

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

УДК 654.165

«Допущено до захисту»

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

« 14 » грудня 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Дослідження мережі мобільного зв'язку з використанням
технології HSPA
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

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

13.12.2021

(дата, підпис)

Бондарчук В.В.

Керівник роботи
к.т.н., доц.

13.12.2021

(дата, підпис)

Андреев О.В.

Житомир
2021

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему Дослідження мережі мобільного зв'язку з використанням
технології HSPA

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

Бондарчук В.В.

Керівник Андрєєв О.В.

Рецензент Ципоренко В.В.

Житомир
2021

«Затверджено»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій

 Т.М. Нікітчук
«15» січня 2021 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Бондарчук Вадим Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження мережі мобільного зв'язку з використанням технології HSPA

затверджено наказом по університету від «8» листопада 2021 р. № 546с

2. Мета дослідження: оптимізація та оцінка можливості використання пакетної передачі по технології HSPA із використанням архітектур SISO та MIMO

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.
- мережа мобільного зв'язку третього покоління, технологія передачі даних-пакетна

4. Основні задачі дослідження: визначення залежності швидкості передачі даних від завад та діаметра стільника, вивчення шляхів покращення якості роботи за рахунок використання пакетної передачі даних

5. Термін подання роботи до захисту грудень 2021 р.

6. Дата видачі завдання «15» січня 2021 р.

Науковий керівник


(підпис)

Андрєв О.В.
(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання

Бондарчук В.В.
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній магістерській роботі проведено дослідження сучасної технології, що використовується для організації високошвидкісної передачі даних засобами мобільного зв'язку. Розглянуто систему із кодовим розділенням каналів та технологією HSPA. При дослідженні було розглянуто реалізації на основі архітектури система SISO та MIMO.

Розроблено математичну модель каналу та проведено моделювання роботи системи.

ANNOTATION

In this master's thesis, a study of modern technology used to organize high-speed data transmission by mobile means. A system with code division multiplexing and HSPA technology is considered. The implementation of the architecture-based system SISO and MIMO was considered in the study.

A mathematical model of the channel was developed and the system operation was modeled

РЕФЕРАТ

Дипломна магістерська робота містить 67 сторінок, 23 рисунка, 5 таблиць, 23 джерела посилання.

Ключові слова: HSPA, HSPA+, SISO, MIMO, WCDMA, HSDPA, HSUPA, 16QAM, 64QAM.

В першому розділі проводиться аналіз літературних джерел з метою визначення основних принципів функціонування мережі мобільного зв'язку із використанням технології HSPA.

Другий розділ містить розробку математичного апарату, що дозволяє проводити моделювання та дослідження роботи мережі мобільного зв'язку.

Третій розділ присвячено моделюванню та оцінці та систематизації результатів моделювання роботи мережі мобільного зв'язку.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів:

1. Розроблено математичний апарат моделювання каналу зв'язку мережі мобільного зв'язку 3G.
2. Розроблено програмну модель на основі математичної моделі каналу зв'язку мережі.
3. Досліджено вплив різних видів модуляції та архітектур на пропускну здатність каналу пакетної передачі даних

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

2G - друге покоління

3G - третє покоління

3GPP – проект партнерства третього покоління

A-DCH - асоційований-DCH

AMC - адаптивна модуляція та кодування

AoA - кут прибуття

AoD - кут вильоту

ARQ - автоматичний запит на повтор

ASIC - інтегральна схема для конкретного застосування

BER – коефіцієнт бітових помилок

BLAST - архітектура простору-часу Bell Labs

BLER – імовірність помилки блоку

BLER – частота помилок блоку

BoD – пропускна здатність за запитом

BPSK - двійкова фазова маніпуляція

BS - базова станція

CDF - кумулятивна функція розподілу

CDMA - множинний доступ з кодовим розділення

CIR - імпульсна характеристика каналу

CN - основна мережа

CPC - безперервне пакетне з'єднання

CQI - інформація про якість каналу

CS - ланцюговий вимикач

DCH - виділений канал

DL – низхідне посилення

DOB DL - оптимізоване мовлення

DRX - неперервний прийом

E-AGCH E-DCH - абсолютний грантовий канал

E-DCH – розширений виділений канал

E-DPCCH E-DCH - виділений фізичний канал керування

E-HICH E-DCH HARQ - індикаторний канал

E-RGCH E-DCH - відносний грантовий канал

FACH - прямий канал доступу

FDD - дуплекс із частотним поділом

FER – частота помилок кадрів

FRC - фіксований опорний канал

GBSB - геометрично заснована модель одного каналу відмов

GPRS - загальна радіопакетна система

GPS – глобальна система позиціонування

GROW - група досліджень бездротової мережі

GSCM - стохастичні моделі каналів на основі геометрії

GSM - глобальна система мобільного зв'язку

HOM - модуляція вищого порядку

HSDPA - високошвидкісний пакетний доступ за низхідним каналом

HS-DPCCH - високошвидкісний виділений фізичний канал керування

HS-DSCH - високошвидкісний спільний канал низхідного зв'язку

HSPA+ - еволюція високошвидкісного пакетного доступу

HS-PDSCH - високошвидкісний фізичний низхідний спільний канал

HS-SCCH - високошвидкісний спільний канал керування

HSUPA - високошвидкісний пакетний доступ до висхідної лінії зв'язку

IMAC – середній контроль доступу

MBMS - служба мультимедійної трансляції

ME - мобільне обладнання

MIMO - множинний вхід, множинний вихід

MISO - кілька входів, один вихід

ML – максимальна вірогідність

MMS - служба мультимедійних повідомлень

MMSE – мінімальна середньоквадратична помилка

МОС - схеми модуляції та кодування

MPC - багатопрохідний компонент

MRC - максимальне об'єднання

MT - мобільний термінал

OVSF - ортогональний змінний коефіцієнт поширення

P-CPICH - первинний-загальний пілотний канал

PDU - блок даних протоколу

PLMN - громадська наземна мобільна мережа

PS - пакетний комутатор

PSTN - комутована телефонна мережа загального користування

QAM - квадратурна амплітудна модуляція

QoS - якість обслуговування

QPSK - четвертинна фазова маніпуляція

RLC - керування радіозв'язком

RMG - відносне посилення MIMO

RNC - контролер радіомережі

RR - кругова система

RRM - управління радіоресурсами

RTT – час в обидва боки

Rx - приймач

SBSA – алгоритми планування на основі Шеннона

SF - коефіцієнт поширення

SINR – відношення сигнал/завад плюс шум

SISO – один вхід один вихід

SMS - служба коротких повідомлень

SNR - відношення сигнал/шум

SRB - сигнальний радіоносій

STC – просторово-часове кодування

STTD - просторово-часове різноманіття передачі

SVD – розкладання сингулярних значень

TDD - дуплекс із часовим поділом

ToA - час прибуття

TTI - інтервал часу передачі

Tx - передавач

UE - обладнання користувача

UL - висхідний канал

UMTS - універсальна мобільна телекомунікаційна система

V-BLAST - вертикальний BLAST

VoIP - голос через IP

VRA - віртуальна приймальна антена

WCDMA - широкосмуговий CDMA

ЗМІСТ

Вступ.....	12
Розділ 1 Огляд та аналіз відомих методів організації роботи систем пакетної передачі даних.....	14
1.1 Огляд публікацій, в яких започатковано вирішення проблеми розробки системи пакетної передачі даних.....	14
1.2 Огляд основних принципів роботи UMTS.....	16
1.3 Технологія пакетної передачі даних HSPA.....	20
Розділ 2 Розробка математичної моделі каналу пакетної передачі із використанням HSPA.....	28
2.1 Розробка моделі каналу.....	28
2.2 Енергетичний розрахунок.....	38
2.3 Розробка програмної моделі.....	45
Розділ 3 Моделювання системи пакетної передачі даних HSPA.....	50
3.1 Сценарії моделювання.....	50
3.2 Дослідження впливу конфігурації MIMO.....	63
Висновки.....	65
Перелік джерел посилання.....	67

ВСТУП

Розвиток інформаційного суспільства вимагає розширення галузей, що охоплені сучасними технологіями. Рівень автоматизації зростає, тому зростає і потреба в передачі даних. Існуючі системи не задовольняють цим потребам оскільки мають або велику вартість розгортання, якщо де мова про системи фіксованого доступу на основі оптичного волокна та відсутності мобільності, або малу пропускну здатність каналів передачі даних та малу ємність мережі для випадку мобільних мереж. Тому проводиться активна робота по розробці та впровадженню нових технологій передачі даних в мобільних мережах.

Одними із таких перспективних технологій є використання технології пакетної передачі даних HSPA. Ця технологія дозволяє використовувати різні види модуляції в залежності від радіотехнічної обстановки в стільнику.

Технологія HSPA є стандартизованою для певних видів модуляції, однак потребує дослідження для високошвидкісних видів модуляції.

З метою покращення якості роботи мережі мобільного зв'язку та підвищення швидкості передачі даних цими системами в цій роботі проводиться дослідження роботи HSPA в міських умовах із різними видами модуляції та вплив цих параметрів на швидкість передачі даних.

Об'єктом дослідження є мережа мобільного зв'язку .

Предметом дослідження є пропускну здатність каналу зв'язку .

Ціль дослідження – оптимізація та оцінка можливості використання пакетної передачі по технології HSPA із використанням архітектур SISO та MIMO.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні роботи:

1. Провести аналіз літературних джерел з метою визначення основних засад технології HSPA, та її особливостей впровадження та функціонування.
2. Розробити математичну модель роботи мережі на основі використання HSPA.

3. Провести дослідження роботи мережі із використанням технології HSPA в залежності від зміни основних показників стільника та базової станції мережі.

Результати досліджень доповідались на науково-технічній конференції «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2020» 12-13 квітня 2020 року, м. Житомир.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ ОРГАНІЗАЦІЇ РОБОТИ СИСТЕМ ПАКЕТНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

1.1 Огляд публікацій, в яких започатковано вирішення проблеми розробки системи пакетної передачі даних

Оцінка продуктивності кількох розширень пропозицій до просторово-часового блочного коду Alamouti, які підтримують дуже високе рознесення передачі та приймача, для MIMO через HSDPA [1].

Результати цієї статті показують, що складність приймача зберігається приблизно пропорційною швидкості переданих даних, якщо врахувати комбінацію звичайних лабораторій Bell Labs Space-Time (BLAST) і цих нових розширених схем, пропонуючи компроміс між збільшенням рознесення (таким чином, QoS) і підтриманою швидкістю передачі даних, що забезпечує дуже високу гнучкість.

Для порівняння методів MIMO в HSDPA, таких як просторово-часове кодування (STC) і BLAST, [2] враховує ефект швидкого згасання, а також мобільність і покриття стільникової зони. Показано, що STC працює краще, ніж BLAST, завдяки покращенню використання модуляцій вищого порядку, що призводить до покращення ємності стільника.

Інші висновки полягають у тому, що адаптивний MIMO досягає вищої ємності стільника, ніж неадаптивний, що призводить до 300 кбіт/с для STC і 200 кбіт/с для BLAST, і що при зменшенні на 9% покриття стільника ємність стільника збільшується приблизно на 9% для STC і 13% для BLAST.

У роботі [3] було досліджено підвищення ємності HSDPA за допомогою MIMO в середовищі пікосстільників. Модель каналу MIMO – це модель спрямованого каналу COST 259, і моделювання проводилося з урахуванням 95% задоволених користувачів із 720 користувачами, розподіленими по стільнику. Були розглянуті два типи наборів MIMO з використанням 2 і 4 ізотропних антен на кожному кінці лінії зв'язку, розділених половиною довжини хвилі, крім SISO. За допомогою алгоритмів планування на основі

Шеннона (SBSA) BS показує середню пропускну здатність близько 12 Мбіт/с. Середнє збільшення ємності на 27 та 130 % спостерігається для MIMO 2×2 та 4×4 відповідно при використанні планувальника Round Robin (RR), а також на 4 та 28 % зниження середньої частоти помилок кадрів (FER) у порівнянні з SISO. З Fair Capacity SBSA було досягнуто середнього збільшення пропускну здатності приблизно на 200 та 300 % для MIMO 2×2 та 4×4 відповідно.

Подібне дослідження було раніше проведено в [4], розглядаючи три можливі сценарії, тобто піко-, мікро- та макростільники. У [4] результати для планувальника RR мають на 50 і 160 % збільшення середньої ємності для MIMO 2×2 та 4×4 відповідно, а також на 10 та 20 % зниження відсотка FER порівняно з SISO, тоді як для максимальної потужності SBSA, досягається збільшення потужності на 30 і 60 %. Більше збільшення потужності досягається за рахунок використовуючи Fair Capacity SBSA, де результати показують, що середня пропускну здатність збільшується на 100 і 180 % для MIMO 2×2 та 4×4 відповідно.

Вимірювання, проведені [5], показують, що при використанні BLER 10 % як цільового значення для CQI, як зазначено 3GPP, для порівняння між різними схемами, такими як SISO, Space-Time Transmit Diversity (STTD) і Double Space- Рознесення часу передачі (DSTTD) для HSDPA, SISO перевершує STTD приблизно на 6 дБ. STTD також потребує приблизно на 2 дБ менше SNR, ніж DSTTD досягти 10 % BLER. Що стосується пропускну здатності з DSTTD, було виміряно значне посилення 4 дБ між схемою трьох і двох прийомних антен; з іншого боку, четверта приймальна антена не змінює суттєво пропускну здатність. Крім того, показано, що схема DSTTD дуже добре працює в сценаріях у приміщенні з відстанню антени $\lambda/2$.

У [6] доведено, що очікуваний приріст ємності, який схеми MIMO для HSDPA можуть забезпечити з більш складними приймачами, призводить до зниження потужності передачі мультимедійної широкомовної служби багатоадресної передачі (MBMS) від точки до багатьох точок і гарантує оптимальний розподіл QoS незалежно від режиму MBMS.

Новий спектральний еквалайзер представлений у [7] для систем з однією несучою, із застосуванням до CDMA: UMTS FDD – HSDPA та HSUPA системи, SISO та MIMO.

Продуктивність HSUPA вимірюється за умови наявності 1 і 8 антен на БС з SF 32 і набором МТ з 8 або 24 антенами з 1, 3, 24 або 31 кодами, що використовуються, які можуть повторно використовувати або ні різними МТ.

При проходженні від 3 до 31 кодів, що використовуються, на МТ спостерігається втрата приблизно на 3 дБ, проте пропускна здатність збільшується приблизно в 10 разів. З метою підвищення пропускної здатності та вирішення проблеми близько-далеко, [8] пропонує багатокористувацький MIMO-детектор низької складності сигналів QAM на основі довгих кодів скремблювання. Моделювання показало, що ця пропозиція забезпечує задовільне підвищення продуктивності, забезпечуючи перспективну техніку для HSUPA, хоча дослідження в цій галузі все ще тривають. Незважаючи на те, що деяка робота була виконана в цій області, через невеликий термін служби HSDPA, все ще потрібно багато роботи, щоб підтвердити, чи є MIMO обов'язковою технологією для збільшення потужності на UMTS/HSDPA. У HSUPA не було зроблено багато роботи щодо техніки MIMO як способу збільшення пропускної здатності, в основному через те, що HSUPA є дуже сучасною технологією, навіть порівняно з HSDPA. Однак, як і в HSDPA, дослідження в цьому питанні ще тривають. Використання MIMO спільно з HSPA+ було стандартизовано у релізі 7, хоча реальних реалізацій поки що немає, через недавню стандартизацію.

1.2 Огляд основних принципів роботи UMTS

Розглянемо основні концепції UMTS (Реліз 99), засновані на [9], щодо архітектури мережі та радіоінтерфейсу. UMTS використовує архітектуру, яка використовувалася всіма системами другого покоління (2G) і навіть деякими першим поколінням. Елементи мережі можна згрупувати на основі схожих функцій, як показано на рисунку 1.1; є три модулі високого рівня, а саме:

обладнання користувача (UE), мережа наземного радіодоступу UMTS (UTRAN) і базова мережа (CN).

