТ, при запиті, він вибере оптимальну схему планування, відповідно до інформації про ресурси та

зворотнього зв'язку вузла сервера. У той час, коли сервер виходить з ладу, динамічна міграція завдань МКТ може бути досягнута у різних вузлах. Найпоширеніші завдання з МКТ програмного забезпечення для управління - Enfuzion, Virtual Vertex Muster, DeadLine тощо. Деякі з них також забезпечують аналіз сценарію, завдання функцій розподілу та управління групами вузлів.

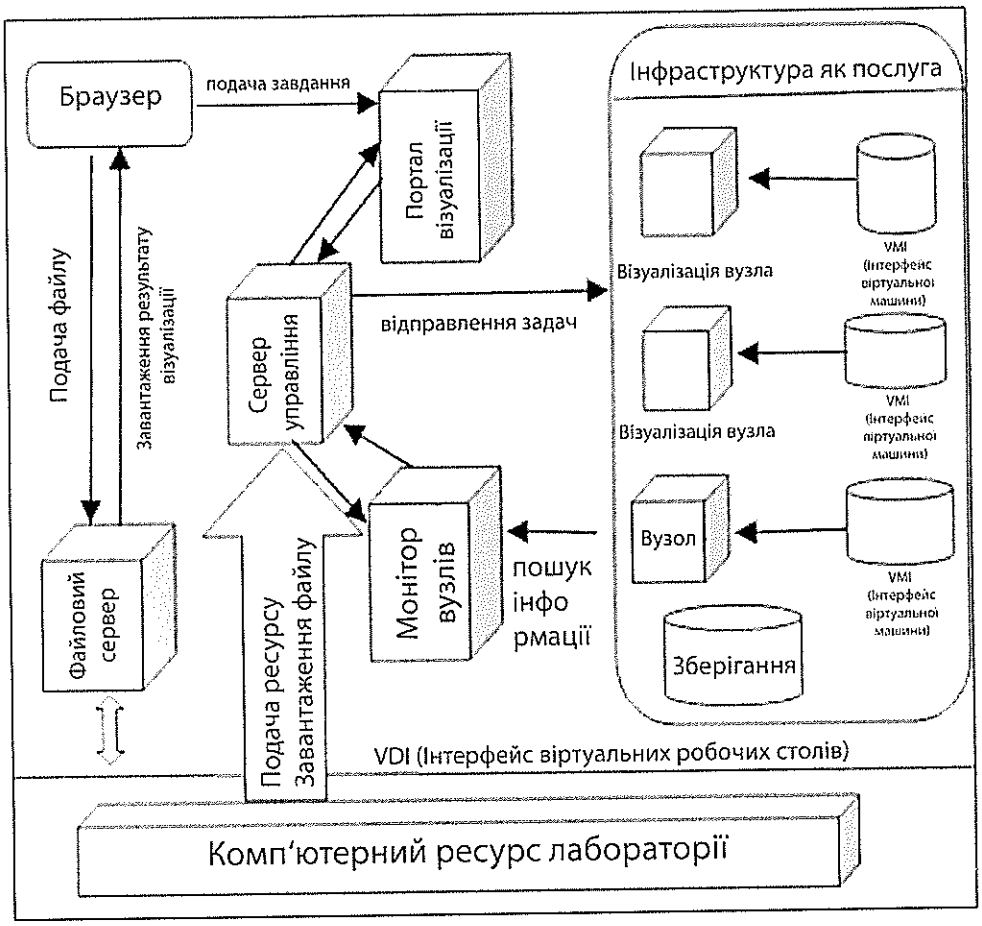


Рис. 3.2. Архітектура платформи хмарного МКТ

Візуалізаційні вузли. Вузли візуалізації є основним обладнанням платформи візуалізації, їх продуктивність безпосередньо визначає ефективність ренедеру. Вузли візуалізації повинні бути не лише наповненими обчислювальною потужністю, але також відповідати наступним вимогам:

- вони можуть підтримувати декілька додатків МКТ та гнучко розгорнути сцени загального та складного МКТ.

Тому у шаблоні файлів зображень віртуальної машини (VMI, зображення

віртуальної машини), залежно від розміру процесора, пам'яті, файлів конфігурації диска та інших параметрів, вони можуть налаштувати вузол середнього та високого класу, який може обґрунтовано відповідати і завантажувати завдання, що надаються користувачами відповідно до суми розрахунку.

- сумісний з декількома операційними системами, багаторазові вилки та середовище.

- він може бути розгорнутий платформою управління хмарного обчислення в будь-який час для зворотного зв'язку з надання моніторингу в режимі реального часу.

Ресурси для зберігання. Високі вимоги до ренедеру реалістичної анімації призведе до більш об'мних файлів візуалізації. Якщо підрахувати, то може тривати одна година послідовності анімації кадрів для досягнення рівня ТБ для зберігання. Під час МКТ відео потрібна обробка всіх кадрів, зустріч із візуалізацією простору для зберігання також потребує високопропускного доступу до ресурсів даних, тому система вибирає швидшу область зберігання IP-адресу мережі (IP-SAN) як накопичувач низького рівня. Він буде працювати за допомогою програмного забезпечення вбудованого для управління віртуальним зберіганням для віртуалізації зберігання, щоб запобігти надмірному розподілу.

Інтерфейс обслуговування користувачів. Користувачі можуть отримати доступ до потужної платформи хмарових обчислень через інтерфейс, який дозволяє їм легко подати завдання, слідкувати за ходом виконання завдання та виконання інших операцій, тим самим звільняючи енергію, для зосередження своєї виробничої справи. Згідно з вимогами надання, навчання та експериментів університету, він пропонує два зручні сервісні інтерфейси, Веб-портал самообслуговування користувачів та службу віртуально розміщених настільних ПК.

Робочий процес та основні питання хмарного МКТ. Робочий процес платформи надання хмарної візуалізації показаний на рис. 3.3.

Загальний процес візуалізації полягає в наступному. Першим кроком користувач завантажує файл проекту, який повинен бути наданий в каталог

проектів, створений користувачем. Другими кроком виступає графічний інтерфейс провідника Muster що надсилає завдання візуалізації на сервіс диспетчерського сервера. Користувачеві потрібно встановити вихідний шлях файлу, параметри МКТ, загальні параметри. Третій крок, служба диспетчерських серверів поширює завдання МКТ вузлів візуалізації системи для візуалізації. Четвертий крок, коли завдання з візуалізації закінчені, кожен вузол надсилає назад результати з МКТ до сервісу диспетчерів зберігає і приводить в каталог проектів, створений користувачем.

