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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Методи проектування мереж мобільного зв'язку на основі програмного забезпечення Atoll»

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) Володимир ГЛАДИШЕВ
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи АРДМ-61
Володимир ГЛАДИШЕВ

Керівник: Лариса ДАКОВА

Рецензент: Костянтин ЛАВРІНЕЦЬ

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

Гладишев Володимир Олександрович

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Методи проектування мереж мобільного зв'язку на основі програмного забезпечення Atoll»,
керівник кваліфікаційної роботи Лариса ДАКОВА, к.т.н., доцент,
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. Архітектура і загальні властивості стільникової мережі;
   2. Мережеве стільникове планування;
   3. Автоматизовані засоби проектування стільникової мережі зв'язку за допомогою програмного забезпечення Atoll;
   4. Науково-технічна література.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
   1. Основні аспекти планування стільникової мережі;
   2. Покрокове планування мережі стільникового зв'язку;

3. Використання програмного забезпечення для проектування стільникової мережі;

4. Розрахунок основних показників для симуляції покриття за допомогою програмного забезпечення.

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	27.10.24	Викон.
2.	Основні аспекти планування стільникової мережі	31.10.24	Викон.
3.	Покрокове планування мережі стільникового зв'язку	15.12.24	Викон.
4.	Використання програмного забезпечення для проектування стільникової мережі	29.11.24	Викон.
5.	Розрахунок основних показників для симуляції покриття за допомогою програмного забезпечення	11.12.24	Викон.
6.	Висновки, вступ, реферат	18.12.24	Викон.
7.	Розробка презентації	19.12.24	Викон.

Здобувач вищої освіти _____ Володимир ГЛАДИШЕВ
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Лариса ДАКОВА
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 89 стор., 41 рис, 25 дж.

Мета роботи – дослідження та аналіз методів проектування мереж мобільного зв'язку.

Об'єкт дослідження - процес проектування мережі в програмному забезпеченні Atoll.

Предмет дослідження – принципи, моделі та методи використання технологій LTE та GSM.

Короткий зміст роботи: В магістерській роботі досягнуто наступних результатів:

1. У першому розділі розглянуті основні аспекти архітектури стільникової мережі технологій GSM та LTE.

2. У другому розділі розглянути методи та інструменти планування стільникової мережі в програмному забезпеченні Atoll.

3. У третьому розділі виконано практичні дослідження по плануванню та проектуванню стільникової мережі м. Фастів та створено і розраховано таблиці основних характеристик стільникової мережі, виходячи з цих даних, розраховано якості радіопокриття мережі за допомогою програми Atoll.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АРХІТЕКТУРА СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ, СТІЛЬНИКОВА МЕРЕЖА, ПОСЛІДОВНІСТЬ ПЛАНУВАННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ, РАДІОПОКРИТТЯ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ATOLL.

ABSTRACT

Text part of the master's qualification work: 89 pages, 41 pictures, 25 sources.

The purpose of the work - research and analysis of mobile communications design methods.

Object of research - the process of designing a boundary in the Atoll software.

Subject of research – principles, models and methods of using LTE and GSM technologies.

Summary of the work: The following results were achieved in the master's thesis:

1. The first section considers the main aspects of the architecture of the cell network of GSM and LTE technologies.

2. The second section considers the methods and tools for planning a cell network in the Atoll software.

3. In the third section, practical research was carried out on the planning and design of the cellular network in Fastiv and tables of the main characteristics of the cell network were created and calculated. Based on these data, the quality of the network's radio coverage was calculated using the Atoll program.

KEYWORDS: CELLULAR NETWORK ARCHITECTURE, CELLULAR NETWORK, PLANNING SEQUENCE, DESIGN, RADIO COVERAGE, ATOLL SOFTWARE.

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Навчально-науковий інститут телекомунікацій

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

Направляється здобувач Гладишев В.О. 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: Методи проектування мереж мобільного зв'язку на основі програмного забезпечення Atoll

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

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

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач Гладишев Володимир Олександрович 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 Гладишев Володимир Олександрович на оцінку «добре» та присвоїти йому кваліфікацію «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Лариса ДАКОВА
(підпис) *(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)*

“ ” _____ 2024 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач Гладишев В.О.
(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

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА

на кваліфікаційну магістерську роботу

здобувача вищої освіти Гладишев Володимир Олександрович

на тему: «Методи проектування мереж мобільного зв'язку на основі програмного забезпечення Atoll»

Актуальність:

Використання такого програмного забезпечення як Atoll є необхідним для оператора мережі мобільного зв'язку такого масштабу, як наприклад Київстар. Він використовується для проектування, планування та оптимізації радіомережі, методи використання такого типу програмного забезпечення будуть актуальними ще дуже довгий час.