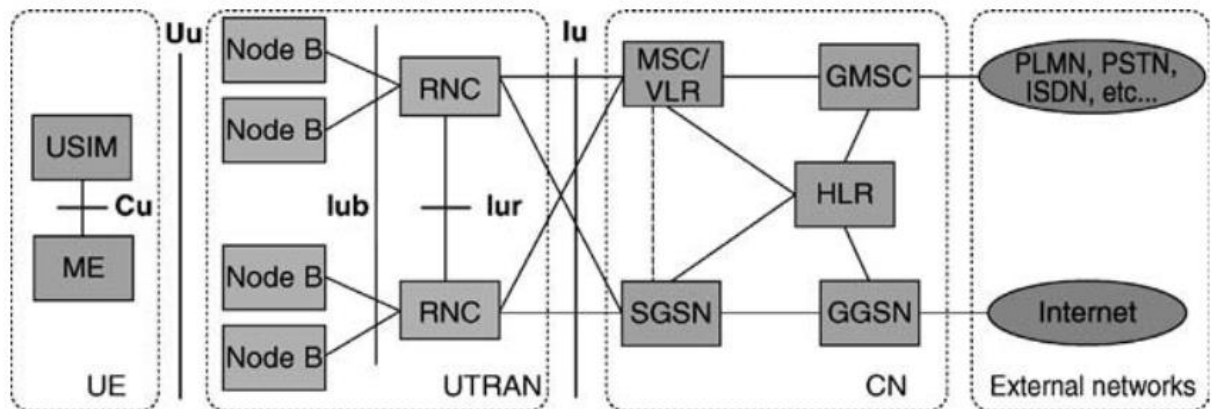


Рисунок 1.1 Архітектура системи UMTS

UE складається з двох частин:

- Мобільне обладнання (MO) – це мобільний термінал (MT), який використовується для радіозв'язку через інтерфейс Uu, тобто радіоінтерфейс WCDMA.
- Модуль ідентифікації абонента UMTS (USIM) — це смарт-карта, яка зберігає ідентифікаційні дані абонента, виконує алгоритми аутентифікації, зберігає ключі аутентифікації та шифрування, а також деяку інформацію про підписку, необхідну в MT.

UTRAN складається з двох окремих елементів:

- Вузол B (тобто базова станція (BS)) перетворює потік даних між інтерфейсами Iub та Uu. Він також бере участь в управлінні радіоресурсами (RRM).
- Контролер радіомережі (RNC) керує радіоресурсами у своєму домені (підключеними до нього вузлами B). RNC є точкою доступу до послуг для всіх послуг, які UTRAN надає CN, наприклад, управління з'єднаннями з UE.

CN відіграє дуже важливу роль в архітектурі UMTS, відповідаючи за комутацію та маршрутизацію дзвінків і підключення даних до зовнішніх мереж. Ці зовнішні мережі можуть належати до домену Circuit Switch (CS),

наприклад PLMN, PSTN і ISDN, або до Packet Switch (PS), прикладом якого є Інтернет.

Як зазначено в 3GPP, в UMTS ефірний інтерфейс заснований на WCDMA, широкосмуговій системі множинного доступу з кодовим розділенням прямої послідовності (DS-CDMA), що призводить до дуже високої пропускної здатності, що теоретично дозволяє використовувати необмежену кількість каналів на несучу і був розроблений для розгортання в поєднанні з GSM/General Radio Packet System (GPRS) з підтримкою хэндовера між системами. Основні параметри WCDMA зведені в таблицю 1.1 [9].

Розгортання внутрішніх та мікросіткових BS є простим завдяки асинхронному режиму роботи BS (немає потреби в отриманні сигналу GPS). Він підтримує дуже змінні швидкості передачі даних користувача, тобто пропускну здатність за запитом (BoD) і дозволяє диференціювати якість обслуговування (QoS). Швидкість передачі даних користувача залишається постійною протягом кожного 10 мс кадру, однак, ємність даних серед користувачів може змінюватися від кадру до кадру.

Підтримуються два основних режими, тобто дуплекс з частотним розділенням (FDD) і дуплекс з часовим розділенням (TDD). У цій роботі аналізується лише режим FDD, де для UL та DL використовуються окремі несучі частоти 5 МГц. Діапазон UMTS для Європи, Азії та деяких країн Латинської Америки, як-от Бразилія, становить [1920,...,1980] МГц для UL і [2110,...,2170] МГц для DL.

Таблиця 1.1 Основні параметри WCDMA

Метод множинного доступу	DS-CDMA
Метод дуплексування	Дуплекс із частотним поділом/ дуплекс із часовим поділом
Базова станція	Асинхронна робота
Швидкість чіпів [Mcps]	3,84
Пропускна здатність несучої [МГц]	4.4
Довжина кадру [мс]	10

Мультиплексування послуг	Кілька послуг з різними вимогами до QoS, мультиплексовані в одному з'єднанні
Багатошвидкісна концепція	Змінний коефіцієнт поширення та мультикод
Виявлення	когерентне з використанням пілотних символів або загального пілотного сигналу
Розпізнавання кількох користувачів, розумні антени	Підтримується стандартом, необов'язковий у реалізації
Модуляція	UL: двійкова фазова маніпуляція (BPSK) DL: четвертинна фазова маніпуляція (QPSK),

Операція розповсюдження в WCDMA, також відома як каналізація, призводить до поширення даних з таким же випадковим виглядом, що і код розширення. Код каналізації збільшує пропускну здатність передачі та використовує метод ортогонального змінного коефіцієнта розповсюдження (OVSF), який дозволяє змінювати коефіцієнт поширення (SF), зберігаючи ортогональність між кодами різної довжини. Скремблюючі коди, що використовуються при каналізації, не змінюють пропускну здатність передачі і можуть використовувати сімейство Gold для довгих кодів і розширене сімейство кодів $S(2)$ для коротких.

Канали радіоінтерфейсу UTRA можна класифікувати на логічні, транспортні та фізичні. Логічні канали відображаються на транспортні канали, які знову відображаються на фізичні. Перетворення логічного в транспортний канал відбувається на рівні керування доступом до середовища (MAC), який є нижчим підрівнем на рівні каналу даних (рівень 2).

Дуже важливою ключовою особливістю WCDMA є контроль потужності, без якого МТ може заблокувати цілий стільник, що спричиняє так звану проблему близького і далекого CDMA.

1.3 Технологія пакетної передачі даних HSPA

Концепції HSDPA та HSUPA представлені на основі [9]. Проведемо короткий огляд основних відмінностей між Release 99 та HSDPA/HSUPA, таких як нові технології і канали.

HSDPA був розроблений для розгортання разом з Release 99 і працює як покращення UMTS, збільшуючи пропускну здатність пакетних даних DL за допомогою швидкої повторної передачі фізичного рівня (L1), швидкого планування, а також швидкої адаптації зв'язку, яка керується БС. Щоб забезпечити більш високі швидкості передачі даних, ця нова технологія підтримує 16-ти квадатурну амплітудну модуляцію (16QAM) з 4 бітами на символ, яку можна використовувати лише при хорошій якості радіосигналу.

У той час як у релізі 99 операція передачі нового пакета або повторної передачі мала однаковий вплив на мережу, оскільки повторна передача була виконана RNC, у HSDPA BS має буфер який першим отримує пакет і зберігає його після відправлення користувачеві, дозволяючи BS повторно передати пакет, якщо необхідно, без втручання RNC, таким чином мінімізуючи затримку.

Повторна передача на основі RNC все ще може застосовуватися зверху в разі збою на фізичному рівні, використовуючи режим роботи з підтвердженням радіозв'язку (RLC). Що стосується планування та адаптації каналу, ці операції виконуються після того, як БС оцінює якість каналу кожного активного користувача на основі зворотного зв'язку фізичного рівня в UL.

Той факт, що всі елементи мережі можуть бути спільними, робить вартість оновлення, від версії 99 до HSDPA, дуже привабливою, оскільки для цього потрібен лише новий програмний пакет і, можливо, деякі нові частини обладнання в BS і RNC, щоб підтримувати більш високу швидкість передачі даних і ємність; однак на стороні користувача потрібен новий термінал.

HSDPA не підтримує функції виділеного каналу (DCH), такі як керування потужністю та м'яка передача обслуговування, хоча, як і у версії 99,

HSDPA завжди функціонує, коли DCH працює паралельно, оскільки принаймні передача радіосигналу (SRB) здійснюється, якщо послуга призначена лише для пакетних даних.

Щоб HSDPA функціонував, необхідні нові канали, такі як спільний канал високошвидкісного низхідного зв'язку (HS-DSCH), для даних, які відображаються на загальний високошвидкісний фізичний низхідний канал (HS-PDSCH), а для сигналізації — високошвидкісний спільний канал керування (HS-SCCH) і високошвидкісний виділений фізичний канал керування (HS-DPCCH) для DL та UL відповідно. Коли в DL, крім SRB, активні лише пакетні послуги, було відчутно, особливо з нижчими швидкостями, що DL DCH створює занадто багато накладних витрат, а також може споживати занадто багато кодового простору, якщо шукати велику кількість користувачів, які використовують послугу з низькою швидкістю передачі даних, як-от передача голосу по IP (VoIP). У цьому випадку система використовує Fractional-DPCH (F-DPCH), який обробляє управління потужністю.

HS-DSCH є транспортним каналом, який використовується для передачі даних користувача в HSDPA. Цей канал підтримує 16QAM, окрім QPSK, який використовується для максимізації покриття та надійності, і має динамічний розподіл ресурсів на основі планування BS з інтервалом часу передачі (TTI) 2 мс. Під час TTI немає дискретної передачі (DTX). Він використовує фіксований коефіцієнт поширення (SF) 16 з багатокодою модуляцією, максимум 15 кодів на MT, і використовується тільки турбокодування.

HSDPA має розширені можливості DL, тому виникла потреба в покращенні UL, щоб відповідати цим можливостям. У відповідь на цю потребу у Релізі 6 представлено HSUPA. HSUPA не є окремою функцією, скоріше, додатковою, оскільки він використовує більшість основних функцій Релізу 99, єдиними змінами є новий спосіб доставки даних від MT до BS і впровадження QPSK, збереження всіх інших специфікацій незмінними, наприклад, контроль потужності так само важливий, як і у релізі 99.

HSUPA привніс до UL деякі з тих самих функцій, що й HSDPA з його новим транспортним каналом (EDCH), а саме швидке планування на основі вузла B, швидкий фізичний рівень гібридного автоматичного запиту повторення (HARQ) і, за бажанням, коротший TTI 2 мс. У HSUPA HARQ повністю синхронний, має додаткове резервування, а також працює в режимі м'якого хэндовера. Незважаючи на те, що в [19] єдиною передбачуваною модуляцією для HSUPA є BPSK, щодо [20], модуляція QPSK також була введена у Випуск 6. Показано порівняння між основними характеристиками транспортних каналів Випуску 99, HSDPA і HSUPA. у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Таблиця порівняння DCH, HSDPA та HSUPA.

Параметр	DCH	HSDPA (HS-DSCH)	HSUPA (E-DCH)
Змінна SF	Yes	No	Yes
Швидке управління потужністю	Yes	No	Yes
Адаптивна модуляція	No	Yes	Yes
Планування на основі BS	No	Yes	Yes
Швидкий L1 HARQ	No	Yes	Yes
М'яка передача	Yes	No	Yes
Довжина TTI [мс]	80, 40, 20, 10	2	10, 2

Подібно до HSDPA, для роботи HSUPA були введені нові канали. Для DL для керування плануванням були введені канал абсолютного гранту E-DCH (E-AGCH) і канал відносного надання E-DCH (E-RGCH), а індикаторний

канал E-DCH HARQ (E-HICH), для підтримки ретрансляції. У UL — виділений фізичний канал керування E-DCH (E-DPCCH) для нової керуючої інформації, а для передачі даних — виділений фізичний канал даних E-DCH (E-DPDCH). Канали DCH з редакції 99 залишили без змін. У HSPA E-DCH є виділеним каналом, подібним до редакції 99, але з швидкою ретрансляцією та плануванням, тоді як для HSDPA HS-DSCH є спільним.

Розглянемо основні концепції HSPA+ на основі [20] і [21], які в даний час стандартизовано 3GPP у версіях 7 і 8. Метою розвитку HSPA є подальше покращення продуктивності UMTS за рахунок вищих пікових швидкостей, меншої затримки, більшої ємності, збільшення часу роботи батареї, кращої підтримки VoIP та покращених можливостей багатомовлення.

Щоб підтримати ці покращення, HSPA+ вводить:

- модуляцію вищого порядку (НОМ);
- МІМО;
- Безперервне пакетне з'єднання (СРС);

Крім того, для майбутніх випусків 3GPP розглядає можливість роботи з кількома несучими, оптимізоване мовлення за низьким каналом (DOB), розширений канал прямого доступу (Cell-FACH) і більш просунуті приймачі, які забезпечать більш високу швидкість передачі даних.

Наприклад, у релізі 8 максимальна швидкість передачі даних теоретично сягає до 42 Мбіт/с в DL і 11 Мбіт/с в UL (на несучу 5 МГц). НОМ дозволяє користувачам отримувати значно вищі швидкості передачі даних за сприятливих умов радіорозповсюдження.

У релізі 6 модуляції 16QAM і QPSK підтримуються для DL і UL відповідно, забезпечуючи розумну швидкість передачі даних для макростільників, однак для піко- та мікростільників зазвичай досягаються вищі SNR, тому можна використовувати НОМ.

Реліз 7 представляє 64QAM в DL, збільшуючи пікову швидкість передачі даних на 50%, з приблизно 14 Мбіт/с до 21 Мбіт/с, рисунок 1.2.

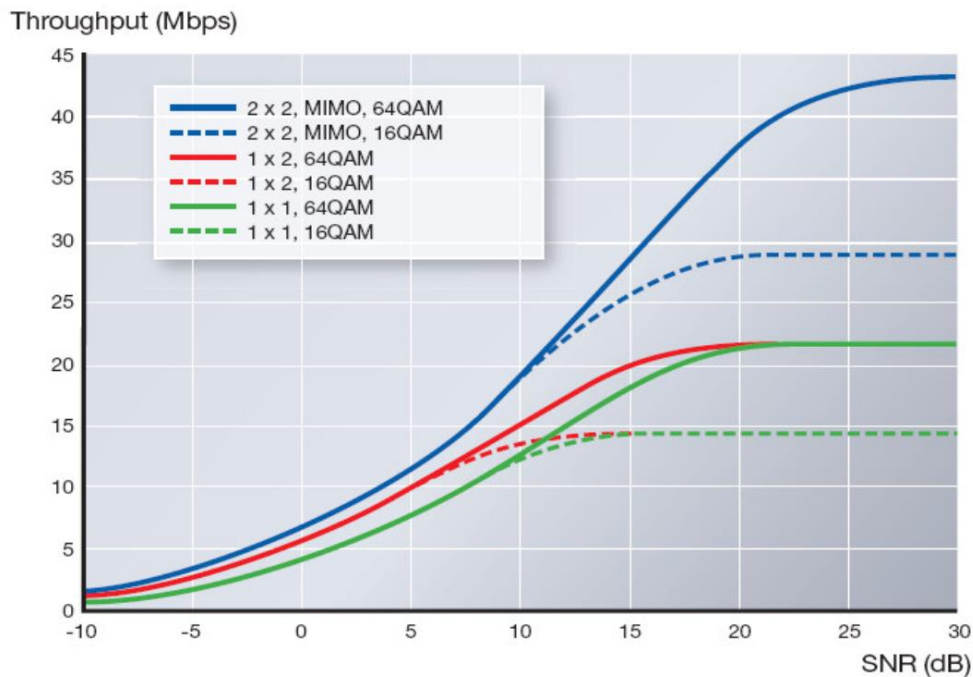


Рисунок 1.2 Пропускна здатність в каналі для пішоходів А для HSPA та MIMO

Вдосконалення, властиві HSPA+, відображаються в модуляції 16QAM для DL, при цьому для досягнення пікової швидкості передачі даних необхідне менше значення SNR, порівняно з HSDPA релізу 5. В UL запровадження 16QAM дозволяє піковій швидкості передачі даних досягати приблизно 11,5 Мбіт/с, що демонструє збільшення на 100% порівняно з 5,74 Мбіт/с розширеного UL у версії 6 з QPSK, як показано на рисунку 1.3. Крім того, для підтримки нових схем модуляції, більших розмірів транспортних блоків і більшого діапазону для інформації про якість каналу (CQI), фізичні канали управління (HSSCCH, HS-DPCCH, E-AGCH і E-DPCCH), були змінені. Найкраща комбінація модуляції та швидкості кодування для даного SNR визначається таблицями схеми модуляції та кодування (MSC), що призводить до обмеженої пікової швидкості передачі даних через використання вищої модуляції та найменшої можливої кількості кодування для кожного значення SNR.