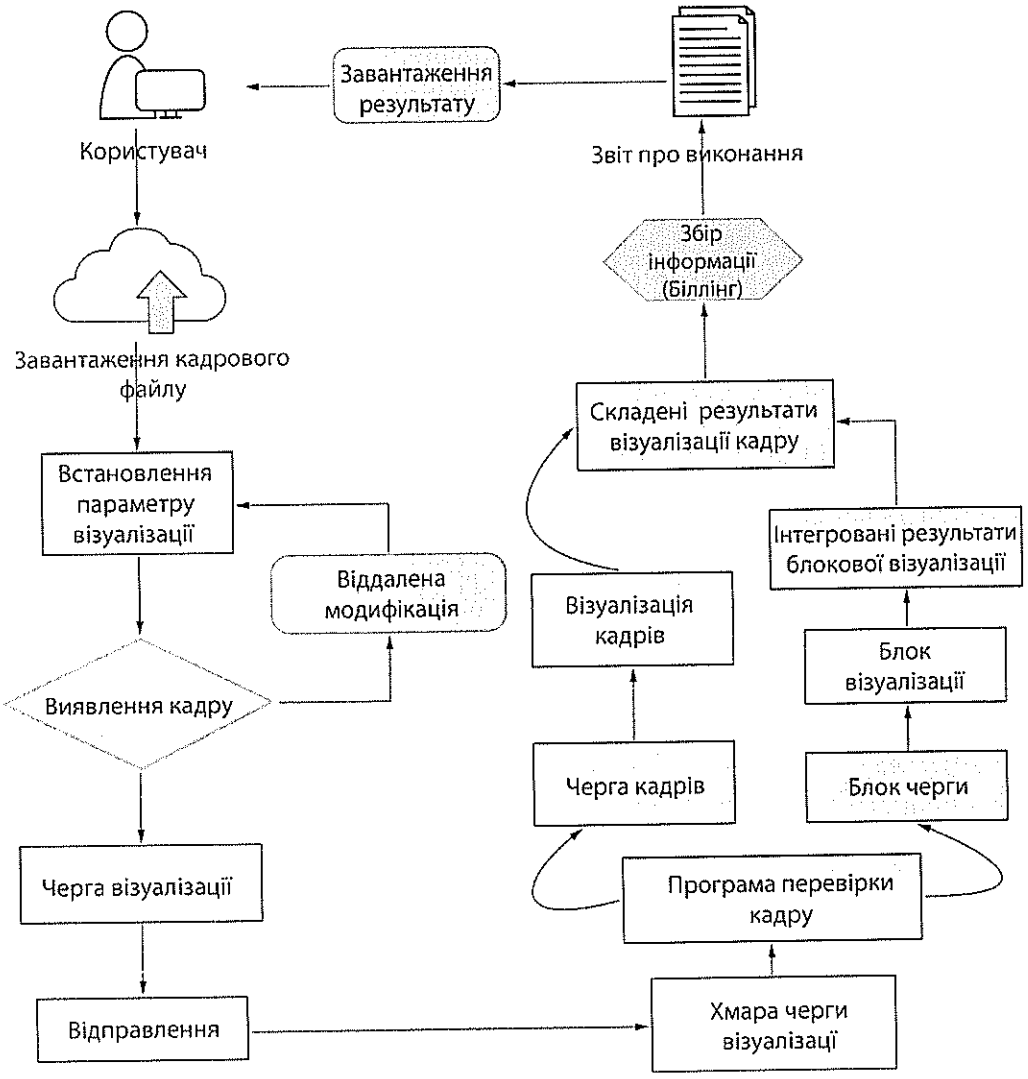


Рис. 3.3. Алгоритм хмарного МКТ

На останньому кроці користувач завантажує результати МКТ з Інтернет

сторінки.

Завдяки цьому процесу користувач може надсилати завдання МКТ, приєднатися до черги візуалізації, отримати результати тощо. Протягом усього цього процесу необхідно вирішити кілька ключових питань.

Дозвіл сцени: Система отримує та аналізує файли сцен. Складається з аналізу файлів сцени параметрів, виявлення відображення та шлях залежності проксі-файлу, ідентифікуючи тип та версію МКТ, скидання файлу фотона, скидання початку та закінчення кадрів, виявлення камери тощо. Це може автоматично відновити помилку виявлення або надсилання відгуку користувача для керівництва модифікаціями. Після виявлення шляху файл сцени може приєднатися черги МКТ.

Адаптивний менеджер черги з балансування навантаження: завдання МКТ та очікування утворюють чергу. Алгоритм роботи розподілу завдань може зробити балансування навантаження для раціональної організації черги відеокодування. Система використовує МКТ ентропію, яка зважує і поєднує фізичні параметри вузла візуалізації з найближчою кількістю завдань візуалізації інформації в режимі реального часу (наприклад, час МКТ, завдання, які мають бути надані) для вимірювання стану навантаження вузла і відправки відгуку на сервер моніторингу вузлів. Це як орієнтир для організації хмарової черги візуалізації для досягнення балансу навантажень завдань на відеокодування.

Аналіз та поділ ступеня складності кадру. Загалом у візуалізації, як правило, найменша одиниця - це кадр. Але в хмарній візуалізації, якщо занадто багато параметрів або занадто високоточна модель в певній сцені, користувачеві потрібно контролювати розмір і зернистість кадру, що означає розділити кадр на менші блоки візуалізації. Для цього потрібно щоб система могла автоматично ідентифікувати та розділити а складний кадр в невеликі блоки. Потім вузли візуалізації візуалізують кожен піксель, і, нарешті, кадр синтезується для користувача для завантаження. Якщо ми порівняємо робочий процес у хмарній візуалізації з традиційною ручною візуалізацією, передачею файлів, візуалізацією налаштувань, параметрів, моніторингу візуалізації, інформація вдосконаленого процесу зворотного зв'язку та інші аспекти були більш оптимізованими.

ВИСНОВКИ

У першому розділі досліджено основні технічні характеристики технології LTE, які демонструють її переваги у забезпеченні високої пропускної здатності, низьких затримок передачі даних та адаптивності до змінних умов мережі. Технологія LTE використовує сучасні підходи, такі як OFDMA та SC-FDMA для ефективного використання спектра, що дозволяє досягти пікових швидкостей передачі даних до 1,2 Гбіт/с у мережах LTE Advanced.

Вивчено також механізм агрегації несучих частот, який забезпечує збільшення пропускної здатності шляхом об'єднання декількох частотних діапазонів у єдину смугу. Цей підхід є ключовим для технології LTE-Advanced, що дозволяє оптимізувати передачу даних та підвищити якість обслуговування. Зроблено висновок, що обидва аспекти — технічні характеристики LTE та агрегація несучих частот — забезпечують фундамент для подальших досліджень у галузі передачі 4K-відео в режимі реального часу.

У другому розділі розроблено та досліджено методи зменшення перешкод у часовій області для технології C-RAN (Cloud-RAN).

У п. 2.1 запропоновано метод UWPA (Weighted Probability Allocation), що дозволяє ефективно розподіляти спектральні ресурси між малими стільниками та макростільниками. Це дозволяє зменшити рівень перешкод та покращити показники SINR для користувачів. Проведений аналіз показав, що цей метод перевершує існуючі аналоги, такі як HFAC та PWBA, за показниками ефективності розподілу спектральних ресурсів та зменшення інтерференції.

У п. 2.2 було розроблено метод DP-ABS (Dynamic Programming for Adaptive Blank Subframe), який базується на динамічному програмуванні. Цей підхід дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів між пригніченими та непригніченими користувачами у малих стільниках, забезпечуючи більш рівномірний доступ до спектра та покращення пропускної здатності.

У п. 2.3 представлено інтеграцію методу DP-ABS із архітектурою H-CRAN. Це дозволяє використовувати технології HetNet для забезпечення високої ефективності передачі даних. Реалізовані алгоритми показали покращення

показників SINR для малих стільників, особливо у високонавантажених мережах.

У п. 2.4 виконано моделювання та аналіз ефективності методів UWPA та DP-ABS. Результати показали, що поєднання цих підходів забезпечує суттєве покращення SINR та пропускної здатності як для макро-, так і для малих стільникових користувачів. Це особливо важливо для сучасних телекомунікаційних мереж з високими вимогами до QoS.