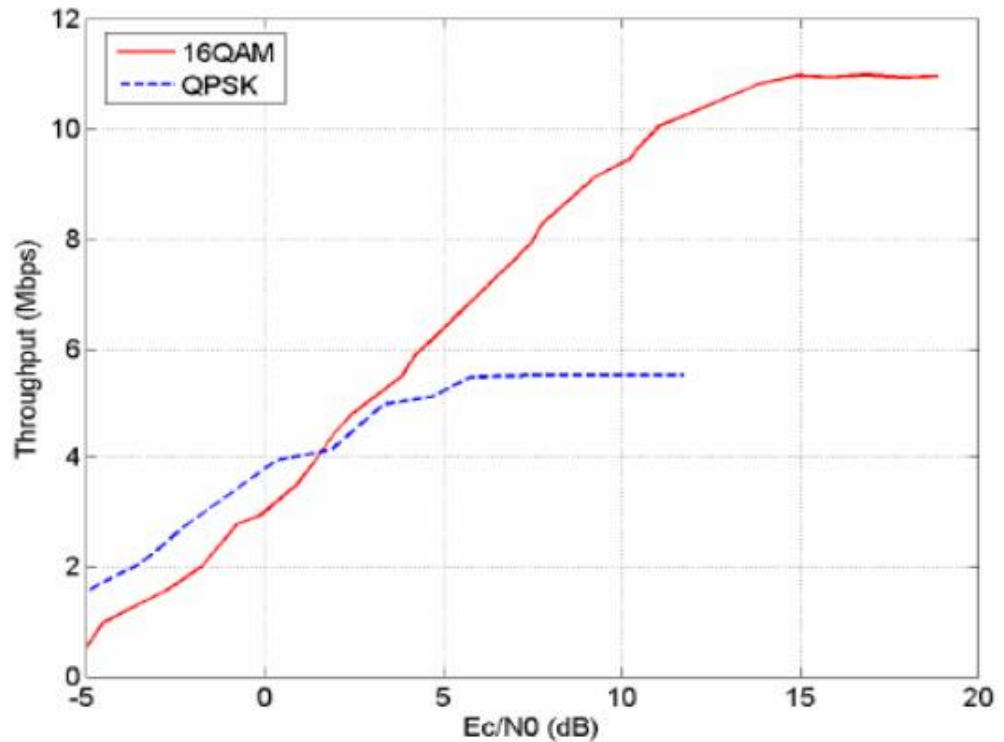


Рисунок 1.3 Пропускна здатність як функція E_c/N_0 в пішохідному каналі А для висхідного НОМ

Що стосується МІМО, то стандартизація схеми багаторівневої передачі є обов'язковою умовою, оскільки, знаючи властивості каналу та схему кодування, приймач може розділяти кілька потоків даних. Схема МІМО, обрана для HSPA+, заснована на попередньо закодованій і рангові адаптивній передачі кількох кодових слів, таким чином, кожен рівень (підпотік) несе окремі транспортні блоки, а кількість паралельних потоків можна адаптувати до поточних умов каналу (адаптація рангу). Принцип кількох кодових слів дозволяє передавати два окремо закодованих потоки до МТ, полегшуючи використання послідовних приймачів усунення завад, які, підвищують продуктивність порівняно з лінійними приймачами, такими як приймачі на основі мінімальної середньої квадратичної помилки (MMSE).

Перед передачею даних модульований і розширений сигнал просторово зважується (попередньо кодується), що означає, що потоки даних передаються через окремі передавальні антени з використанням різних ваг передачі. Головною перевагою попереднього кодування є той факт, що навіть коли передається один транспортний блок, завантажуються обидва підсилювачі

потужності, таким чином, коли передаються два потоки, кожен потік містить однакові коди каналізації. У релізі 7 MIMO визначено для передачі до двох потоків (схема 2×2 MIMO), що для DL, використовуючи 16QAM для кожного потоку, призводить до пікової швидкості передачі даних приблизно 28 Мбіт/с. Пікова швидкість передачі даних теоретично розширена до 42 Мбіт/с, при цьому комбінація MIMO та модуляції 64QAM, як показано на рисунку 1.2, розглядається для релізу 8.

Більше того, невиявлені блоки можна повторно передавати між двома потоками, оскільки HARQ підтверджує кожен потік окремо і незалежно.

З огляду на те, що рівень активності користувачів пакетної передачі даних значно змінюється з часом, виникає потреба в ефективній підтримці безперервно підключених додатків. Рішення, представлене 3GPP у релізі 7, — це CPC, яке складається з двох основних функцій, які називаються UE Discontinuous Transmission and Reception (UE DTX/DRX), і робота без HS-SCCH. Введення UE DTX/DRX в активний стан дає такі переваги, як зниження споживання батареї та збільшення ємності. Моделювання показує, що концепція CPC у релізі 7 збільшує пропускну здатність VoIP на 40% в UL і на 10% у DL.

Для підтримки модуляції MIMO та 64QAM потрібен більший блок даних протоколу RLC (PDU), тому у релізі 7 прийняті гнучкі розміри PDU RLC, а також сегментація MAC та покращене мультиплексування MAC для передачі DL; отже, зменшуючи обмеження пікової швидкості передачі даних DL через розмір RLC PDU. Накладні витрати протоколу рівня 2 зменшуються за рахунок зменшення накладних витрат на заголовки RLC, що є наслідком здатності передавача гнучко вибирати розмір PDU RLC.

Крім того, у релізі 8 удосконалення, внесені до протоколу DL, будуть застосовані до протоколу UL, покращуючи покриття UL та зменшуючи накладні витрати на обробку.

Висновки до розділу: в розділі проведено аналіз публікацій, що присвячено проблемам пакетної передачі даних через мережі мобільного

зв'язку слід відмітити, що проблематика пакетної передачі даних є актуальною і на сучасному етапі проводиться досить багато досліджень, що підтверджується публікаціями наукових статей на цю тему. Також приведено аналіз роботи систем мобільного зв'язку із використанням технології HSPA та вказано основні напрямки розвитку технології та основні проблеми. В розділі показано, що ведуться роботи по розширенню можливостей мережі із технологією HSPA за рахунок використання MIMO.

РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КАНАЛУ ПАКЕТНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ HSPA

2.1 Розробка моделі каналу

Існує три важливих параметри радіоканалу: втрати на шляху, згасання та затримка. Перші два були важливими для мобільних систем першого покоління, тоді як останній набула важливості для другого покоління.

Необхідно враховувати нову змінну, тобто кут, оскільки кут прибуття (AoA) і кут відправлення (AoD) тепер є додатковими факторами, що впливають на адаптивні алгоритми.

Загалом моделі каналів можна розділити на три категорії: статистичні, геометричні та змішані.

Статистичні моделі припускають, що сигнали надходять до приймача відповідно до певних статистичних даних розподілу, тоді як у геометричних моделях отриманий сигнал залежить лише від геометричних властивостей середовища поширення, причому його точність повністю залежить від відтворення середовища.

Геометричні моделі можуть досягати більш високої точності, але вимагають дуже глибокого знання навколишнього середовища, тоді як статистичні моделі більш гнучкі, але їх точність не дуже висока.

Змішані моделі є комбінованим рішенням двох згаданих вище, оскільки вони є компромісом між точністю та складністю.

У цій роботі використаємо змішану модель каналу: модель каналу GBSB, яка була розроблена Групою досліджень бездротового зв'язку (GROW) Інституту Superior Técnico (IST) [10].

Ідея за межами моделі GBSB полягає в тому, що характеристика багатопроменевості радіоканалу є результатом відбиття сигналу від численних розсіювачів. Результати досліджень показують, що в більшості випадків сигнали надходять кластерами з певного напрямку. Кожен учасник, який

враховується моделлю у вигляді групи окремих розсіювачів, де кожен розсіювач породжує одне дзеркало відбиття, що характеризується власним коефіцієнтом відбиття (2.1), як показано на рисунку 2.1.

$$\Gamma_s = |\Gamma_s| e^{j\Phi_s} \quad (2.1)$$

де Γ_s - амплітудний коефіцієнт відбиття;

Φ_s - фазовий коефіцієнт відбиття.

Скупчення розсіювачів визначається розподілом Гауса, тоді як розподіл Пуассона забезпечує кількість розсіювачів.

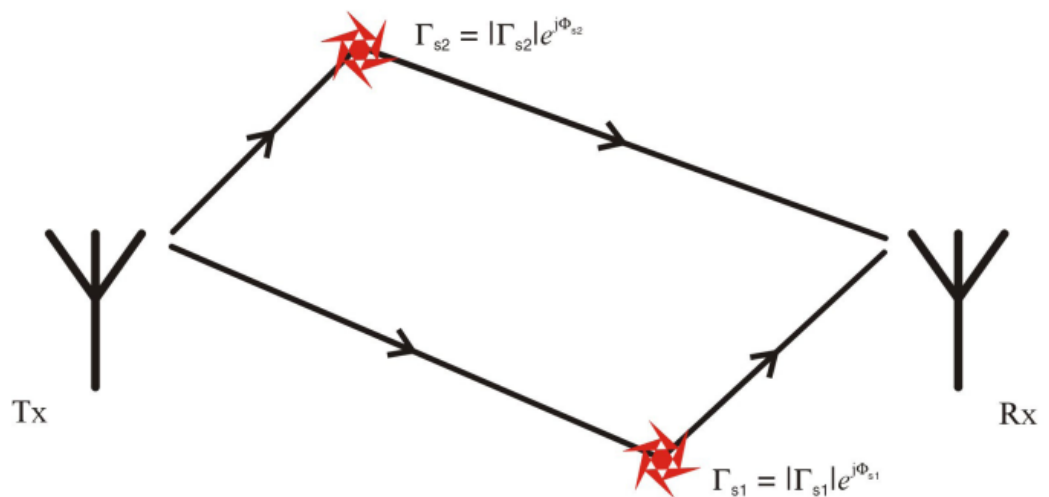


Рисунок 2.1 – Поширення сигналу в моделі каналу

GBSB можна розглядати як комбінацію детермінованих (параметри, такі як AoA, AoD і Time of Arrival (ToA), які обчислюються на основі геометрії середовища) і статистичних особливостей (координати розсіювачів генеруються випадковим чином, і кожен розсіювач описується випадковим комплексним коефіцієнтом відбиття).

Вихідні параметри (амплітуда, фаза, AoA, AoD і ToA) для кожної станції розраховуються відповідно до положень антен Tx і Rx, а також розподілу розсіювачів. Для спрощення розрахунків в цю модель розсіювання на

шорстких поверхнях, дифракція, багаторазовий відскок та інші аспекти поширення не включені.

Основне припущення цієї моделі полягає в тому, що систему MIMO можна розглядати як незалежну SISO n одиниць, що означає, що кожна пара вхідних і вихідних антен може розглядатися окремо, отже, модель радіоканалу GBSB можна використовувати без істотних модифікацій. Скупчення розсіювачів є загальними для пар антен, і оскільки кожна пара має свій власний набір багатопроменевих компонентів затримки, фаза та амплітуда сигналу різні. Загальна кількість MPC дорівнює кількості розсіювачів, помноженої на кількість пар антен; незважаючи на малу відстань між антенами, CIR для кожної багатопроменевої лінії відрізняється, якщо кількість розсіювачів велика.

Зазвичай враховують три основні типові сценарії: піко-, мікро- та макростільники. Головною особливістю, яка відрізняє ці сценарії, є розташування БС і МС з посиленням на розгортання розсіювачів [10]. Ще один важливий фактор, який допомагає сортувати згадані сценаріїв — це радіус комірки. Згідно з визначенням Прасада [11], пікостільник має радіус менше 200 м, мікростільник має радіус у межах [200, 1000] м, а макростільник більший більше 1 км; однак це не стандартизовані розміри.

Площа пікостільника обмежена колом, у центрі якого знаходиться БС. Розташування МТ не має визначення і залежить від фактичного положення користувача. У цьому сценарії існує компонент LoS. А щільність розсіювачів, рисунок 2.2, є специфічною для кожного окремого середовища. Пікостільник зазвичай розташований всередині будівель, наприклад, хол торгових центрів. Розміри місця, де встановлено пікостільник, в основному впливають на радіус кола. У мікростільниках розсіювання відбувається в оточенні як БС, так і МТ, а також в області між ними. Сценарій мікростільників зазвичай відбувається, коли і БС, і МТ розташовані під дахами, наприклад, вулиця в міському районі з LoS. Розсіювачі розгорнуті з однаковою щільністю навколо БС, МТ і в зоні

між ними. Ширина вулиці повинна обмежувати розглянутий регіон при моделюванні середовища вуличного типу.

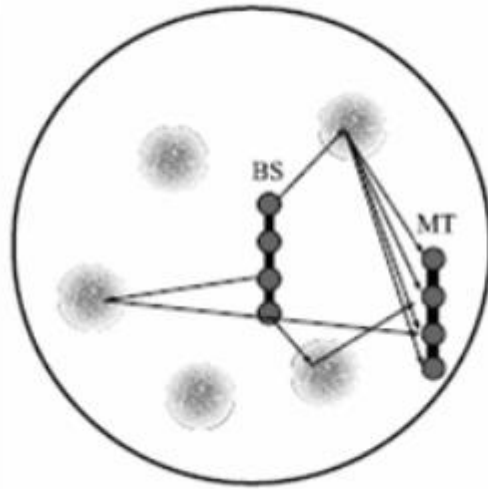


Рисунок 2.2 – Структура пікостільника

Область багатопроменевого поширення має форму еліпса, малюнок 2.3, фокусами якого є BS і MT, а мала вісь – визначається шириною вулиці.

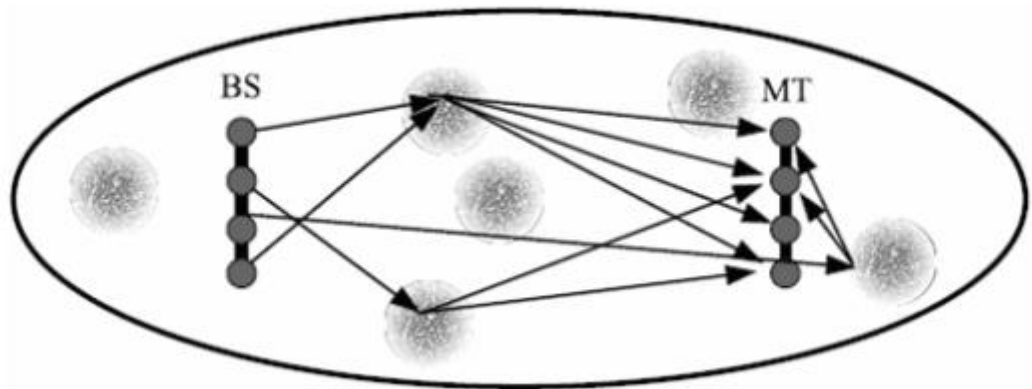


Рисунок 2.3 – Структура мікростільника

У сценарії макростільника вплив розсіювання розташованих в області навколо MT, що є наслідком того, що висота антени BS більша за антену MT. У випадку макроелементів, область впливу має форму кола, рисунок 2.4. Вплив розсіювання в околицях BS будуть ігноруватися, і компонент LoS не буде.

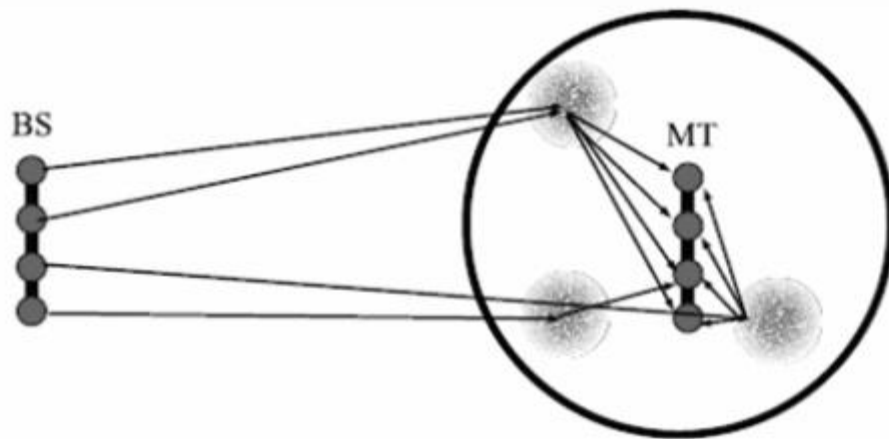


Рисунок 2.4 – Структура макростільника

Для того, щоб передбачити переваги використання MIMO над SISO на основі результатів моделювання, модель RMG, [12]. Модель, що представлена нижче, заснована на [12]. Модель потенціалу MIMO, описаного в [12], базується на результатах моделювання в симуляторі радіоканалу MIMO, який враховує модель каналу GBSB. Крім того, модель RMG передбачає, що антени є ізотропними. RMG визначається як співвідношення між MIMO та SISO-потужностями радіозв'язку, з моделлю RMG, яка є статистичною моделлю, розробленою для наближення розподілу RMG, виходячи з результатів моделювання, що полегшує включення до симуляторів на рівні систем.

Для того, щоб підтримувати низьку складність для моделі, розподіл RMG моделюється зворотною сигмовидною функцією (також відома як функція логістичної або функції S-форми), яка повністю моделюється його середньою та дисперсією:

$$\delta(x, \mu, s) = \frac{1}{1 + e^{-\frac{x - \mu}{s}}}, \quad (2.2)$$

де μ - середнє значення розподілу;

s - визначає нахил, який пов'язаний з σ^2 :

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2}{3} s^2, \quad (2.3)$$

де σ^2 - дисперсія;

І середнє значення, і дисперсія залежать від кількості антен T_x і R_x , тоді як середнє значення також залежить від відстані між T_x і R_x , тоді як дисперсія залежить від типу стільника.

Оскільки для певної кількості антен T_x і R_x дисперсія є дуже низькою для піко-, мікро- та макростільників, це означає, що нахил сигмоїдної функції не сильно змінюється в межах одного діапазону стільників, тому ним нехтуємо і вважаємо, що нахил є постійним у межах типу стільника.

Модель, яка в результаті дає реалістичний статистичний RMG, потрібний обернений розподіл, який визначається:

$$g(u, \mu_{RGM}, \sigma_{RGM}) = \mu_{RGM}(d, N_T, N_R) - \frac{\sqrt{3\sigma_{RGM}^2(d, N_T, N_R)}}{\pi} \ln \frac{1-u}{u}, \quad (2.4)$$

де u - випадкове значення з рівномірним розподілом, тобто $u = U[0,1]$;

d - відстань між BS і MT;

$\sigma_{RGM}^2(d, N_T, N_R)$ - дисперсія в залежності від типу клітинки, N_T і N_R ;

$\mu_{RGM}(d, N_T, N_R)$ - середній RMG залежно від типу клітини, N_T і N_R ;

Пропускна здатність та завади HSPA

Під час визначення розмірів мережі необхідно оцінити три основні коефіцієнти обмеження пропускної здатності, тобто кількість кодів каналізації, потужність передачі БС та навантаження на трафік. Таким чином, кількість доступних кодів каналізації може обмежити систему, оскільки вони безпосередньо залежать від SF, які пов'язані зі швидкістю передачі даних каналу, тобто послуги з високою швидкістю передачі даних із низькими SF, такі як потокове мультимедіа, залишають менше ресурсів іншим, на відміну від

таких послуг, як мовна телефонія, яка дозволить більшій кількості МТ отримати доступ до системи. WCDMA має частоту повторного використання одиницю, що робить ємність мережі особливо чутливою до кількості завад. Коефіцієнти навантаження визначені (2.5) для UL і (2.6) для DL.

(2.5)

$$\eta_{UL} = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^{N_u} \frac{1}{1 + \frac{G_{pj}}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j v_j}},$$

(2.6)

$$\eta_{DL} = (1 + i) \cdot \sum_{j=1}^{N_u} v_j \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)_j}{G_{pj}} \cdot [(1 - \alpha_j) + i_j],$$

де v_j : коефіцієнт активності користувача j (зазвичай 0,67 для мовлення та 1,0 для даних);

E_b - енергія сигналу на біт;

G_{pj} : приріст від обробки користувача j , визначений як:

$$G_{pj} = \frac{R_c}{R_{bj}}, \quad (2.7)$$

R_{bj} - швидкість передачі даних користувача j ;

R_c - швидкість чіпа WCDMA (R_c завжди дорівнює 3,84 Mps);

i - співвідношення міжстільникових і внутрішньостільникових завад;

N_0 - спектральна щільність шуму;

N_u - кількість користувачів на стільник;

α_j - ортогональність каналу DL користувача j (зазвичай від 0,4 до 0,9);

i_j : відношення між- та внутрішньостільникових перешкод для користувача j .

Рівняння навантаження (2.5) і (2.6) використовуються для оцінки зростання шуму та ємності стільника, причому перша пов'язана з межею завад, що використовується в бюджеті лінії:

$$M_1^{UL/DL}[db] = -10 \lg(1 - \eta_{UL/DL}), \quad (2.8)$$

Потужність передачі БС розподіляється між усіма користувачами, будучи обмеженою зверху, отже, вона є дуже обмежуючим фактором ємності стільника. Загальна потужність передачі БС може бути виражена:

$$P_{Tx[w]} = \frac{\sum_{j=1}^{N_u} v_j \frac{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)}{G_{pj}} \cdot L_{pj}}{1 - \overline{\eta_{DL}}}, \quad (2.9)$$

де $\overline{\eta_{DL}}$ - середнє значення коефіцієнта навантаження DL в стільнику;

L_{pj} - втрати на шляху між БС і користувачем j ;

Продуктивність HSDPA залежить від мережевих алгоритмів, сценаріїв розгортання, генерованого трафіку, продуктивності та можливостей приймача QoS та MT. Незважаючи на 16 HSDPA SF, для передачі даних може бути виділено лише 15 кодів, оскільки один потрібен для передачі HS-SCCH. З точки зору BS, всі 15 кодів можуть бути виділені, це не вірно для MT, який може виділити лише 5, 10 або 15 кодів.

У HSDPA є 12 категорій MT з різною швидкістю передачі даних DL від 0,9 до 14,4 Мбіт/с [13]. Оцінка продуктивності в HSDPA відрізняється від тієї, що використовується у релізі 99, який використовує E_b/N_0 для позначення енергії сигналу на біт над спектральною щільністю шуму. Однак це не є адекватним заходом для HSDPA, оскільки швидкість передачі даних змінюється для кожного TTI на HS-DSCH через основні функції HSDPA для адаптації каналу, такі як адаптивна модуляція та кодування (AMC), передача

кількох кодів (кілька HS-PDSCH), і швидкий L1 HARQ. Таким чином, методом, що використовується для оцінки продуктивності в HSDPA, є середнє співвідношення сигнал/завада HS-DSCH плюс шум (SINR), після розповсюдження HS-PDSCH, задане (2.10) для приймача Rake з однією антеною. Цей показник є важливим показником для планування бюджету каналу HSDPA та визначення розмірів мережі, оскільки вона не залежить від кількості використовуваних кодів HS-PDSCH, схеми модуляції та ефективної кодової швидкості.

$$\rho_1 = SF_{16} \frac{P_{HS-DSCH}}{(1-\alpha)P_{int\ ra} + P_{int\ er} + N}, \quad (2.10)$$

де $P_{HS-DSCH}$ - сумарна отримана потужність HS-DSCH по всіх активних кодах HS-PDSCH;

P_{intra} - отримані внутрішньостільникові завади;

P_{inter} - отримані міжстільникові завади;

N - загальна потужність шуму;

α - коефіцієнт ортогональності DL;

Інший показник, що використовується, що стосується продуктивності, - це миттєве необхідне SINR HS-DSCH, що вимірює SINR, необхідне для кожного TTI на HS-DSCH, щоб досягти певного коефіцієнта блочних помилок (BLER) для заданої кількості кодів HS-PDSCH, тип модуляції і схема кодування. На рисунку 2.1 представлено взаємозв'язок між середньою пропускною здатністю HS-DSCH та середнім SINR HS-DSCH для 5, 10 і 15 кодів HS-PDSCH.

Щоб оцінити досяжну пропускну здатність HSDPA для одного користувача з метою визначення розмірів мережі, можна використовувати середній широкосмуговий пілот E_c/N_0 Primary-Common Pilot Channel (P-CPICH). Середнє значення SINR HS-DSCH можна виразити як функцію середнього P-CPICH,

$$\rho_1 = SF_{16} \frac{P_{HSDPA}}{\frac{P_{pilot}}{\rho_{pilot}} - \alpha P_{Tx}}, \quad (2.11)$$

де P_{HSDPA} - потужність передачі HSDPA;

P_{Tx} - загальна потужність передачі вузла В;

P_{pilot} - потужність передачі P-CPICH;

ρ_{pilot} - P-CPICH E_c/N_0 , коли HSDPA активний.

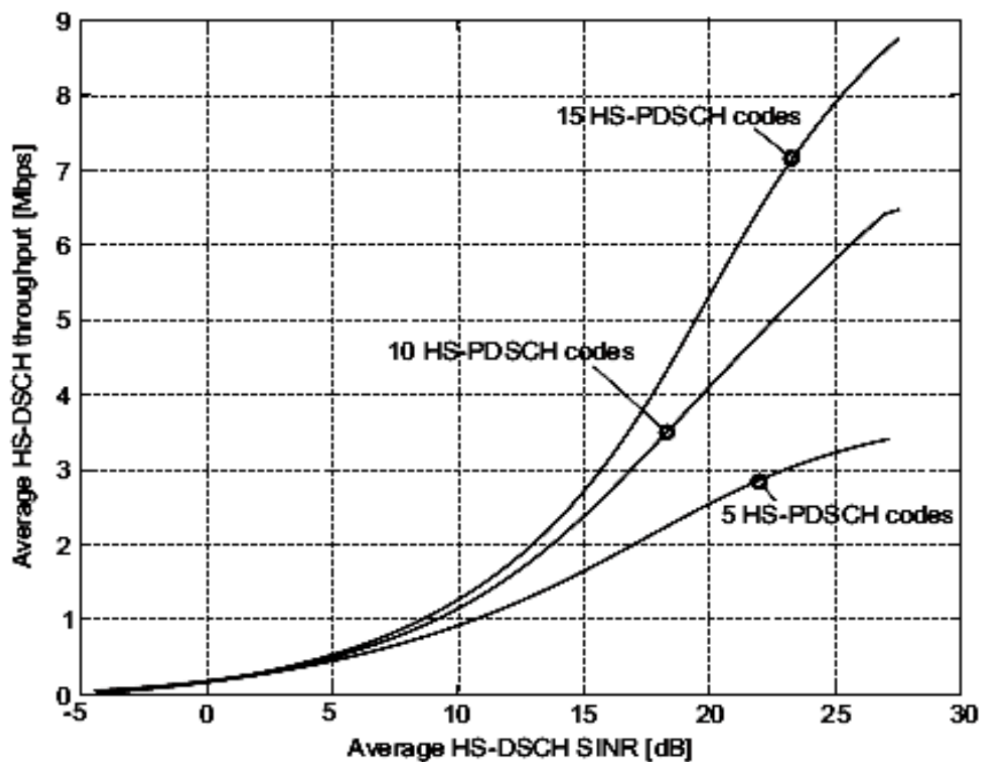


Рисунок 2.1 - Середня пропускна здатність HS-DSCH порівняно із середнім SINR HS-DSCH для 5, 10 та 15 кодів HSPDSCH

2.2 Енергетичний розрахунок

Енергетичний розрахунок в цій роботі оснований на редакції стандарту 99, який детально описано в [14] і [15], і він був адаптований до HSDPA і HSUPA [16]. Бюджет каналу, який розглядається для HSPA+, такий самий, як і для HSDPA та HSUPA для DL та UL відповідно. Втрату шляху зазвичай можна визначити для кожного посилення як [17]:

$$L_{\rho[db]} = P_{t[db]} + G_{t[db]} - P_{r[db]} + G_{r[db]} = EIRP_{[dbm]} - P_{r[dbm]} + G_{r[dbi]}, \quad (2.12)$$

де L_p - втрата шляху;

P_t - потужність передачі на порту антени;

G_t - посилення передавальної антени;

P_r - доступна потужність прийому в порту антени;

G_r - посилення приймальної антени.

Якщо використовується рознесення, G_r повинен враховувати додаткове посилення, яке вводиться, замінюючи його в (2.12) на (2.13), де G_{div} є досягнутим підсиленням рознесення, із типовим значенням 3 дБ для 2 антен. При використанні він розглядається лише в UL, оскільки простір у MT для просторового рознесення обмежений, а поляризаційне рознесення вимагає подвоєння обладнання передачі на BS.

Типові міські обставини використовують, приймають, поляризаційне рознесення (перехресно-поляризовані антени), вимагаючи лише однієї антени на сектор, що мінімізує вартість мережі [16].

$$G_{rdiv[db]} = G_{r[db]} + G_{div[db]}, \quad (2.13)$$

Еквівалентну ізотропну потужність випромінювання (EIRP) можна розрахувати за допомогою (2.14) або (2.15), якщо розглядаються DL або UL відповідно:

$$EIRP_{[dbm]} = P_{Tx[dbm]} + G_{t[dbi]} - L_c[db] - P_{Sig[dbm]}, \quad (2.14)$$

$$EIRP_{[dbm]} = P_{Tx[dbm]} + G_{t[dbi]} - L_u[db] - P_{Sig[dbm]}, \quad (2.15)$$

де L_c - втрати кабелю між трансивером та антеною;

P_{Sig} : потужність сигналу;

L_u - втрати в тілі.

Отриману потужність можна розрахувати за (2.16) для DL і (2.17) для UL:

$$P_{Rx[dbm]} = P_{r[dbm]} - L_u[db], \quad (2.16)$$

$$P_{Rx[dbm]} = P_{r[dbm]} - L_c[db], \quad (2.17)$$

де P_{Rx} – вхідна потужність приймача.

Чутливість приймача можна приблизно оцінити:

$$P_{Rx[dbm]} = N_{[dbm]} - G_{p[db]} + \rho_{[db]}, \quad (2.18)$$

де N - загальна потужність шуму, задана (2.19);

G_p - посилення обробки, таблиця 2.1;

Таблиця 2.1 – Підсилення обробки та визначення SNR для різних систем

System	Processing Gain	SNR
R99 DL/UL	Rc/Rb	Eb/N0
HSDPA	Fixed and equal to 16	SINR
HSUPA	Rc/Rb	Eb/N0
HSPA+ DL	Fixed and equal to 16	SINR
HSPA+ UL	Rc/Rb	Eb/N0

Загальна потужність шуму становить:

$$N_{[dbm]} = -174 + 10 \log(\Delta f_{[Hz]}) + F_{[db]} + M_{l[db]}^{UL/DL}, \quad (2.19)$$

де Δf - смуга пропускання сигналу;

F - показник шуму приймача;

$M_{I[db]}^{UL/DL}$ - пороговий рівень завад, що наведено у (2.8) для DL та UL.

Однак пороговий рівень завад не враховується в моделі зв'язку, оскільки модель пов'язана з ситуацією одного користувача, що призводить до коефіцієнта навантаження 0%.

Щоб розрахувати загальні втрати на шляху, необхідно врахувати деякі додаткові запаси для коригування додаткових втрат через поширення радіо:

$$M_{[db]} = M_{SF[db]} + M_{FF[db]} + L_{ind[db]} - G_{SHO[db]}, \quad (2.20)$$

де M_{SF} - запас повільного згасання;

M_{FF} - запас швидкого згасання;

L_{ind} - втрати на проникнення в приміщення;

G_{SHO} - м'яке посилення передачі обслуговування, не враховується для HSDPA і HSPA+ DL.

Швидке та повільне затухання описуються розподілами Релея та Гаусса відповідно, і введені для того, щоб гарантувати більш реалістичні результати. Вираз (2.21) означає CDF розподілу Релея, тоді як гаусів розподіл CDF визначається (2.22).

$$M_{[db]} = M_{SF[db]} + M_{FF[db]} + L_{ind[db]} - G_{SHO[db]}, \quad (2.21)$$

$$P(x) = 1 - e^{-x^2/\overline{x^2}}, \quad (2.22)$$

де $\overline{x^2}$ - середня квадратична похибка, що визначається:

$$\overline{x^2} = \frac{4\sigma}{4 - \pi} \quad (2.23)$$

σ - стандартне відхилення;

$$P(x) = \frac{1 + \operatorname{erf}\left(\frac{x - \bar{x}}{\sqrt{2}\sigma}\right)}{2} \quad (2.24)$$

де $\bar{x}$ - середнє;

$\operatorname{erf}()$ - функція помилки, яка задається:

$$\operatorname{erf}(v) \cong 1 - \sqrt{\pi} \frac{e^{-v^2}}{(\pi - 1)v + \sqrt{v^2 + \pi}}, \quad v > 0 \quad (2.25)$$

Загальні втрати на шляху можна розрахувати:

$$L_{p \text{ total}}[\text{dB}] = L_{p[\text{dB}]} - M_{[\text{dB}]} \quad (2.26)$$

Загальні втрати в тракті використовуються для обчислення чутливості приймача, що дозволяє обчислити SNR. Після перетворень з (2.12) і заміни L_p на $L_{p \text{ total}}$, а P_r на $P_{R_x \text{ min}}$, чутливість приймача визначається (2.27), для DL і за (2.28) для UL.

$$P_{R_x/\text{DL}}[\text{dBm}] = EIRP_{[\text{dBm}]} - L_{p \text{ total}}[\text{dB}] + G_{r[\text{dBi}]} - L_{u[\text{dB}]} \quad (2.27)$$

$$P_{R_x/\text{UL}}[\text{dBm}] = EIRP_{[\text{dBm}]} - L_{p \text{ total}}[\text{dB}] + G_{r[\text{dBi}]} - L_{c[\text{dB}]} \quad (2.28)$$

Змінюючи (2.18), SINR для HSDPA і HSPA+ DL, пов'язаний з певною відстанню користувача, розраховується за (2.29), тоді як E_b/N_0 для UL приймає форму (2.30).

$$\rho_{\text{[dB]}} = P_{R\text{x}/D\text{L}[\text{dBm}]} - N_{\text{[dBm]}} + G_{P[\text{dB}]} \quad (2.29)$$

$$E_b/N_{0[\text{dB}]} = E_c/N_{0[\text{dB}]} + G_{P[\text{dB}]} \quad (2.30)$$

Для HSDPA значення **пропускної здатності** у функції SINR для 5, 10 і 15 кодів HS-PDSCH розраховуються з урахуванням функцій, отриманих поліноміальною інтерполяцією на рисунку 2.2. Ці функції виведено на результатах роботи [16], наведених на рисунку 2.2. Вважається, що користувач використовує категорію 10 MT, маючи можливість отримати всі 15 кодів. Незважаючи на те, що результати, представлені на рисунку 2.2, відносяться до 15 кодів HS-PDSCH, ці значення були наближені для 14 кодів HSPDSCH, оскільки немає доступних симуляцій щодо останньої кількості кодів.