Методи, розроблені у розділі 2, можуть значно покращити роботу методу хмарного тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих. Їх вплив полягає у вирішенні кількох ключових проблем, пов'язаних із передачею великого обсягу відеоданих через мобільні мережі. Основні аспекти інтеграції цих методів:

1. Підвищення якості обслуговування (QoS)

- Метод UWPA сприяє ефективному розподілу спектральних ресурсів між малими стільниками та макростільниками, знижуючи рівень перешкод у мережі. Це забезпечує стабільну передачу 4K-відео, особливо у сценаріях з високою завантаженістю мережі.
- DP-ABS дозволяє оптимізувати доступ до спектральних ресурсів, забезпечуючи вищі значення SINR, що є критичним для підтримки високої якості відео без затримок і втрат.

2. Оптимізація використання хмарних ресурсів

- Методи UWPA та DP-ABS забезпечують кращу передбачуваність характеристик мережі, таких як пропускна здатність та затримки. Це дозволяє хмарним сервісам адаптувати алгоритми кодування відеоданих у реальному часі, зменшуючи потребу у перехідних буферах або повторних запитах.

3. Зменшення інтерференції

- Застосування DP-ABS у малих стільниках знижує вплив інтерференції між користувачами, що дозволяє передавати відео із стабільно високою якістю. Це особливо важливо для 4K-відео, яке чутливе до втрат пакетів та нестабільності каналів.

4. Ефективність передачі даних

- UWPA підвищує спектральну ефективність, дозволяючи

використовувати спільний спектр для більшої кількості користувачів без зниження продуктивності. Це дає змогу передавати значні обсяги даних, характерні для 4K-відео, із мінімальними затримками.

5. Гнучкість для адаптивного бітрейту

– Завдяки підвищенню SINR методи сприяють стабільній роботі адаптивного бітрейту (ABR), що є ключовим компонентом хмарного тестування 4K-відео. Це дозволяє динамічно змінювати якість передачі відео залежно від умов мережі, підтримуючи безперервність відеопотоку.

6. Підтримка масштабованості

– Архітектура H-CRAN у поєднанні з DP-ABS дозволяє ефективно масштабувати ресурси мережі, що особливо важливо для хмарних систем тестування, які обслуговують велику кількість клієнтів. Це сприяє стабільній роботі навіть за умов високої завантаженості.

Інтеграція методів UWPA та DP-ABS у хмарне тестування 4K-відео забезпечує більш стабільну, ефективну та якісну передачу відеоданих. Це дозволяє адаптувати технологію до сучасних вимог телекомунікаційних мереж, покращуючи як технічні характеристики системи, так і досвід кінцевих користувачів.

У третьому розділі розроблено методи та інструменти для хмарного тестування 4K-відео у режимі реального часу, які базуються на сучасних технологіях кодування відеоданих і хмарних обчисленнях.

Розглянуто принципи організації доступу до хмарного програмного забезпечення, що дозволяє ефективно розподіляти ресурси для тестування відео.

Проведено аналіз стандартів кодування відеоданих, таких як H.264, H.265, VP9 та AV1, які визначають ефективність стиснення відео, сумісність із сучасними платформами та якість передачі.

Розроблено метод кодування та тестування 4K-відео, який враховує потреби в обробці великих обсягів даних у режимі реального часу. Запропоновані підходи до об'єктивного та суб'єктивного оцінювання якості відео, включаючи PSNR, SSIM, VMAF та MOS, дозволяють досягти оптимального балансу між якістю зображення та пропускною здатністю мережі.

Особливість розробленого методу кодування та тестування 4K-відео (МКТ) полягає у впровадженні інтегрованої хмарної платформи, що забезпечує ефективну обробку, кодування та тестування відео в режимі реального часу. Основні аспекти цього методу:

1. Архітектурна оптимізація:

– Платформа МКТ побудована на базі хмарних обчислень, включаючи вузли візуалізації, систему управління завданнями та зберігання ресурсів.

– Завдяки використанню приватної хмари забезпечується еластичність і масштабованість системи, що дозволяє обробляти значні обсяги відеоданих.

2. Управління завданнями:

– Система управління завданнями включає алгоритми планування, адаптивний менеджер черги та балансування навантаження. Це дозволяє рівномірно розподіляти обчислювальні ресурси між вузлами та зменшувати затримки.

3. Адаптивність до складності сцен:

– Розроблено механізм автоматичного аналізу та поділу кадрів із високою складністю на менші блоки для паралельної обробки. Це покращує ефективність обчислень та скорочує час обробки кадрів.

4. Сумісність і інтеграція:

– Платформа сумісна з декількома операційними системами та підтримує різні алгоритми кодування (H.264, H.265, AV1 тощо), що забезпечує її універсальність і можливість використання в різних середовищах.

5. Інтерфейс користувача:

– Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє користувачам завантажувати проєкти, відстежувати прогрес та отримувати результати. Це мінімізує складність взаємодії з системою та покращує досвід користувача.

6. Балансування навантаження:

– Алгоритм хмарного МКТ забезпечує розподіл завдань між вузлами в реальному часі, враховуючи їх поточне навантаження. Це сприяє досягненню оптимальної продуктивності.

7. Оптимізація зберігання:

– Використання високошвидкісних систем зберігання (IP-SAN) забезпечує доступ до ресурсів із низькими затримками, що критично важливо для роботи з великими файлами 4K-відео.

Завдяки таким особливостям розроблений метод дозволяє значно покращити якість обслуговування (QoS) та якість досвіду (QoE) користувачів, забезпечуючи одночасно ефективне використання обчислювальних ресурсів та мережевої інфраструктури. МКТ є унікальним рішенням для забезпечення надійності та масштабованості під час тестування 4K-відео у режимі реального часу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ahmadi S. LTE-Advanced: A Practical Systems Approach to Understanding 3GPP LTE Releases 10 and 11 Radio Access Technologies. – Academic Press, 2023. – 1152 p.

2. Release 16 3GPP. 3GPP. URL: http://www.3gpp.org/specifications/releases/70-release-10

3. LTE Physical Layer Overview. Keysight. URL: http://rfmw.em.keysight.com/wireless/helpfiles/89600b/webhelp/ subsystems /lte/content/lte_overview.htm

4. Картографічний сайт WorldTimeZone. URL: https://www.worldtimezone.com/

5. Annapureddy S. Coordinated Joint Transmission in WWAN / S. Annapureddy // IEEE Commun. Theory Wksp. - Cancun, Mexico, May 2024.

6. Weiss T. A. Spectrum pooling: An innovative strategy for the enhancement of spectrum efficiency / T. A. Weiss and F. K. Jondral // IEEE Commun. Mag, radio Communications Supplement, Mar. 2019 - vol. 42 - no. 3 - pp. S8-S14

7. C-RAN: The Road Towards Green RAN - White Paper, ver. 3.0 — China: China Mobile Research Institute, Oct. 2018. — 91 p.

8. Choi S.-H. Channel Estimations Using Extended Orthogonal Codes for AF MultipleRelay Networks Over Frequency-Selective Fading Channels / S.-H. Choi, J.-S. Baek, J.-S. Han, and J.-S. Seo // IEEE Transactions on Vehicular Technology, January 2014 - vol. 63 - no. 1 - P.417-42

9. System and method for distributed input distributed output wireless communications / A. Forenza, R. W. Heath Jr, S. G. Perlman, R. Van der Laan and J. Speck - U.S. Patent No. 8,428,162. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2013.