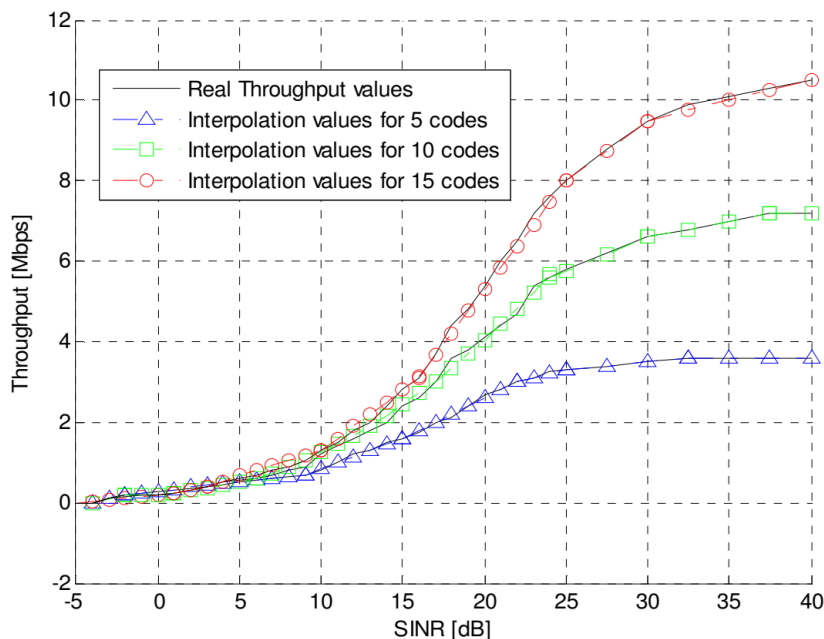


Рисунок 2.2 - Пропускна здатність HSDPA як функція SINR.

Значення пропускної здатності у функції SINR (2.30) визначається (2.20), (2.31) і (2.32) для 5, 10 і 15 кодів HSPDSCH

$$TP_{P[\text{Mbps}]} = \begin{cases} 0.0464 \times \rho_{[\text{dB}]} + 0.2828, & 5 \leq \rho_{[\text{dB}]} \leq 9 \\ 0.15 \times \rho_{[\text{dB}]} - 0.65, & 9 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 15 \\ 0.2 \times \rho_{[\text{dB}]} - 1.4, & 15 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 22 \\ 0.1 \times \rho_{[\text{dB}]} + 0.8, & 22 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 25 \\ 0.04 \times \rho_{[\text{dB}]} + 2.3, & 25 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 32.5 \\ 3.6, & \rho_{[\text{dB}]} > 32.5 \end{cases}$$

відповідно.

$$TP_{P[\text{Mbps}]} = \begin{cases} 0.076 \times \rho_{[\text{dB}]} + 0.144, & 5 \leq \rho_{[\text{dB}]} \leq 6 \\ 0.0085 \times \rho_{[\text{dB}]}^2 + 0.0271 \times \rho_{[\text{dB}]} + 0.1141, & 6 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 24 \\ 0.1667 \times \rho_{[\text{dB}]} + 1.599, & 24 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 30 \\ 0.08 \times \rho_{[\text{dB}]} + 4.2, & 30 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 37.5 \\ 7.2, & \rho_{[\text{dB}]} > 37.5 \end{cases} \quad (2.31)$$

$$TP_{P[\text{Mbps}]} = \begin{cases} 0.1296 \times \rho_{[\text{dB}]} + 0.014, & 5 \leq \rho_{[\text{dB}]} \leq 10 \\ 0.3 \times \rho_{[\text{dB}]} - 1.7, & 10 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 16 \\ 0.54 \times \rho_{[\text{dB}]} - 5.5, & 16 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 25 \\ 0.3 \times \rho_{[\text{dB}]} + 0.5, & 25 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 30 \\ 0.1 \times \rho_{[\text{dB}]} + 6.5, & 30 < \rho_{[\text{dB}]} \leq 35.8 \\ 10.08, & \rho_{[\text{dB}]} > 35.8 \end{cases} \quad (2.32)$$

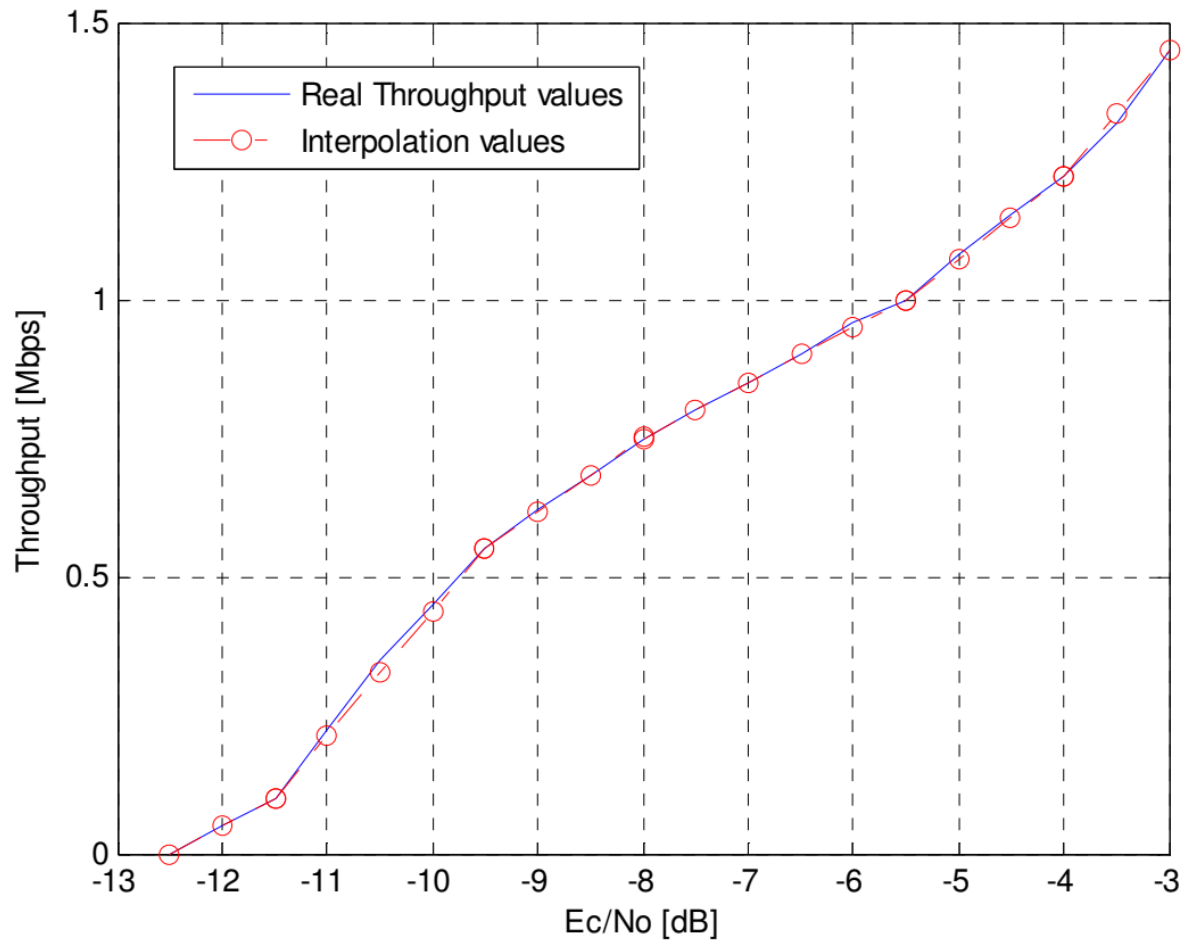


Рисунок 2.3 Пропускна здатність HSUPA як функція E_c/N_0

2.3 Розробка програмної моделі

Для покращення оцінки втрат на шляху, модель розглядає додаткові параметри для опису міського середовища, а саме висоту будівель, ширину доріг, поділ будівель та орієнтацію доріг щодо прямого радіошляху (ϕ), як показано на рисунку 2.4 і рисунку 2.5. Оцінка моделі базується на вимірюваннях у європейських містах.

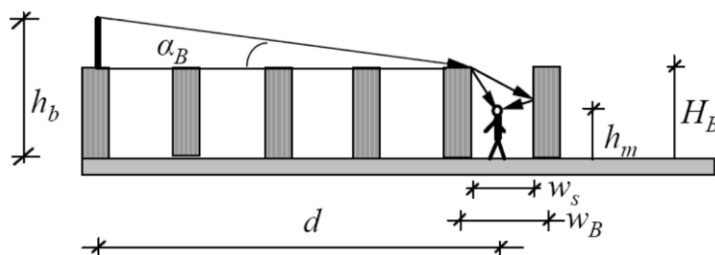


Рисунок 2.4 Визначення параметрів, що використовуються в моделі COST231 W-I в міському середовищі

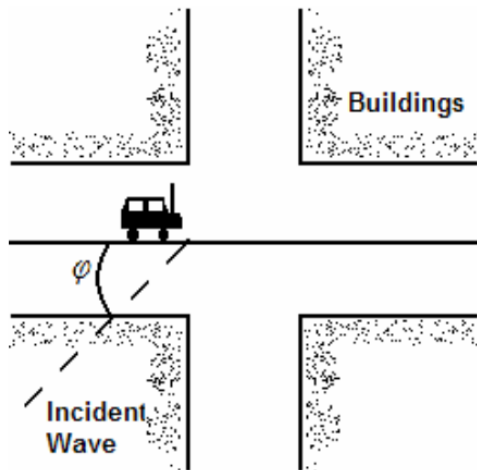


Рисунок 2.5 - Визначення кута орієнтації вулиці ϕ

Наявність LoS або NLoS на шляху поширення враховується моделлю. У ситуації LoS ($\phi = 0$), між базовою та мобільною антенами в сценарії вулиці, застосовується проста формула втрат при поширенні (2.31), яка базується на вимірюваннях, проведених у місті Стокгольм, [18].

$$L_{p[\text{dB}]} = 42.6 + 26\log(d_{[\text{km}]}) + 20\log(f_{[\text{MHz}]}) , \quad d > 0.02 \text{ km} \quad (2.31)$$

Вираз (2.31) відрізняється від рівняння втрат вільного простору, яке задається формулою (2.32), і для 20 м приймає значення 42,6, що пояснює це значення в (2.31).

$$L_{0[\text{dB}]} = 32.4 + 20\log(d_{[\text{km}]}) + 20\log(f_{[\text{MHz}]}) \quad (2.32)$$

Для поширення NLoS втрати розраховуються за допомогою (2.33) і складаються з трьох доданків: втрати вільного простору, дифракція від даху до вулиці та втрати розсіювання L_{rm} та багаторазові втрати на екрані L_{rt} .

$$L_{p[\text{dB}]} = \begin{cases} L_{0[\text{dB}]} + L_{rt[\text{dB}]} + L_{rm[\text{dB}]}, & L_{rt} + L_{rm} > 0 \\ L_{0[\text{dB}]} & , \quad L_{rt} + L_{rm} \leq 0 \end{cases} \quad (2.33)$$

Термін L_{rm} в основному описує втрату між останнім дахом і МТ. Орієнтація вулиці та її ширина враховуються для розрахунку цього параметра, який в основному базується на моделі Ікегамі. Однак, на відміну від Ікегамі (2.34), у COST 231 W-I застосовується інша функція орієнтації на вулицю.

$$L_{rm[\text{dB}]} = -16.9 - 10\log(w_{s[\text{Km}]}) + 10\log(f_{[\text{MHz}]}) + 20\log(H_{B[\text{m}]} - h_{m[\text{m}]}) + L_{ori[\text{dB}]} \quad (2.34)$$

де w_s - ширина вулиці;

H_B - висота будівель;

h_m - висота мобільного терміналу;

L_{ori} - втрата орієнтації на вулиці (2.35):

$$L_{ori[\text{dB}]} = \begin{cases} -10.0 + 0.354\varphi_{[^\circ]}, & 0^\circ < \varphi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\varphi_{[^\circ]} - 35), & 35^\circ \leq \varphi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\varphi_{[^\circ]} - 55), & 55^\circ \leq \varphi < 90^\circ \end{cases} \quad (2.35)$$

Хоча оригінальна модель Вальфіша і Бертоні діє у випадку, коли антена базової станції розташована над дахами, COST 231 розширює цю модель для висоти антен базової станції нижче рівня дахів, використовуючи емпіричну функцію, засновану на вимірюваннях. Висоти будівель та їх просторові поділи разом із прямим радіоканалом моделюються за допомогою поглинаючих екранів для визначення L_{rt} (2.36), що в основному описує втрати між антенами BS та останнім дахом перед МТ.

$$L_{rt[\text{dB}]} = L_{bsh[\text{dB}]} + k_a + k_d \log(d_{[\text{km}]}) + k_f \log(f_{[\text{MHz}]}) - 9\log(w_{B[\text{m}]}) \quad (2.36)$$

де w_B - відстань між середніми точками сусідніх будівель;

L_{bsh} - втрати через те, що антени BS знаходяться вище або нижче рівня даху:

$$L_{bsh[dB]} = \begin{cases} -18 \log(h_{b[m]} - H_{B[m]} + 1), & h_b > H_B \\ 0 & , h_b \leq H_B \end{cases} \quad (2.37)$$

де h_b - висота BS;

k_a - збільшення втрат на трасі для антен БС під дахами суміжних будівель:

$$k_a = \begin{cases} 54 & , h_b > H_B \\ 54 - 0.8(h_{b[m]} - H_{B[m]}) & , d \geq 0.5 \text{ km} \\ 54 - 1.6(h_{b[m]} - H_{B[m]})d_{[km]} & , d < 0.5 \text{ km} \end{cases} \Bigg\} h_b \leq H_B \quad (2.38)$$

K_d - залежність втрат дифракції на кількох екранах від відстані:

$$k_d = \begin{cases} 18 & , h_b > H_B \\ 18 - 15 \frac{h_{b[m]} - H_{B[m]}}{H_{B[m]}} & , h_b \leq H_B \end{cases} \quad (2.39)$$

K_f - залежність втрат на багатоекранну дифракцію від частоти;

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7 \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right), \\ -4 + 1.5 \left(\frac{f_{[MHz]}}{925} - 1 \right), \end{cases} \quad (2.40)$$

Вираз в верхньому рядку (2.40) використовується у випадку міської та приміської забудови, а другий – щільної міської забудови.

Висновки до розділу: в розділі проведено розробку математичної моделі каналів передачі даних з метою визначення основних їх показників. Ці моделі будуть використовуватись для моделювання роботи системи пакетної передачі даних.

РОЗДІЛ 3 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПАКЕТНОЇ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ HSPA

3.1 Сценарії моделювання

Оскільки основною метою цієї роботи є дослідження пропускну здатності UMTS/HSPA+, було розроблено набір сценаріїв моделювання. Зважаючи на це, було обрано сценарій за замовчуванням, за яким виконується варіація параметрів і порівняння. Параметри системи та MIMO, що розглядаються для сценарію за замовчуванням, представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Система сценарію за замовчуванням і параметри MIMO

Параметр	Значення
Конфігурація MIMO (Tx-Rx)	4×4
Відстань між антенами (BS-MT)	λ - λ
Детектор	МЛ
Система	HSPA+ з 16QAM (DL/UL)
Цільовий показник BER [%]	10
Цільове SNR [дБ]	15

HSPA+ використовується як система за замовчуванням з використанням 16QAM для DL та UL, оскільки це модуляція, для якої є більше доступної інформації.

Незважаючи на те, що тільки MIMO 2×2 був стандартизований у релізі 7, для сценарію за замовчуванням розглянутою конфігурацію 4×4, оскільки SNR і ефекти зміни відстані антени лише розглядається для цієї конфігурації.

Цільове значення SNR, яке використовується для цих симуляцій, становить 15 дБ, що гарантує, що буде виявлено значний відсоток сигналів для всіх конфігурацій MIMO. Іншими словами, щодо конфігурації 4×2 та детектора, можна помітити, що якщо розглядати меншу цільову оцінку SNR,

наприклад, 12,2 дБ, сигнали MIMO ніколи не будуть виявлені, коли ця ціль буде досягнута. Оскільки вони мали б BER більше ніж 10 %; таким чином, SNR 15 дБ дає належний запас для уникнення цієї ситуації і робить можливим аналіз і порівняння для всіх доступних конфігурацій MIMO.

В основі значень і параметрів решти параметрів за замовчуванням лежить ідея найкращого сценарію, тобто системи, що працює з некорельованими сигналами, використовує найкращий доступний детектор, з досконалим знанням каналу та з такою ж потужністю, призначеною для кожної антени як для системи SISO. Для сценарію за замовчуванням параметри, що використовуються для розрахунку бюджету посилення, є параметрами, встановленими за замовчуванням у симуляторі, таблиця 3.2.

Щоб підкреслити вплив різних параметрів MIMO, перший набір моделювання має на меті представити ідеальні системи, сценарії за замовчуванням для DL та UL, які, як очікується, будуть верхніми межами з точки зору пропускної здатності. Для HSPA+ DL з 64QAM має бути вища пропускна здатність, хоча це не вважається сценарієм за замовчуванням, оскільки для цієї конкретної системи визначено лише детектор 2×2 .

Таблиця 3.2 Значення за замовчуванням у розрахунку бюджету посилення.

Параметр	BS	MT
Потужність передачі [дБм]	44,7	24
Підсилення антени [дБі]	17	0
Висота [м]	26	1.8
Висота будівель [м]	24	
Ширина вулиці [м]	15	
Ширина між	30	

центрами будівель [м]				
Втрати користувач а [дБ]	1			
Втрати в кабелі [дБ]	3			
Стандартне відхилення Релея [дБ]	10			
Гауссове стандартне відхилення [дБ]	7			
	DL		UL	
Потужність сигналізації та керування [%]	R9	HSDPA/HSP	R9	HSUPA/HSP
	9	A+	9	A+
	25	6	0	13
Частота [МГц]	2117,8		1927,8	
Показник шуму [дБ]	8		6	
Інтервал моделюван ня [м]	Пікостільник		Мікростільник	
	10 - 60		60 - 600	

Після представлення сценарію за замовчуванням було виконано другий набір симуляцій, змінюючи системи в межах різних типів стільників, таким чином забезпечуючи тенденції зміни пропускної здатності залежно від відстані та забезпечуючи порівняння між різними системами, при цьому аналіз виконувався окремо для DL та UL. Аналіз макростільників не проводиться, оскільки відсоток виявлення дуже низький, що призводить до неточних і неадекватних висновків. Головна мета попереднього аналізу – показати,

наскільки MIMO міг би покращити попередні релізи, і вибрати системи з кращою продуктивністю для DL та UL.

Для цих систем було проведено моделювання для DL і UL, змінюючи доступні конфігурації MIMO, з метою оцінити відносний вплив, з точки зору пропускної здатності та покриття, використання різних конфігурацій антен. Подальша оцінка впливу використання різних відстаней між антенами, різних детекторів і різних варіантів живлення антени проводиться для цих систем, тобто HSPA+ DL та UL.

Для цього проведемо набір симуляцій, змінюючи зазначені параметри для різних типів клітин. Для різної відстані між антенами та різними детекторами аналіз можливий лише для конфігурації 4×4 через відсутність результатів для інших конфігурацій; тому для DL HSPA+ з 64QAM аналіз не виконується.

Крім того, виконується порівняння продуктивності DL та UL щодо попереднього аналізу, тобто порівняння впливу кожного параметра в DL з його впливом в UL. Останній набір моделювання призначений для оцінки альтернативних показників для UL, враховуючи використання TMA та/або рознесення прийому.

Зміна пропускної здатності залежно від відстані у сценарії піко-стільника для HSPA+ DL з використанням 16QAM представлена на рисунку 3.1, при цьому пропускна здатність збільшується приблизно з 20,5 до 29,5 Мбіт/с в області від 10 до 40 м, після чого вона зменшується. Це збільшення пропускної здатності узгоджується з моделлю RMG і може бути пояснено збільшенням кількості MPC і декореляцією між ними, оскільки відстань, яку проходять сигнали, вища, а також ймовірність мати більше розсіювачів у межах цього діапазону, таким чином, що призводить до вищих значень RMG.

Оскільки покращення DL, внесені HSPA+ для 16QAM, вимагають нижчого SNR для передачі з максимальною швидкістю бітів, ніж SNR, необхідний для HSDPA, цільове значення SNR, що використовується для цих симуляцій становив 15 дБ замість 35,8 дБ, що використовується для HSDPA з

15 кодами. Це пояснює той факт, що пропускна здатність SISO демонструє приблизно постійну поведінку навіть у сценарії мікростільників, при цьому її значення становить приблизно 8,4 Мбіт/с.

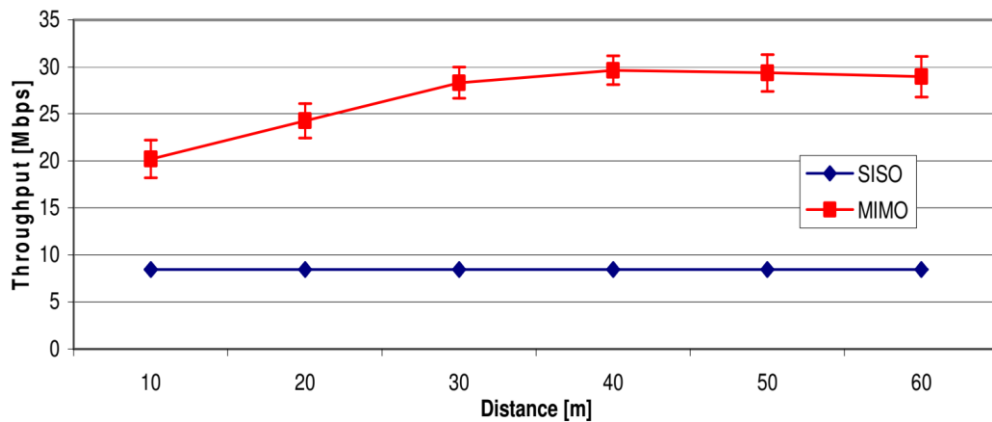


Рисунок 3.1 - Пропускна здатність залежно від відстані для DL у сценарії пікостільника

На рисунку 3.2 показано, що пропускна здатність у сценарії мікростільників зменшується з приблизно 29,5 до приблизно 20 Мбіт/с. Це зменшення пояснюється зменшенням потужності сигналу MPC, оскільки кожен раз, коли сигнал відбивається, він втрачає частину своєї потужності, отже, зменшується значення RMG через меншу кількість MPC, які досягають приймальних антен з достатнім SNR забезпечувати високі швидкості передачі даних або навіть бути виявленими.

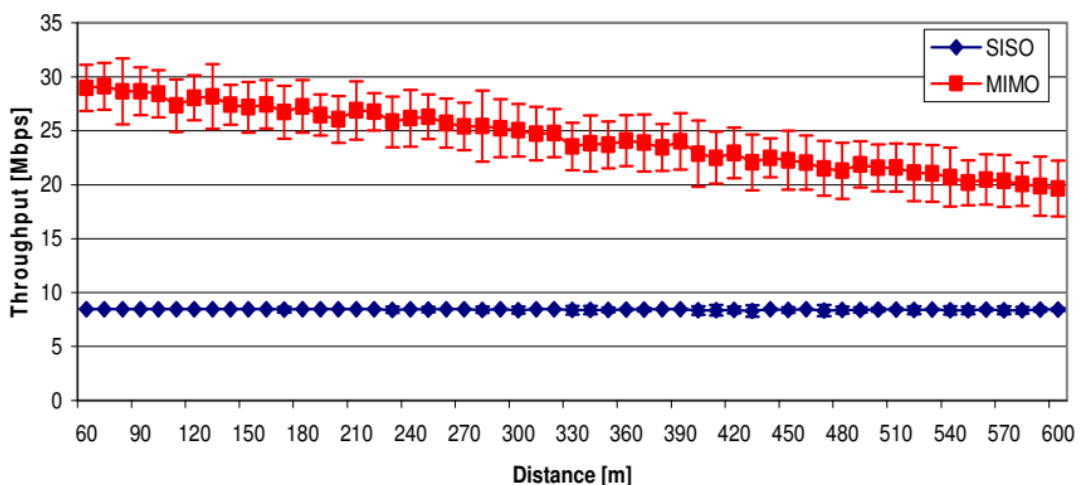


Рисунок 3.2 - Пропускна здатність залежно від відстані для DL у сценарії мікростільників

Крім того, з рисунків 3.1 і 3.2 можна помітити, що стандартне відхилення є постійною поведінкою, таким чином підтверджуючи результати для всіх представлених відстаней. Незважаючи на те, що для досягнення вищої пропускної здатності в порівнянні з HSDPA необхідний нижчий SNR, слід підкреслити, що результати стосуються ситуації одного користувача, де всі ресурси розподіляються на нього і не виконується диференціація послуг, отже, дозволяє передавати ту саму пропускну здатність до краю сценарію мікростільника (600 м), що не є точною картиною реальності.

Крім того, представлена пропускна здатність є середнім значенням пропускної здатності виявлених сигналів, таким чином, передбачається, що немає повторних передач через надмірний BER. Однак при аналізі середній відсоток виявлення результатів моделювання можна помітити, що ця пропускна здатність не є справедливим відображенням результатів, оскільки більші відстані пов'язані з меншими відсотками виявлення, рисунок 3.3.

Щоб представити більш надійні результати пропускної здатності, «остаточна» пропускна здатність програми розраховується з урахуванням обох результатів, середньої змодельованої пропускної здатності та відсотку виявлення. Отримана пропускна здатність є такою, якою показано на рисунку 3.4. Зміни пропускної здатності перевіряються лише для сценарію мікростільників, оскільки, як можна помітити на рисунку 3.3, у сценарії пікостільників сигнали завжди виявляються.

Можна помітити, що нові результати пропускної здатності, які враховують повторні передачі, представляють на краю мікростільника пропускну здатність менше 2,5 Мбіт/с для ситуації MIMO і менше 1 Мбіт/с для ситуації SISO. З цими новими результатами, які представляють реальність точніше, оскільки, якщо сигнал не передається (виявлено), його потрібно повторно передати, отже, з використанням ресурсів і, отже, знижуючи кінцеву пропускну здатність.

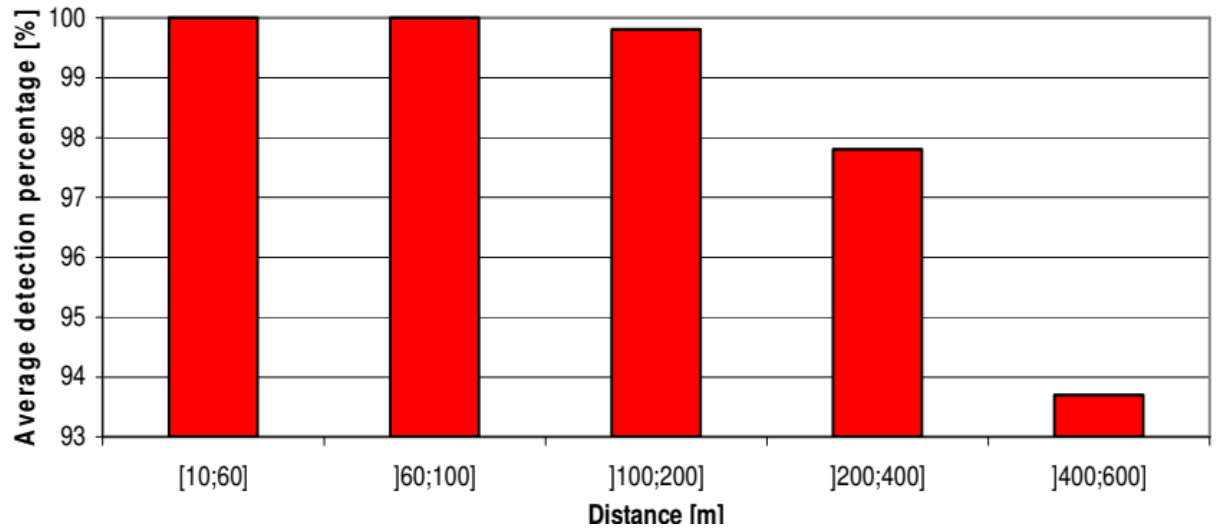


Рисунок 3.3 - Середній відсоток виявлення для сценарію DL за замовчуванням

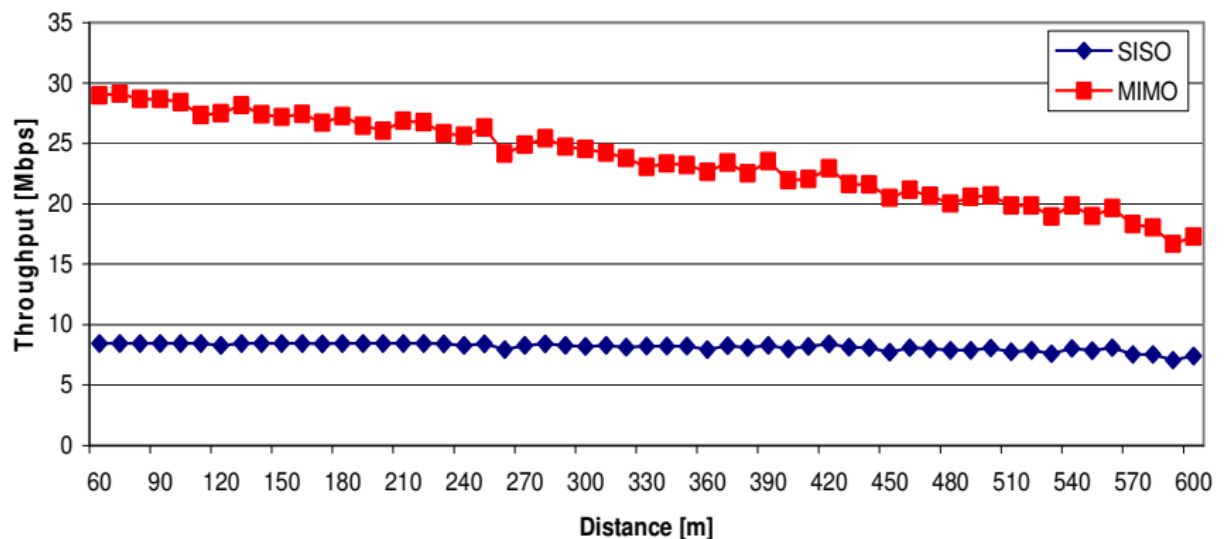


Рисунок 3.4 - Остаточна пропускна здатність сценарію DL у сценарії мікростільників

Розглянемо результати впливу MIMO на різні розглянуті системи, тобто від релізу 99 до релізу 8. Для кожної системи аналізується збільшення пропускної здатності через MIMO для сценаріїв піко- та мікростільників щодо конфігурації 4×4 MIMO для узгодженості зі сценарієм за замовчуванням, що дозволяє порівнювати продуктивність.

Що стосується HSDPA, то дослідження MIMO проводилося для кожної кількості кодів HS-PDSCH, а саме 5, 10 і 15. HSPA+ з використанням 64QAM також представлено тут, однак розглядається система 4×4 MIMO, незважаючи на те, що передбачається, що використання MIMO спільно з 64QAM буде стандартизовано лише у релізі 8 для конфігурації 2×2. Слід зазначити, що для цієї системи існує лише один детектор, тобто 2×2; отже, отримані результати дещо нижчі, ніж якби замість нього використовувався відповідний детектор, оскільки, загалом, нижчі BER пов'язані з вищою антенною конфігурацією.

Більше того, з тієї ж причини, що й для сценарію за замовчуванням, для релізу 99 був використаний цільовий SNR 10 дБ, що вище, ніж необхідний для досягнення максимальної пропускної здатності. Для інших розглянутих систем не було потреби в цьому.

Результати моделювання зміни пропускної здатності залежно від відстані для різних розглянутих систем для сценаріїв піко- та мікростільників представлені на рисунку 3.5.