10. Lee J.-H. Probabilistic Limited Feedback Precoding in MIMO Interference Channels / J.-H. Lee // IEEE Communications Letters December, 2012 — vol. 16 - no. 12

11. Insoo N. A Holistic View on Hyper-Dense Heterogeneous and Small Cell Networks / H. Insoo, S. Bongyong, S.S. Soliman // IEEE Communications MagazineUSA: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013 - vol. 51 - no. 6 - P.20-27

12. Nakamura T. Trends in small cell enhancements in LTE advanced / T. Nakamura, S. Nagata, A. Benjebbour et al. // IEEE Communications MagazineUSA - Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2013 - vol. 51 — no. 2 - P.98-105

13. 3GPP TS 36.104 version 12.1.0, EUTRA; Base Station Radio Transmission and Reception."

14. Okino K. Pico cell range expansion with interference mitigation toward LTE-Advanced heterogeneous networks / K. Okino, T. Nakayama, C. Yamazaki, H. Sato, Y. Kusano // In Communications Workshops (ICC), 2011 IEEE International Conference - June, 2011 - P. 1-5

15. Hu R.Q. Resource Management for Heterogeneous Networks in LTE Systems: tutorial. / R.Q. Hu, Y. Qian // SpringerBriefs in Electrical and Computer Engineering - USA: Springer, 2014. - 93 p.

16. Grant A. Convergence of linear interference cancellation multiuser receivers. / A. Grant, C. Schlegel // Communications, IEEE Transactions - 200 - 149(10) - P. 1824-1834.

17. Ahmed E. Self-interference cancellation with nonlinear distortion suppression for full-duplex systems / E. Ahmed, A. M. Eltawil, A. Sabharwal // In Signals, Systems and Computers, 2013 IEEE Asilomar Conference - November, 2013 - P. 1199-1203

18. Hong S. K. Applications of self-interference cancellation in 5G and beyond. / S. K. Hong, J. Brand, J. Choi, M. Jain, J. Mehlman, S. Katti, P. Levis //. Communications Magazine IEEE, 2014 - 52(2) - P. 114-121.

19. I. Al-Samman, R. Almesaeed, A. Doufexi, M. Beach, and A. Nix, "Userweighted probability algorithm for heterogeneousCRAN interference mitigation," in Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Communications, ICC 2017, France, May 2017.

20. Z.Wang,H. Li,H.Wang, and S. Ci, "Probability weighted based spectral

resources allocation algorithm in Hetnet under Cloud- RAN architecture," in Proceedings of the 2013 IEEE/CIC International Conference on Communications in China - Workshops, CIC/ICCC 2013, pp. 88–92, China, August 2013.

21. J. Wang, D. Wang, J. Pang, and G. Shen, "Optimized fairness cell selection for 3gpp lte-a macro-pico HetNets," in IEEE 74th VTC-Fall, United States, San Francisco, 2011.

22. T. Bu, L. Li, and R. Ramjee, "Generalized proportional fair scheduling in third generation wireless data networks," in Proceedings of the 25th IEEE International Conference on Computer Communications (INFOCOM '06), pp. 1–12, April 2006.

23. S. Sesia, I. Toufik, and M. Baker, "LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice," LTE - The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice, pp. 1–611, 2009.

24. System performance of heterogeneous networks with range expansion. 3GPP R1-100142, 2010.

25. R. Almesaeed, A. S. Ameen, E. Mellios, A. Doufexi, and A. R. Nix, "A proposed 3D extension to the 3GPP/ITU channel model for 800 MHz and 2.6 GHz bands," in Proceedings of the 8th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2014, pp. 3039–3043, Netherlands,April 2014.

26. ITU-R, Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced, 2009.

27. C.-N. Lee, J.-H. Lin, C.-F. Wu, M.-F. Lee, and F.-M. Yeh, "A dynamic CRE and ABS scheme for enhancing network capacity in LTE-advanced heterogeneous networks," Wireless Networks, pp. 1–16, 2018.

28. EvolvedUniversal Terrestrial Radio Access (EUTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (EUTRAN): Overall Description, Stage2, V10.7.0, March 2012.

29. The Notorious Nine: Cloud Computing Top Threats in 2013. URL: https://downloads.cloudsecurityalliance.org/initiAMDves/ top_threats/The_Notorious_Nine_Cloud_Computing_Top_Threats_in_2013.pdf

30. ISO/IEC DIS 17789:2014. InformAMDon Technology – Cloud Computing – Reference Architecture. URL: https://www.iso.org/ standard/60545.html

31. The NIST Definition of Cloud Computing. Special PublicAMDon 800-145. URL: http://www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm? pub_id=909616

32. A break in the clouds: Towards a cloud definition. URL: http://ccr.sigcomm.org/online/files/p50-v39n1l-vaqueroA.pdf

33. Cloud, Networking & Data Analytics. URL: http://cloudcomputingnet.com/cloud-computing-architecture/

34. Cloud Computing Business Case Framework: Introducing a Mixed-Model Business Case Framework for Small and Medium Enterprises to Determine the Value of Cloud Computing. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/7406859/

35. Overview of amazon web services. URL: http://aws.amazon.com/whitepapers

36. A Survey on Data Security Issues in Cloud Computing: From Single to Multi-Clouds. URL: https://www.researchgate.net/publicAMDon/269870540

37. Dependable and Secure Storage in a Cloud-of-Clouds URL: https://www.di.fc.ul.pt/~bessani/publicAMDons/eurosys11-depsky.pdf

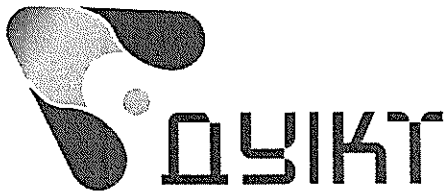
38. Secure Cloud Computing through URL: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1409/1409.0829.pdf

39. A New Approach to Grid Computing for Distributed Rendering. Cloud and Internet Computing. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/6103132

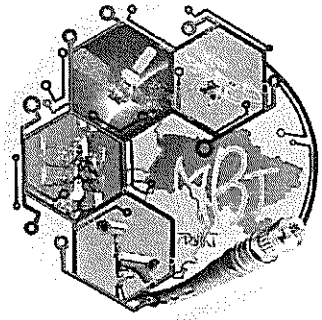
40. Advanced Discussion on MapReduce and HDFS. URL: https://hadooptutorial.wikispaces.com/Advanced+sections

41. Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. URL: https://u.cs.biu.ac.il/~ariel/download/ds590/resources/cloud/

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ



Презентація по магістерській роботі
на тему:

Метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих

Виконав: Владислав КОВАЛЬОВ

Керівник: Анатолій МАКАРЕНКО,
д.т.н., професор

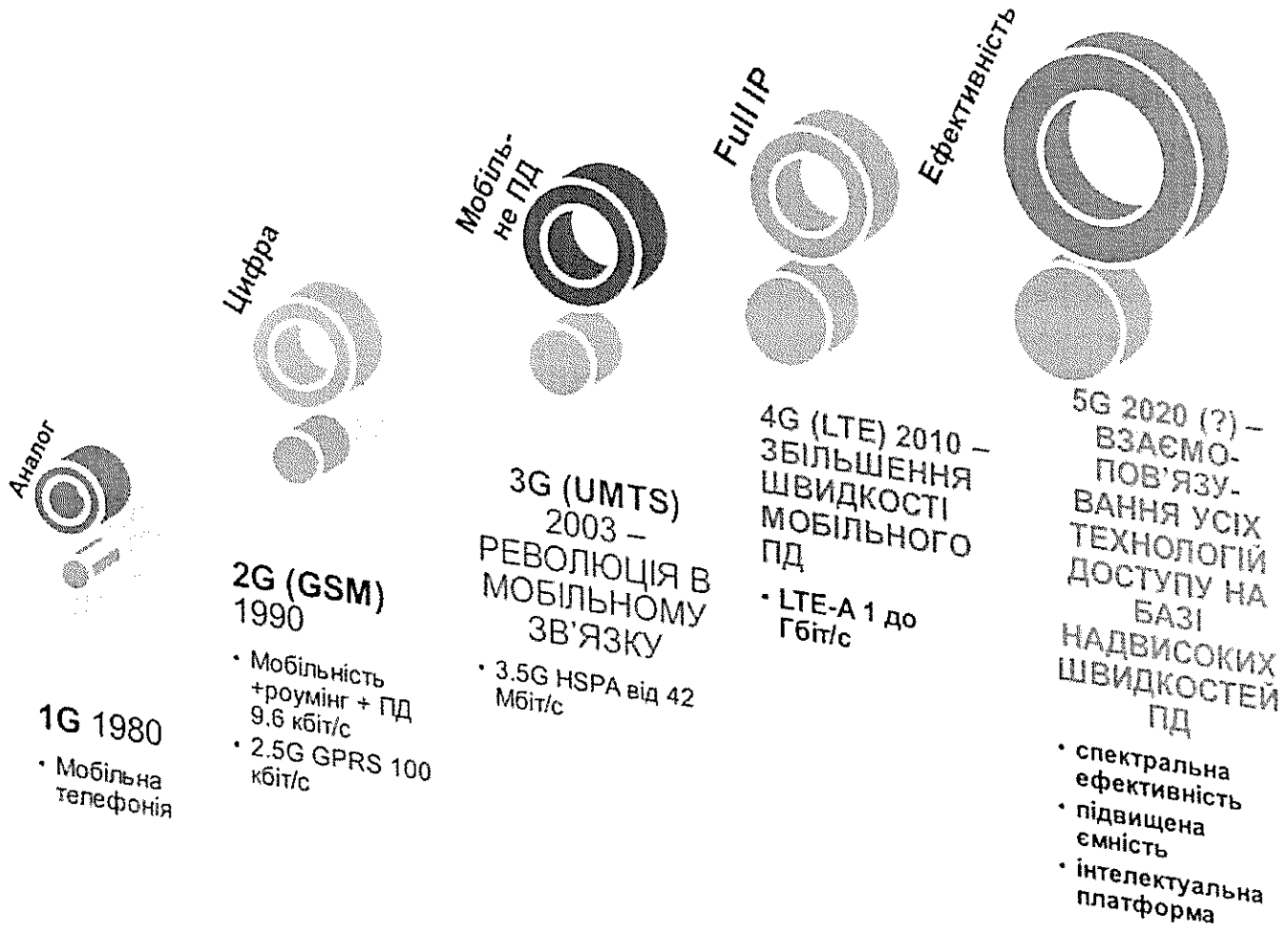
Мета роботи

Метою магістерської роботи є розробка методу тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих, який забезпечує високу якість відтворення та ефективне використання мережевих ресурсів у середовищах LTE та C-RAN.

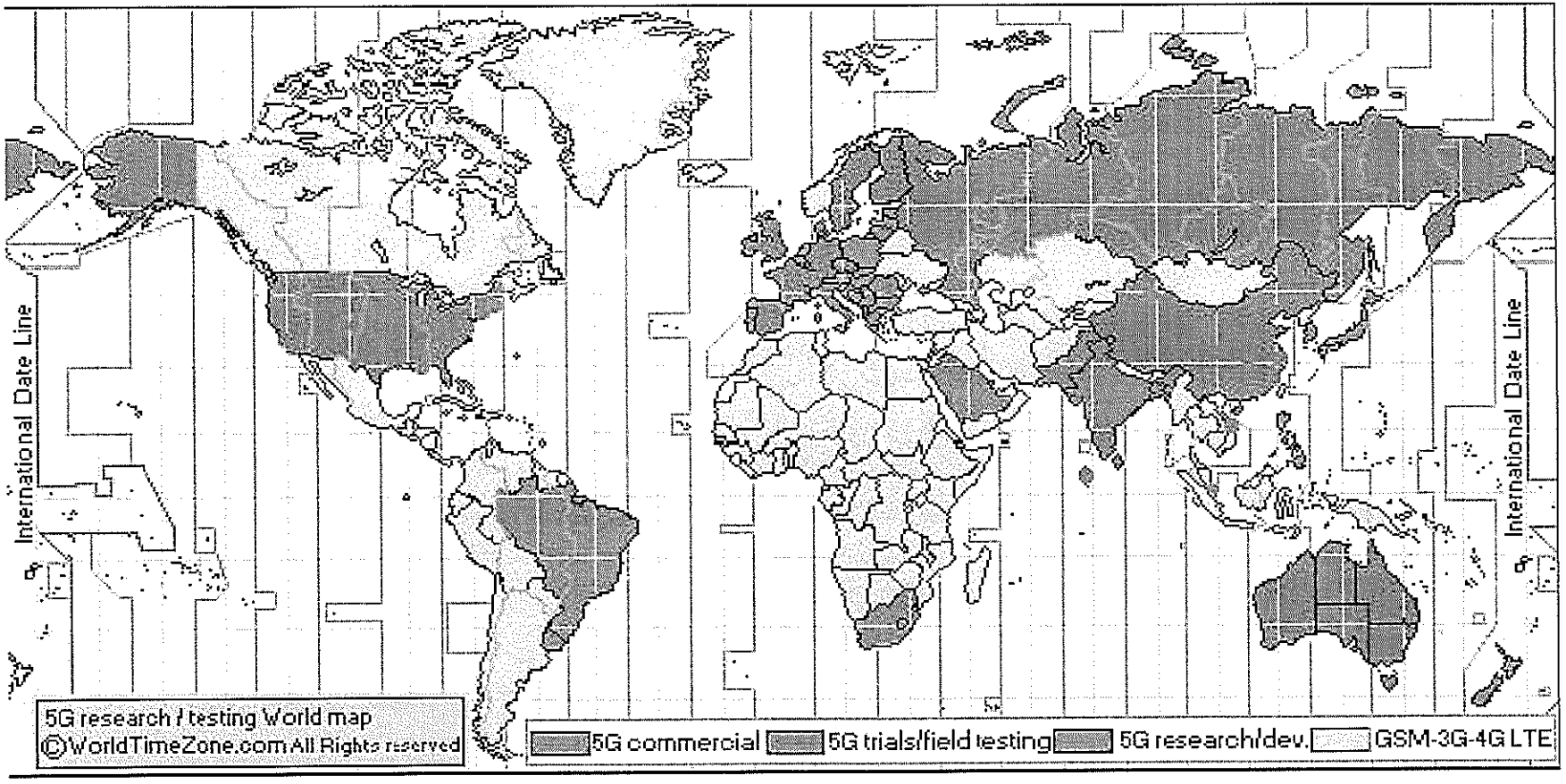
Об'єктом дослідження є процес передачі та обробки відеоданих в на основі хмарних сервісів.

Предметом дослідження є метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих.