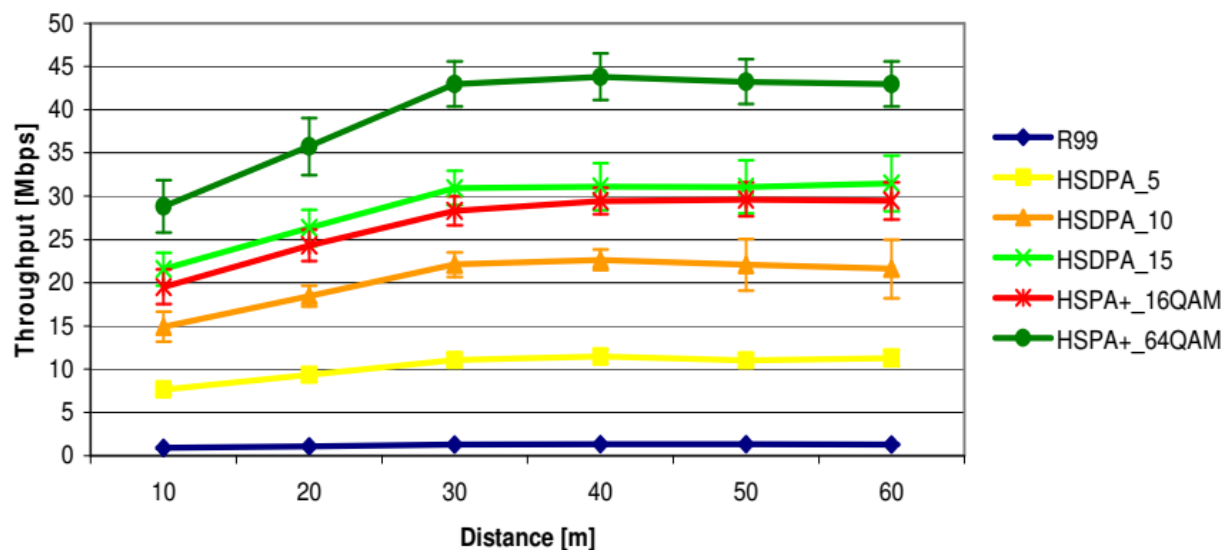


Рисунок 3.5 - Залежність пропускної здатності DL від відстані для різних систем і 4×4 MIMO у сценарії пікостільників

Як і очікувалося, система з кращою продуктивністю - це HSPA+ з 64QAM, а система з найгіршою продуктивністю - це реліз 99, а інші криві вписуються між цими двома. Однак ці результати не враховують відсотки

виявлення, представлені на рисунку 3.6, пов'язані з кожною системою для кожної відстані. Таким чином, подібно до того, що було зроблено раніше, остаточна пропускна здатність, яка враховує можливі повторні передачі, представлена на рисунку 3.7, який демонструє дещо нижчу пропускну здатність через менший відсоток виявлення, властивий кожній системі.

Необхідно відмітити, що кінцеві результати пропускної здатності відрізняються лише для сценарію мікростільників, оскільки, як можна помітити з рисунка 3.6, середній відсоток виявлення для відстаней до 100 м становить 100 %, таким чином, включаючи сценарій піко стільників.

Аналіз графіків показує, що відсоток виявлення для HSDPA і HSPA+ 16QAM дуже схожий, оскільки ці системи використовують однакову модуляцію, отже, один і той же детектор. Невеликі варіації властиві випадковості симулятора. Як згадувалося раніше, модуляцією, яка використовується для DL у релізі 99, є QPSK, який, будучи більш надійним, ніж 16QAM, пов'язаний з детектором, який представляє нижчі BER для того ж SNR і, як наслідок, більший відсоток виявлення. Щодо HSPA+ з 64QAM, ситуація протилежна релізу 99, оскільки 64QAM є більш вимогливою до модуляції, отже, має детектор, який представляє вищі коефіцієнти BER для того самого значення SNR, а отже, і найгірший відсоток виявлення.

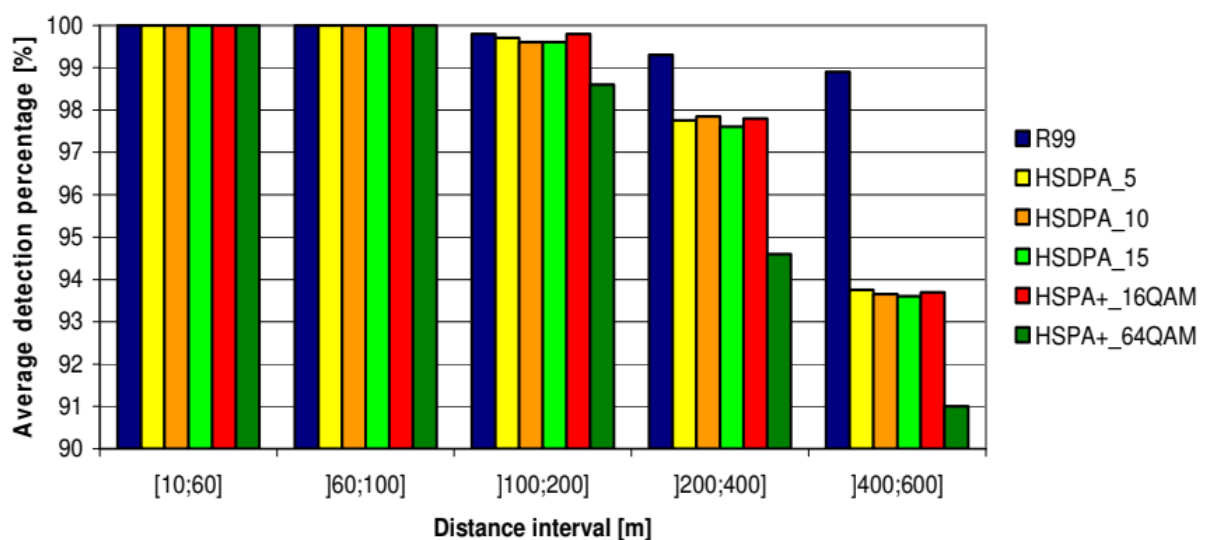


Рисунок 3.6 - Середній відсоток виявлення для різних систем DL з 4×4 MIMO

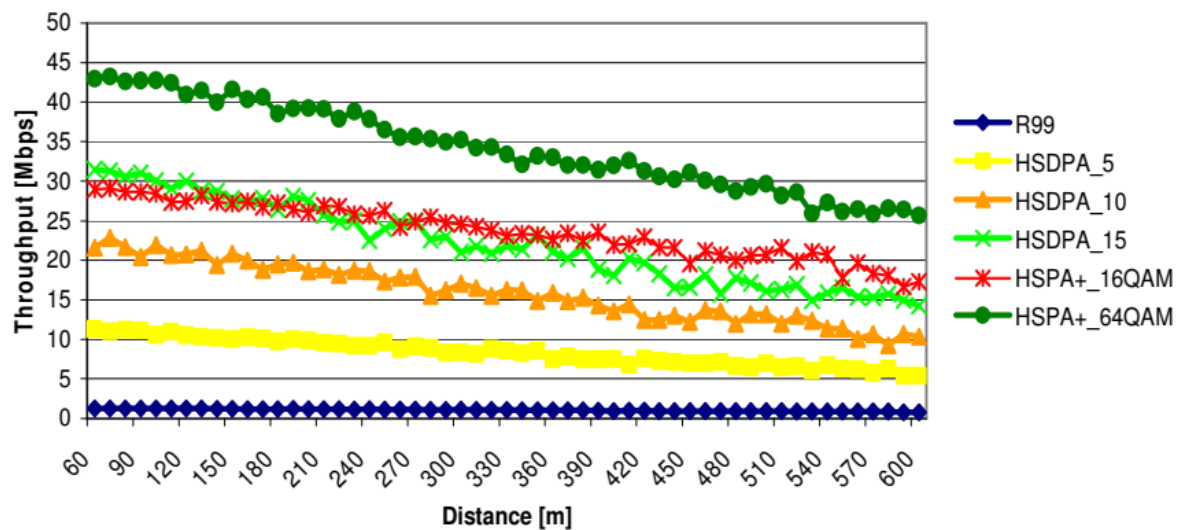


Рисунок 3.7 - Кінцева пропускна здатність DL у сценарії мікростільників для різних систем

Аналізуючи значення, досягнуті використанням конфігурації 4×4 поверх релізу 99, рисунок 3.5, можна помітити, що в сценарії піко-стільника відбувається збільшення пропускної здатності з 10 до 40 м приблизно від 0,9 до 1,3 Мбіт/с, тоді як у мікростільнику, рисунок 3.7, пропускна здатність зменшується в межах усієї комірки з 1,3 до приблизно 0,8 Мбіт/с. Можна помітити, що навіть максимальна досягнута швидкість передачі даних для релізу 99 за допомогою 4×4 нижча за пропускну здатність, яку може досягти HSDPA SISO лише з 5 кодами. Таким чином, використання MIMO разом із релізом 99 не буде приносити значних покращень продуктивності.

Оскільки RMG є саме тим, що впливає з назви, відносним посиленням MIMO, при застосуванні MIMO до HSDPA посилення MIMO таке ж, як і для релізу 99, хоча в зовсім іншому масштабі; наприклад, якщо значення RMG дорівнює 2, у Релізі 99 це призведе до збільшення пропускної здатності на 384 кбіт/с (насправді менше через BER), з іншого боку, якщо враховувати те саме значення RMG для HSDPA, навіть із 5 кодами, збільшення пропускної спроможності становить приблизно 3 Мбіт/с, отже, має набагато більший вплив на мережу та збільшує діапазон та QoS послуг, які може запитати користувач.

Що стосується HSDPA з кодами 5 і 10, то кінцева пропускна здатність з відстанню дуже подібна, з основною відмінністю в термінах швидкості передачі даних, яка значно нижча в першому, рисунку 3.5 і рисунку 3.7. У сценарії піко-стільника пропускна здатність збільшується приблизно з 7,5 до 11,3 Мбіт/с для HSDPA з 5 кодами, тоді як для 10 кодів HS-PDSCH збільшення становить приблизно від 15 до 21,6 Мбіт/с.

Ці кроки становлять від 10 до приблизно 40 м, стаючи приблизно постійними до кінця піко-стільника для системи з 5 кодами і дещо зменшуються приблизно на 1 Мбіт/с для ситуації з 10 кодами. На відміну від пікостільника, в мікростільнику відбувається остаточне зниження пропускної здатності в усьому діапазоні стільників приблизно від 11,3 до 5,5 Мбіт/с і від 21,6 до 10,3 Мбіт/с для HSDPA з 5 і 10 кодами відповідно. В рамках сценарію мікростільників кінцеве зниження пропускної здатності не демонструє такої ж поведінки для HSDPA з 5 і 10 кодами, причому однією з причин цього є той факт, що для системи з 10 кодами SNR, необхідна для передачі з більшою пропускною здатністю, вища, ніж для системи з 5 кодами; таким чином, пропускна здатність починає зменшуватися з найбільш крутим нахилом, ніж для системи з 5 кодами, оскільки для більших відстаней важче задовольнити вимоги SNR для високої пропускної здатності.

Крім того, слід мати на увазі, що для кожної кількості кодів для HSDPA є пов'язана крива пропускної здатності проти SINR, і чим більше кодів, тим вище нахил кривих.

Незважаючи на те, що MIMO не був стандартизований для використання з HSDPA, використання MIMO на додаток до цієї технології, зокрема, при використанні 15 кодів, призводить до високої швидкості передачі даних у порівнянні з релізом 99. Наприклад, за допомогою MIMO 4×4 можна отримати близько 32 Мбіт/с, на рівні додатків, у сценарії піко-стільників, рисунок 3.5.

Однак слід зазначити, що для досягнення цієї пропускної здатності необхідний SNR є дуже високим, його мінімальне значення становить 35,8 дБ. Завдяки цьому можна спостерігати невелику різницю в максимальній

пропускній здатності, досягнутої при моделюванні за допомогою HSDPA з 15 кодами та HSPA+ DL 16QAM, оскільки цільове значення SNR, використане для останнього, становило 15 дБ.

Як відомо, BER для більш високого SNR нижчий, таким чином, що призводить до вищої пропускної здатності програми. У сценарії пікостільників, використовуючи всю доступну потужність, БС вдається досягти необхідного значення SNR, однак, якщо зосередитися на сценарії мікростільників, рисунок 3.7, ситуація зовсім інша, з кінцевою пропускною здатністю швидко зменшується для HSDPA, тоді як для HSPA+ зниження відбувається плавніше.

Попередні відмінності, через цільове значення SNR, були на користь HSDPA, хоча зі збільшенням відстані ситуація змінюється, оскільки HSPA+ вимагає меншого SNR для досягнення максимальної пропускної здатності. У рамках сценарію пікостільників для 15 кодів, HSDPA демонструє збільшення пропускної здатності з 10 до 40 м приблизно від 21,5 до 31,6 Мбіт/с, тоді як для HSPA+ 16QAM це збільшення становить від 19,5 до 29,5 Мбіт/с, отже, різниця пропускної здатності може бути приблизно на 2 Мбіт/с нижче в HSPA+.

Якщо розглядати сценарій мікростільників, ситуація починає змінюватися приблизно на 200 м, а пропускна здатність HSPA+ тепер має вищі значення, рисунок 3.7. Швидкість передачі даних у сценарії мікростільників зменшується для обох систем, хоча амплітуда цього зниження значно вище для HSDPA, яка коливається від 31,5 до 14,3 Мбіт/с, тоді як для HSPA+ вона коливається приблизно від 29,5 до 17,6 Мбіт/с. Ці результати узгоджуються з попереднім поясненням зміни пропускної здатності для цих двох систем.

Стосовно HSPA+ з 64QAM, кінцева пропускна здатність у сценарії пікостільника, рисунок 3.5, подібно до попередніх систем, збільшується з 10 до приблизно 40 м з 28,8 до 43,8 Мбіт/с, при цьому спостерігається незначне зниження на 0,8 Мбіт/с з 40 м до кінця стільника. У сценарії мікростільника пропускна здатність зменшується від початку до кінця стільника, при цьому

значення коливаються від 43 до 26,6 Мбіт/с. Слід відмітити, що пікова швидкість передачі даних при використанні 4×4 MIMO (у найкращому сценарії MIMO BER) лише приблизно на 1 Мбіт/с вище теоретичної очікуваної швидкості передачі даних (42 Мбіт/с) для використання 2×2 MIMO поверх 64QAM [21], отже, 2×2 MIMO, швидше за все, матиме максимальну пропускну здатність порядку 20 Мбіт/с.

Слід зазначити, що пропускну здатність MIMO має плавні варіації для всіх систем, що можна спостерігати особливо в сценарії мікростільників, пов'язаних з неявною випадковістю моделі RMG. Більше того, зміни для HSDPA з 15 кодами є більш інтенсивними приблизно через 180 м через те, що система в деяких ситуаціях здатна задовольняти більшим SNR, отже, досягаючи, більшої пропускну здатності. Для цієї системи незначна зміна SNR може призвести до значних змін у пропускну здатності.

3.2 Дослідження впливу конфігурації MIMO

Основою системи MIMO є використання декількох антен на передавачі і приймачі з можливістю мати симетричну або асиметричну конфігурацію, тобто різну кількість антен, що передають і приймають. Як зазначалося раніше розглянемо лише чотири конфігурації, оскільки вони, є тими, які найімовірніше будуть реалізовані, тому варто вивчити. У цьому дослідженні порівняємо конфігурації MIMO для системи за замовчуванням, а результати SISO також представлені для порівняння. Зміна пропускну здатності з відстанню в сценарії піко-стільників для HSPA+ DL з використанням 16QAM представлена на рисунку 3.8, що стосується всіх доступних конфігурацій MIMO. Оскільки раніше вже було показано вплив 4×4 MIMO на HSPA+ з 64QAM, для порівняння, доцільним є виконання моделювання для HSPA+ з 64QAM щодо інших конфігурацій антен. Однак, щоб уникнути більшої кількості помилок, через відсутність результатів, моделювання проводилося лише для конфігурації 2×2 , оскільки це та, для якої є відповідний детектор. Результати цих симуляцій для сценарію пікостільників наведені на рисунку 3.8

разом з результатами HSPA+ 16QAM, що дозволяє краще візуально порівняти. У сценарії пікостільників пропускна здатність, досягнута для HSPA+ 16QAM за допомогою 2×2 , 2×4 і 4×2 MIMO, становить приблизно 13, 14,5 і 13,8 Мбіт/с, що представляє приблизно постійну поведінку через значення для системи SISO будучи також постійною, рисунок 3.8. Однак для конфігурації 4×4 MIMO ситуація інша: пропускна здатність збільшується приблизно з 20,5 до 29,5 Мбіт/с в області від 10 до 40 метрів. Причому така поведінка спостерігається лише для конфігурації 4×4 , оскільки інші конфігурації мають менше переданих сигналів, менше антен для їх виявлення, або і те, і інше, отже, це унеможливорює збільшення пропускної здатності.

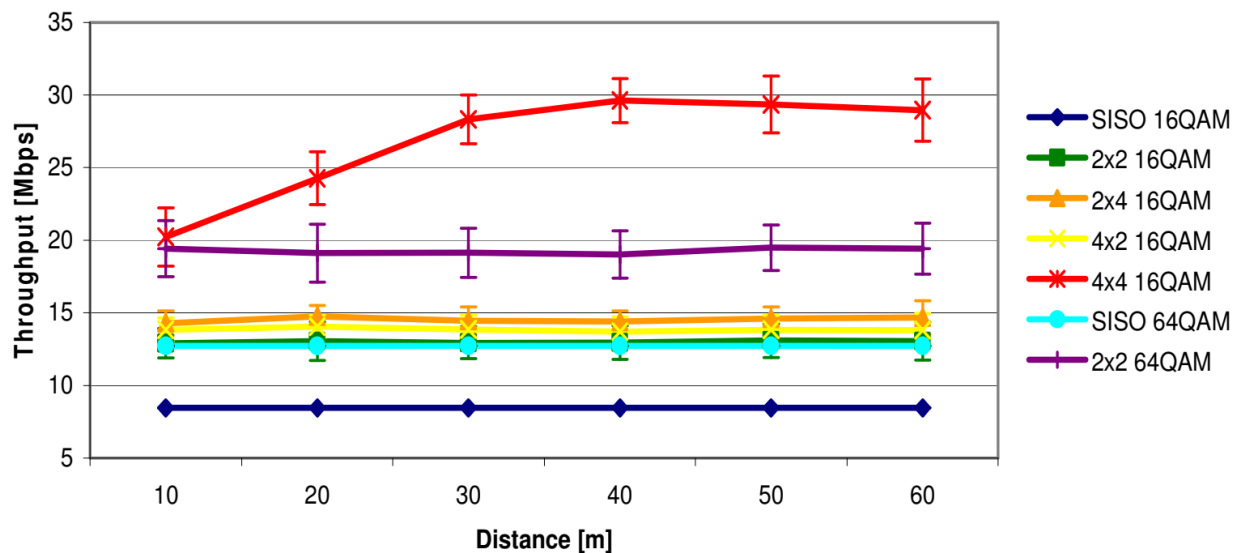


Рисунок 5.8. Залежність пропускної здатності DL від відстані для різних конфігурацій MIMO, застосованих до системи за замовчуванням у сценарії піко-стільників

Слід зазначити, що причина того, що пропускна здатність для конфігурації 4×2 трохи нижча за пропускну здатність для конфігурації 2×4 , полягає в тому, що для першого детектор демонструє вищий коефіцієнт BER для того ж SNR, що призводить до нижчої пропускної здатності або навіть у невиявлених сигналах, оскільки вимоги BER важче виконати. Як наслідок, незважаючи на приблизно однаковий порядок пропускної здатності, конфігурації 2×2 та 2×4 надійніші, ніж 4×2 ; однак для 2×4 потрібні 4 антени на МТ, що є досить складним завданням для невеликого пристрою.

Середня змодельована пропускна здатність SISO для HSPA+ з 16QAM демонструє приблизно постійну поведінку навіть у сценарії мікростільників, таким чином, пропускна здатність 4×4 MIMO для системи за замовчуванням, є точним відображенням моделі RMG. Як наслідок, стосовно конфігурацій 2×2, 2×4 та 4×2, зміна пропускної здатності з відстанню також може вважатися постійною в сценарії мікростільників, при цьому значення будуть такими ж, як і для пікостільників. Що стосується HSPA+ 64QAM, то пропускна здатність у сценарії пікостільників для конфігурації 2×2 має приблизно постійне значення 19,4 Мбіт/с через те, що пропускна здатність SISO також є постійною (близько 12,7 Мбіт/с).

З огляду на це, використання конфігурації 2×2 MIMO зверху HSPA+ з 64QAM дозволяє досягти пропускної здатності, вищої, ніж використання MIMO на HSPA+16QAM, за винятком конфігурації 4×4 MIMO, яка може забезпечити до 10 Мбіт/с більше, ніж HSPA+ з 64QAM і 2×2 MIMO. Крім того, використання конфігурації 2×2 на HSPA+ 16QAM призводить до пропускної здатності, яку майже можна досягти за допомогою системи HSPA+ 64QAM SISO. Однак слід зазначити, що через те, що розглядається один користувач, і всі ресурси розподіляються йому, при цьому моделюванні дають результати на відстані до 600 м, хоча передача на ці відстані, з модуляцією 64QAM навряд чи відбудеться, оскільки це дуже складна модуляція з точки зору SNR, що стосується границь розділу символів. Що стосується попереднього аналізу, слід зауважити, що аналогічно аналізу змін системи, пов'язаному з кожною конфігурацією антени, є різні характеристики детектора, як наслідок, існують також різні відсотки виявлення, які матимуть певний вплив на кінцеву пропускну здатність.

Крім того, в цьому аналізі змінюється не тільки конфігурація антени, але також аналізується модуляція 64QAM для системи HSPA+ 2×2 MIMO, хоча відсотки виявлення, представлені для цієї конфігурації, такі ж, як і для 4×4, представленої вище, оскільки для цієї модуляції визначено лише один детектор. Виходячи з пропускної здатності, пов'язаної з кожною

конфігурацією антени з урахуванням розірваних з'єднань, на рисунку 3.9 представлені відсотки виявлення, які були використані для обчислення кінцевої пропускної здатності за допомогою (2.12). Оскільки для ситуації SISO визначено лише детектор ML BPSK, вважається, що виявлення SISO обмежене детектором MIMO, тому воно не представлено на рисунку 3.9, оскільки воно дорівнює типовому для 16QAM, а для 64QAM це дорівнює 2×2 64QAM.

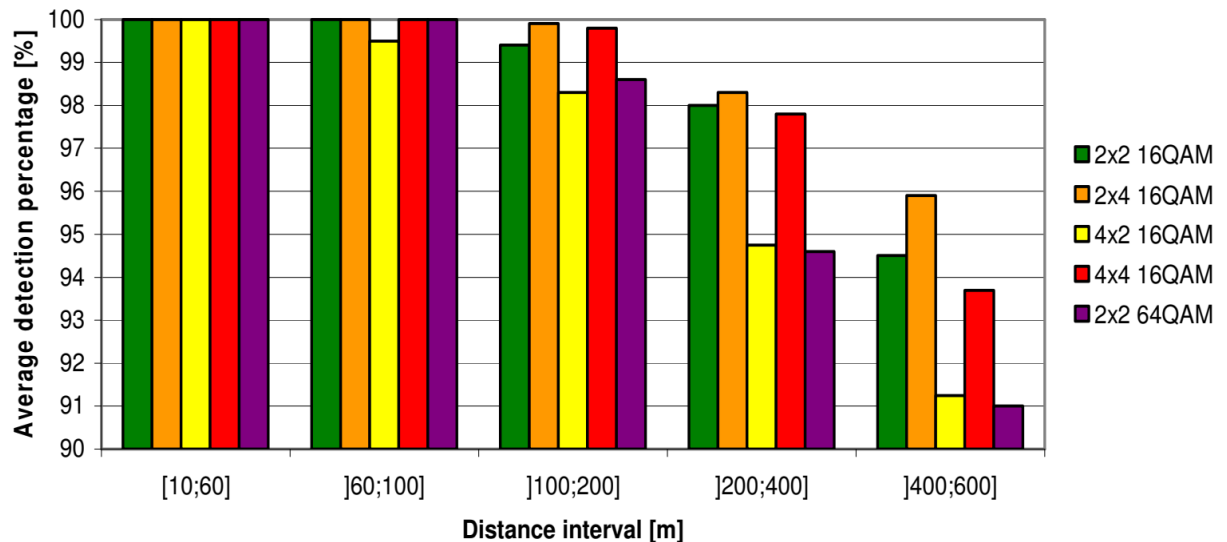


Рисунок 3.9 - Середній відсоток виявлення MIMO для різних конфігурацій антен.

З рисунка 3.9 можна зробити висновок, що всередині пікостільника немає недоліків підключення, отже, кінцева пропускна здатність для цього типу комірок така ж, як показано на рисунку 3.8. Для сценарію мікростільників остаточна пропускна здатність представлена на рисунку 3.10, і можна помітити, що для всіх різних конфігурацій антен спостерігається зниження пропускної здатності.

Як і очікувалося, на рисунку 3.9 найбільше зниження спостерігається для системи 2×2 HSPA+ 64QAM, яка має на кінці стільника менше 1,7 Мбіт/с. Навпаки, менше зниження спостерігається для системи 2×4 HSPA+ 16QAM, яка на кінці стільника має приблизно менше 0,4 Мбіт/с. Що стосується конфігурацій 2×2 та 4×2 для HSPA+ 16QAM, то зменшення на кінці стільника, порівняно з імітованою пропускною здатністю становить приблизно 0,8 та 1,3

Мбіт/с відповідно. Слід відмітити, що ці результати узгоджуються з продуктивністю детекторів.

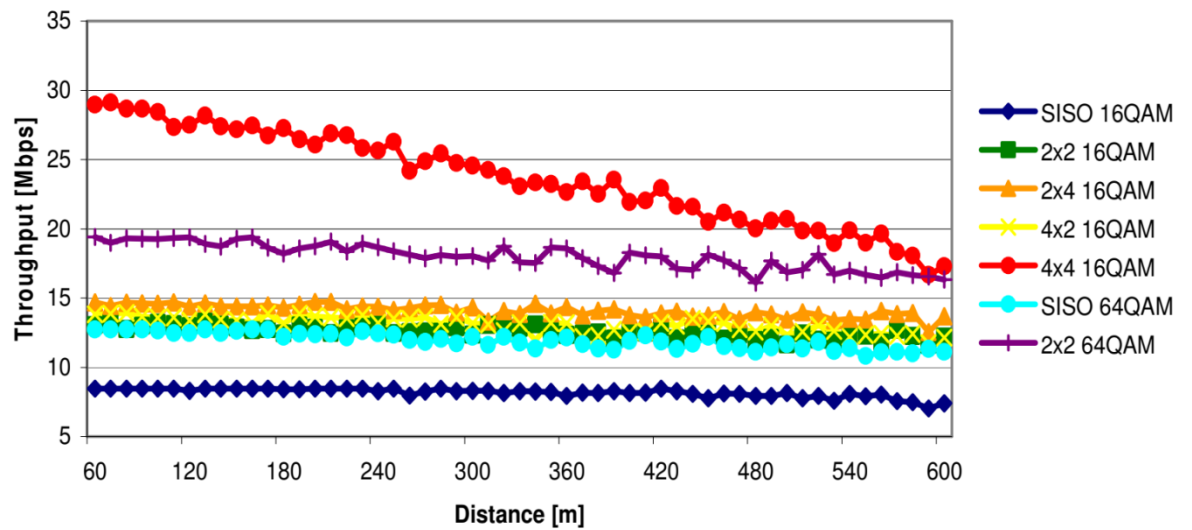


Рисунок 3.10 - Кінцева пропускна здатність DL у сценарії мікроелементів для різних конфігурацій антен

Висновки до розділу: аналіз результатів моделювання показує, що використання більш складної модуляції призводить до суттєвого підвищення швидкості передачі інформації, однак зменшує дальність роботи системи зв'язку. Використання системи MIMO призводить до збільшення дальності роботи та збільшення швидкості передачі інформації.

ВИСНОВКИ

При виконанні роботи було проведено аналіз літературних джерел з метою визначення основних засад технології HSPA та її особливостей впровадження та функціонування, розроблено математичну модель роботи мережі на основі використання HSPA та досліджено роботу мережі із використанням технології HSPA в залежності від зміни основних показників стільника та базової станції мережі.

Метою цієї роботи був аналіз реалізації HSPA+ з точки зору залежності продуктивності систем передачі даних мобільного зв'язку від конфігурації MIMO та розробка моделі зв'язку, яка враховує якомога більше параметрів.

Модель дозволяє розрахувати пропускну здатність SISO і MIMO для певної відстані, враховуючи різні параметри системи, такі як накладні витрати різних рівнів, модуляція, кількість кодів і функцій пропускну здатності, а також специфічні параметри MIMO, такі як різні конфігурації антен, різні детектори, варіація SNR. Вся розрахована пропускна здатність визначена для сценарію одного користувача, що є істотним обмеженням моделі. Тим не менш, модель зв'язку дає хорошу оцінку верхніх меж пропускну здатності, які пов'язані з використанням MIMO.

Досліджено вплив технології MIMO в системах HSDPA і HSUPA і проведено порівняння з HSPA+. Перша група моделювання була виконана для DL і UL, враховуючи HSPA+ з конфігурацією 16QAM і 4×4 MIMO. На цьому етапі також розглядалося використання детектора ML, а також виділеної потужності, тобто такої ж потужності, що використовується для MIMO на кожній антені, що й для SISO. Потім було проведено дослідження пропускну здатності як SISO, так і MIMO для кожного каналу в рамках сценаріїв піко- та мікросітільників.

У сценарії піко-стільників у DL пропускна спроможність збільшується з 20,5 до 29,5 Мбіт/с, а в UL – з 18 до 23 Мбіт/с. Після відстаней, на яких досягається максимальна пропускна здатність, пропускна здатність зменшується до кінця стільника до 1 Мбіт/с для DL і 1,5 Мбіт/с для UL.

Система HSPA+ з 64QAM забезпечує максимальну пропускну здатність у сценарії піко-стільників 43,8 Мбіт/с і має пропускну здатність в кінці мікростільника 26,6 Мбіт/с.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Усач М.М. "Сучасні технології мобільного зв'язку" - Київ: Національний університет "Києво-Могилянська академія", 2019.
2. Климаш М.М., Пелішок В.О., Михайленіч П.М. Технології безпроводного зв'язку. – Львів, 2007. – 818с.
3. Варфоломєєва О.Г. "Проблеми злиття стаціонарних та мобільних комунікацій". – Харків: Харківський національний університет, 2020. – 342с.
4. Блаженний М.В. "Розвиток технологій мобільного зв'язку в Україні". – Київ: Національний технічний університет України, 2021. – 456с.
5. Петраков О.М. "Основи мобільних комунікаційних технологій". – Львів: Видавництво "Наука і Техніка", 2019. – 623с.
6. Soares,A., Silva,J.C., Souto,N., Leitão,F. and Correia,A., “MIMO Based Radio Resource Management for UMTS Multicast Broadcast Multimedia Services”, Wireless Personal Communications, Vol.42, No 2, July 2007, pp. 225-246.
7. Dahlman E., Parkvall S., Sköld J. "4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband". – Academic Press, 2013. – 544p.
8. Holma H., Toskala A. "HSPA Evolution: The Fundamentals for Mobile Broadband". – John Wiley & Sons, 2010. – 320p.
9. Бойко М.П. Системи стільникового зв'язку: Конспект лекцій. – Одеса: ОНАЗ, 2004 – 76 с.
10. Tripathi P., Sharma A. "Evolution of Mobile Broadband: HSPA+ and Beyond". –Mobile Communications Journal, 2012. – Vol. 18, No. 7. – pp. 15-22.
11. Kumar P., Singh A. "HSPA+ Technology: Enhancing Mobile Broadband". –Mobile Technology Review, 2013. – Vol. 19, No. 4. – pp. 58-64.
12. Грушецький, С.В. "Основи мобільних комунікаційних систем". – Київ: Видавництво "Освіта", 2018. – 388с.

13. Hen, I., "MIMO Architecture for Wireless Communication", Intel Technology Journal, Vol.10, No. 2, May 2006, pp.157-165.
14. Крамаренко, М.О. "Інноваційні технології мобільного зв'язку". – Харків: Видавництво "Ранок", 2019. – 276с.
15. Литвиненко, Д.М. "Радіотехнології та мобільні мережі". – Дніпро: Видавництво ДНУ, 2017. – 312с.
16. Шевченко, О.П. "Розвиток мобільних комунікаційних систем". – Полтава: Видавництво ПНТУ, 2018. – 355с.
17. Huilin Xu, Liuqing Yang. Ultra-wideband technology: Yesterday, today, and tomorrow. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4463592>
18. F. Adachi, D. Garg, S. Takaoka, K. Takeda. Broadband CDMA techniques. IEEE Wireless Communications – 2005, Volume: 12, Issue: 2 [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1421924>
19. Johnson J., H. Wang. Stealth Communication Via Smart Ultra-Wide-Band Signal in 5G, Radar, Electronic Warfare, etc. International Symposium on Antennas and Propagation and North American Radio. Science Meeting. - 2020. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=radio%20stealth>
20. Пілінський В. В. Технічна електродинаміка та поширення радіохвиль: навчальний посібник для студентів напряму підготовки 6.050903 «Телекомунікації» / В. В. Пілінський. – Київ : Кафедра, 2014. – 336 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу : <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19132>
21. O'Sullivan J., Chambers M. "HSPA+ and LTE: A Comparative Study". – Journal of Mobile Networks, 2017. – Vol. 26, No. 1. – pp. 19-25.
22. WCDMA FOR UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications. Third Edition. Nokia, Finland. Copyright # 2004.
23. HSDPA/HSUPA for UMTS. High Speed Radio Access for Mobile Communications. Nokia Networks. Finland, 2006.