Розвиток технологій мобільного зв'язку



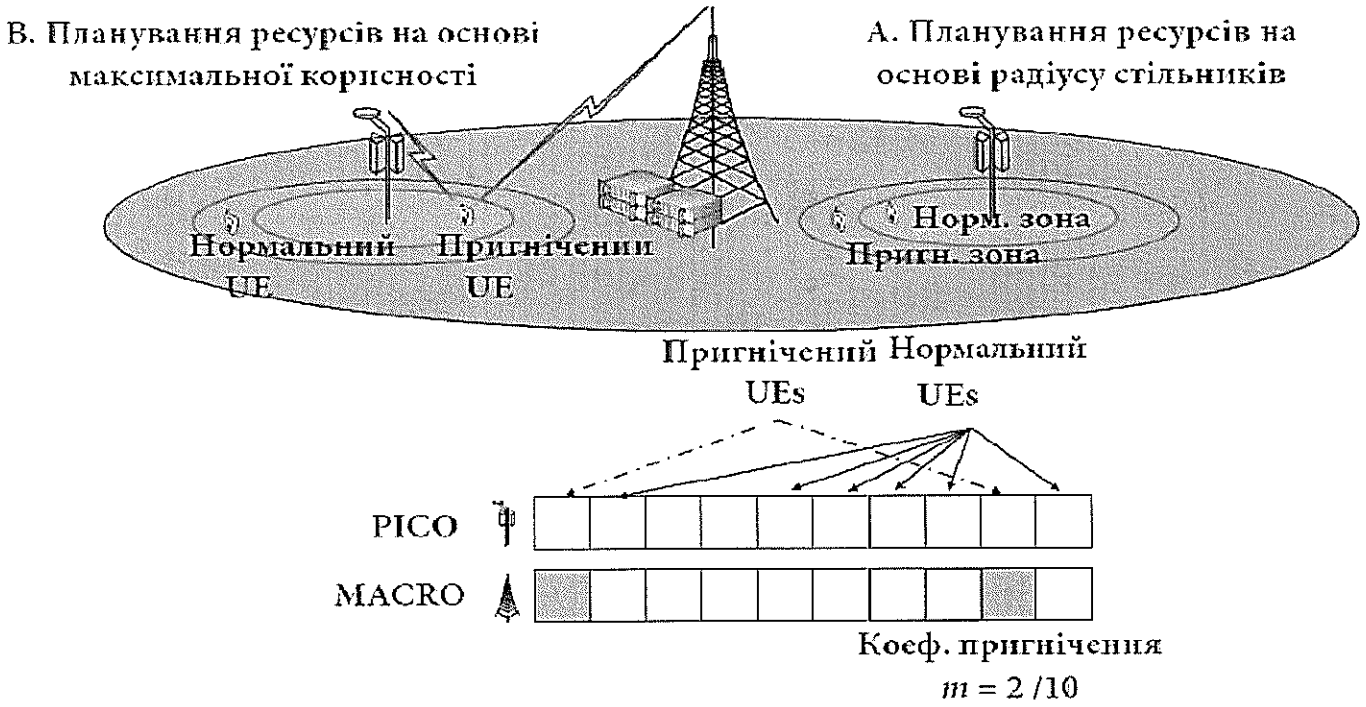
Карта покриття розвитку 5G-мереж в світі (тестування, випробування і дослідження)



Проблеми співіснування макро- та мікростільників

Вимоги користувача до SINR

Клас	Мінімальний SINR користувача
Преміум	13 дБ
Голд	6 дБ
Базовий	0 дБ



Алгоритм динамічного програмування майже пустих субкадрів (DP-ABS)

Алгоритм 1: Етап динамічного програмування вибору пригнічення (Dynamic Programming).

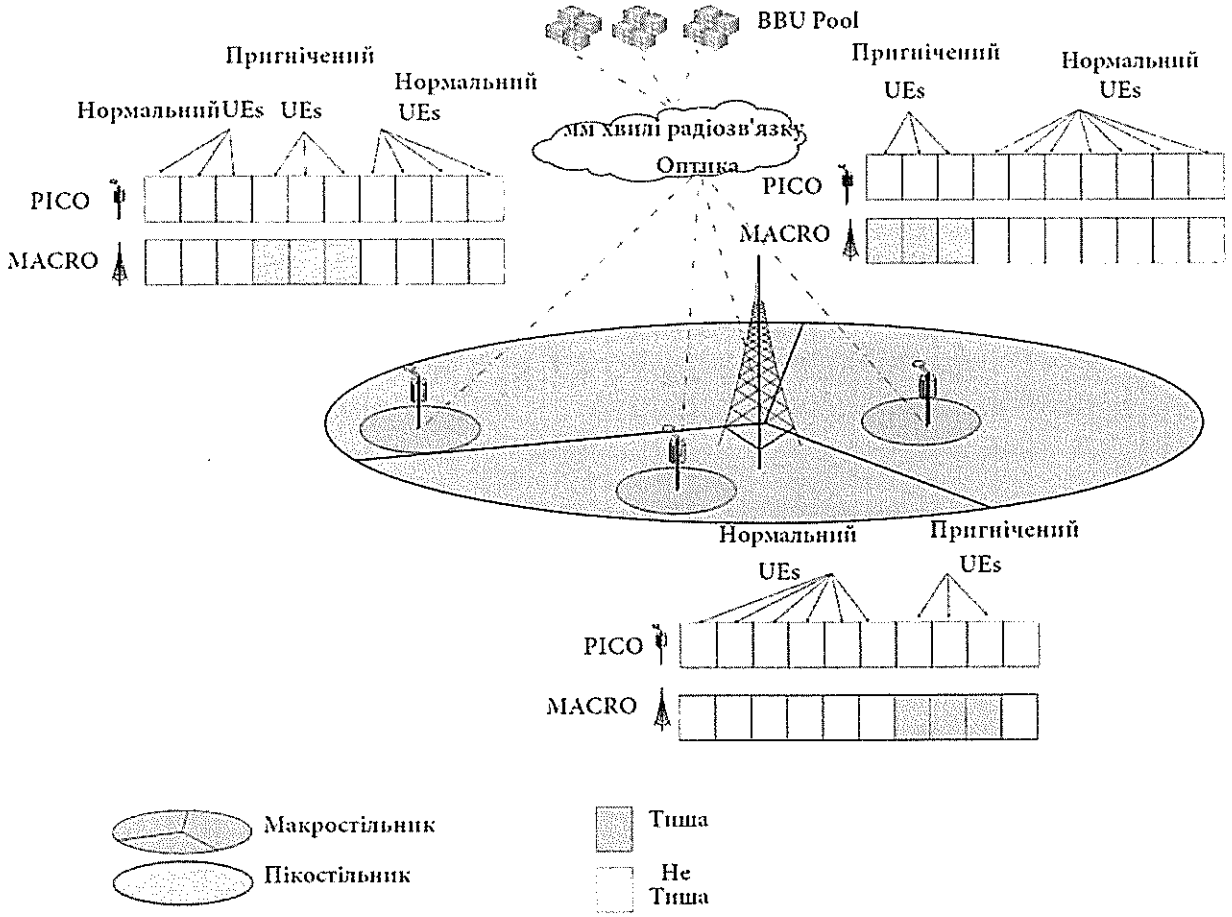
Введення даних N_i &V_i =0; $U_{i_{\max}}(0,0|\alpha)=0$;

1. **For each** $SBS_i \in$ SBS_list
2. Отримати операційний тип SBS_i_ (спільні/виділені смуги)
3. **if** [SBS_i_ операційний тип == спільний]
4. **For each** $S_{ms_{uej}} \in SBSi$
5. Розрахувати r_{uej}^{N}, r_{uej}^{V}.
6. Отримати номер of N_i, V_i для SBS_i
7. Розрахувати $U_{i_{\max}}(N,V|\alpha)$ відповідно до рівняння (2.7)
8. Відновити результат вибору для $S_{ms_{uej}}$ як N_i як V_i
9. Оновити номери N_i чи V_i;
10. **end for**;
11. Остаточний розрахунок $r_{uej}, \overline{r_{uej}}$
12. **else**
13. **Для кожного** $S_{ms_{uej}} \in SBSi$
14. Остаточний розрахунок $r_{uej}, \overline{r_{uej}}$.
15. **end for;**
16. **end if;**
17. **end for.**

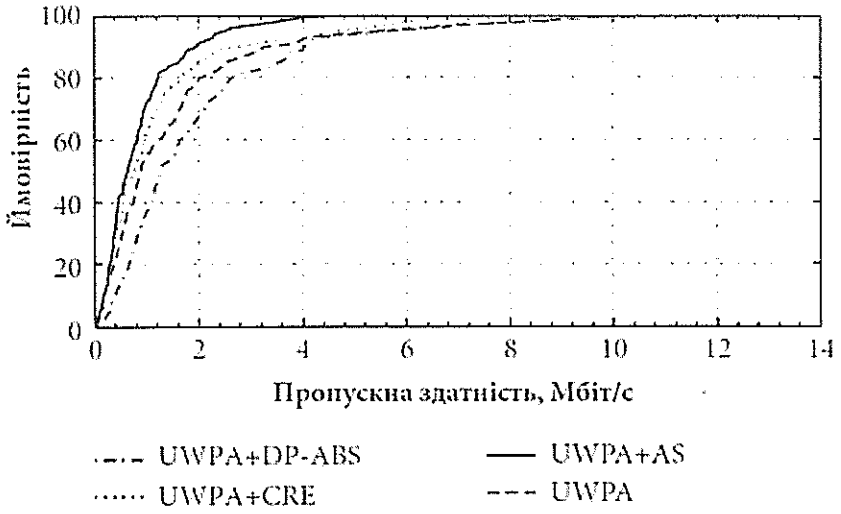
Алгоритм 2: DP-ABS для макрокористувачів.

1. Отримати загальну кількість субкадрів $sbfrme_{tot}$. α, *NuofMacropersbfrme, SBS_list, MMS_list, Sms_list*
2. **for each** $sub\,frame_i \in sb\,frme_{tot}$
3. Отримати пов'язаний сектор і SBSs;
4. Застосувати ABS-шаблон для SBSs у відповідну секунду
5. **While** лічильник <*NuofMacropersbfrme*
6. Index = index +1;
7. **if [MMS$_j$ (index)** 's sector != пов'язаний сектор]
8. **MMS$_j$** це виділені ресурси;
9. Позначити **MMS$_j$** як запланований;
10. Лічильник = Лічильник +1;
11. **end if;**
12. **end while;**
13. Лічильник =0;
14. **end for.**

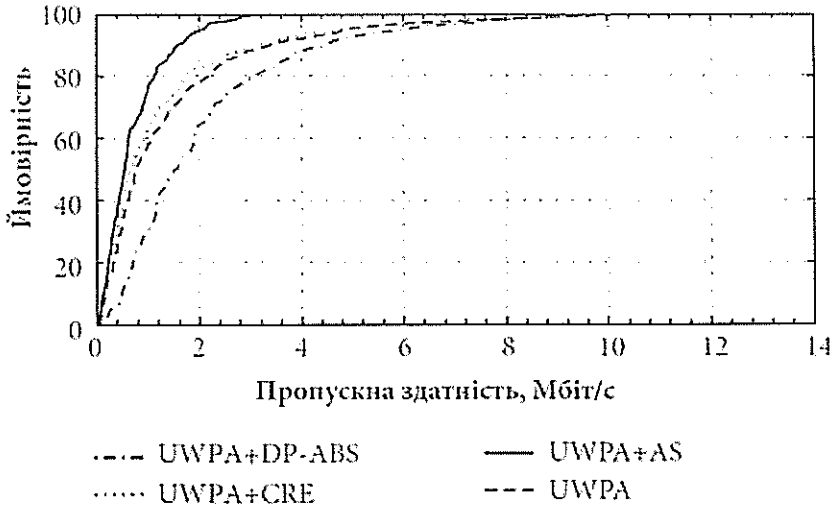
Робота алгоритму динамічного програмування майже пустих субкадрів (DP-ABS)



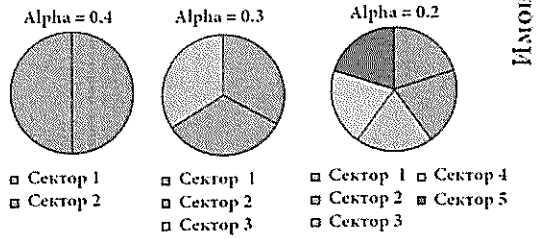
Середня пропускна здатність пригнічених користувачів мікростільників при високій ймовірності завад

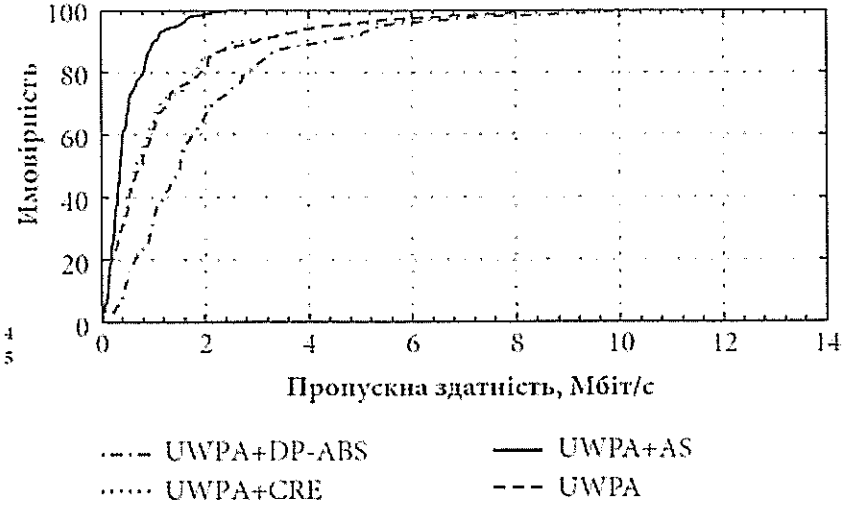


(а) $\alpha = 0.4$



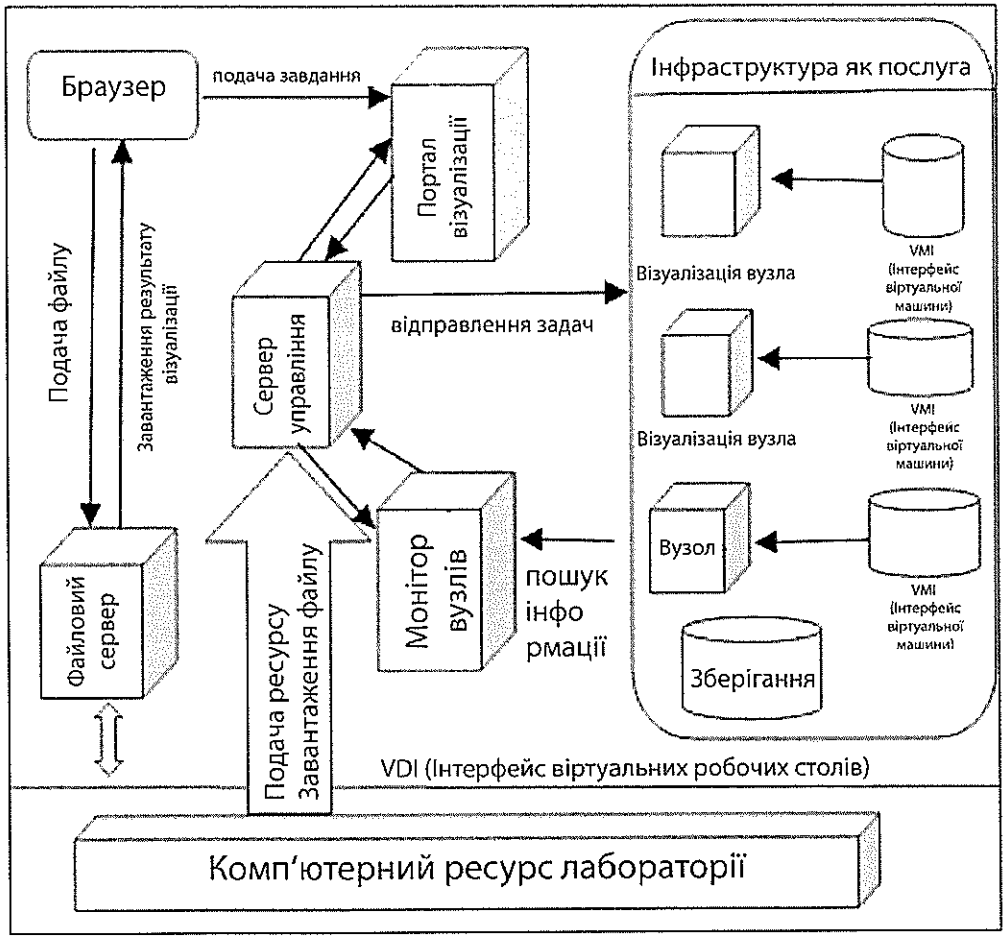
(б) $\alpha = 0.3$



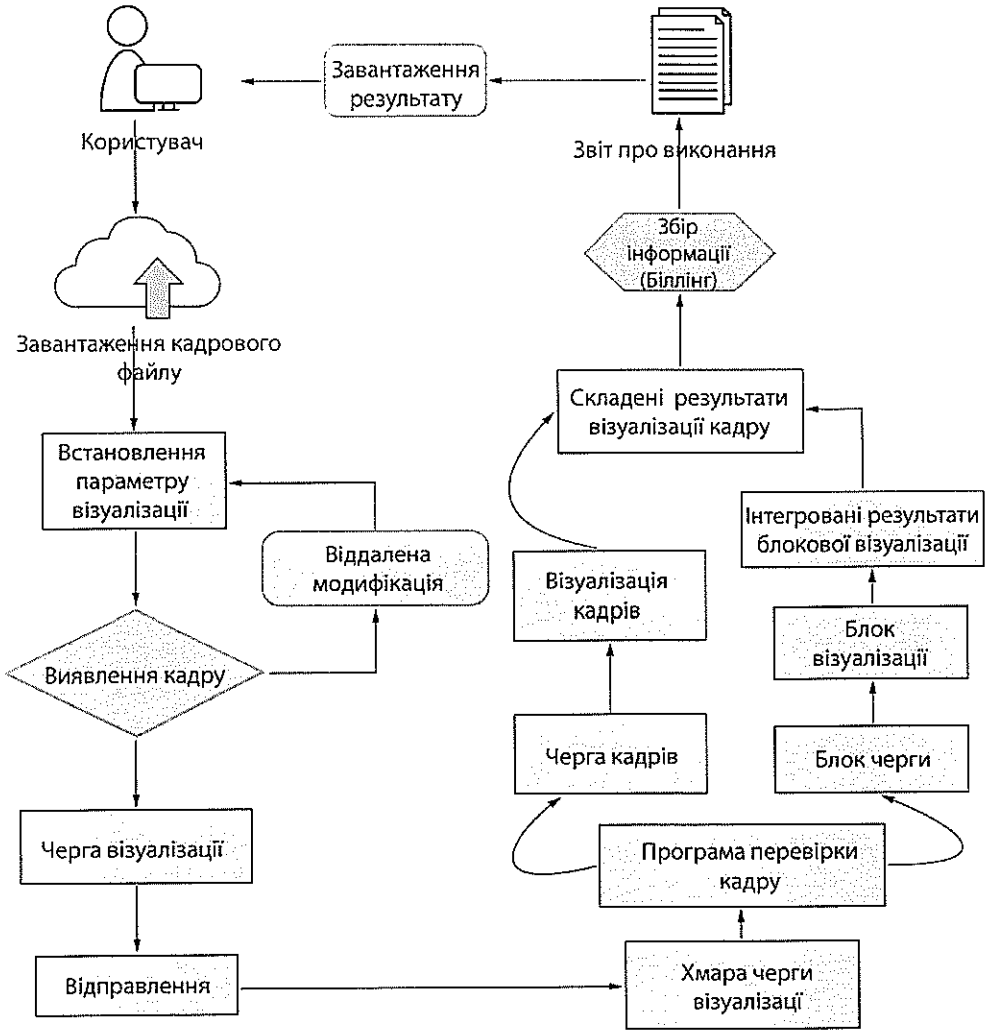


(с) $\alpha = 0.2$

Архітектура платформи хмарного рендерінгу



Алгоритм хмарного рендерінгу



Висновки

В магістерській роботі досягнуто наступних результатів:

У першому розділі досліджено технічні характеристики LTE, зокрема її високу пропускну здатність, низькі затримки та адаптивність до змінних умов. Розглянуто OFDMA, SC-FDMA та механізм агрегації несучих частот, які є основою для оптимальної передачі даних і підтримки 4K-відео в режимі реального часу.

У другому розділі розроблено методи зменшення інтерференції для C-RAN. Метод UWPA забезпечує ефективний розподіл спектральних ресурсів, знижуючи рівень перешкод, а DP-ABS оптимізує доступ до спектра, покращуючи SINR. Їх інтеграція в C-RAN підвищує пропускну здатність і QoS, що критично для передачі великого обсягу даних.

У третьому розділі запропоновано метод хмарного кодування 4K-відео на основі технологій кодування та обчислень. Розроблено інтегровану хмарну платформу, яка оптимізує обробку відео завдяки адаптивному плануванню, балансуванню навантаження та сумісності з різними алгоритмами кодування.

Результати демонструють покращення QoS і QoE для користувачів та ефективне використання мережевих і обчислювальних ресурсів під час тестування 4K-відео в реальному часі.

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: Владислав КОВАЛЬОВ

Назва: Метод тестування 4K-відео у режимі реального часу на основі теорії кодування відеоданих

Координатор: Анатолій МАКАРЕНКО

Підрозділ: НН ІТ

Коефіцієнт подібності 1:0.3

Коефіцієнт подібності 2:0

Тривога: 0

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*