Тому, тема магістерської роботи, є актуальною. Запропонована тема має практичне значення та є доцільною і своєчасною.

Позитивні сторони:

1. Зміст магістерської роботи відповідає завданню. Її автор, показала високий рівень знань і ступінь підготовленості до майбутньої роботи за фахом.
2. Розроблений проект відповідає технічним нормам, гарно оформлений та відповідає високій кваліфікації студента.

Недоліки:

1. В роботі варто розглянути аналоги програми Atoll, їх недоліки та переваги.
2. В роботі не описано, чи дозволяє розроблений проект динамічно відображати розподіл стільників в регіоні в залежності від поточних результатів обчислення.

Відзначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку кваліфікаційної роботи.

Висновок: кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «добре», а здобувач Гладишев Володимир Олександрович заслуговує присвоєння кваліфікації: «Магістр з електронних комунікацій та радіотехніки».

Рецензент: КТН, доцент каф. ТСМ _____ Костянтин ЛАВРІНЕНКО

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

ЗМІСТ

ВСТУП 9

1. АРХІТЕКТУРА І ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ 10

1.1 Історія розвитку та особливості технологій мобільного зв'язку 10

1.2 Архітектура стільникової мережі технології GSM 12

1.3 Архітектура стільникової мережі технології LTE 19

2. МЕТОДИ МЕРЕЖЕВОГО СТІЛЬНИКОВОГО ПЛАНУВАННЯ ВИКОРИСТОВУЮЧИ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ATOLL 34

2.1 Програмне забезпечення Atoll 34

2.2 Базові можливості програми Atoll 35

2.3 Налаштування різних технологій стільникового зв'язку в програмі Atoll 48

2.4 Особливості планування для різних технологій в програмі Atoll 51

3. ПЛАНУВАННЯ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ У М. ФАСТІВ ВИКОРИСТОВУЮЧИ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ATOLL 70

3.1 Аналіз та розрахунок для проекту 70

3.2 Підбір обладнання та параметрів для планування мережі 72

3.3 Проведення розрахунків та симуляцій в програмі Atoll 79

ВИСНОВКИ 87

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 88

ДЕМОНСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ 89

ВСТУП

Мережі мобільного зв'язку є невід'ємною частиною життя сучасної людини. Для побудови, підтримки та розвитку таких мереж потрібно багато фінансових та людських ресурсів, і витрат часу. Задля полегшення такої роботи є дуже багато різноманітних програм, наприклад, для побудови моделі майбутньої мережі мобільного зв'язку використовують програмне забезпечення Atoll.

Використання такого програмного забезпечення як Atoll, є базово необхідним для оператора мережі мобільного зв'язку такого масштабу, як Київстар. Він використовується для проектування, планування та оптимізації радіомережі, тому методи використання такого типу програмного забезпечення будуть актуальними ще дуже довгий час.

Метю роботи є дослідження та аналіз методів проектування мереж мобільного зв'язку.

Об'єкт дослідження - процес проектування мережі в програмному забезпеченні Atoll.

Предмет дослідження – принципи, моделі та методи використання технологій LTE та GSM.

1. АРХІТЕКТУРА І ЗАГАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Історія розвитку та особливості технологій мобільного зв'язку

Мобільний зв'язок є сегментом телекомунікаційної індустрії, який розвивається найшвидше.

Перша система мобільного зв'язку була представлена в 1946 році. Розташована в Санта-Луїсі, Міссурі, США. Ця система використовувала єдиний радіопередавач, встановлений на багатоповерховому будинку. Використовувався один канал, тож потрібно було натиснути кнопку, щоб говорити, і відпустити кнопку, щоб слухати. Ця half-duplex система все ще використовується компаніями таксі та поліцією.

У 1960-х роках ця система була замінена duplex системою яка називалась покращеною мобільною телефонною системою (IMTS) . Через обмежені частоти система не могла підтримувати багато користувачів.

Європа є єдиною системою і тому є лідером як за абонентською базою, так і за потужністю передачі даних. GSM використовується більш ніж у 100 країнах 215 операторами в Європі та за кордоном. Японська система PDC є другою за величиною цифровою стільниковою системою, а північноамериканська – третьою.

Існуюча система мобільного зв'язку є системою мобільного зв'язку другого покоління (2G).

Стільникові системи третього покоління (3G) дозволяють різним системам працювати разом для досягнення глобального роумінгу між різними стільниковими мережами. Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) досліджує системи 3G з середини 1980-х років. Їхня версія системи 3G називається International Mobile Telecommunications-2000 (IMT-2000).

Країни Європи розглядають можливість створення систем 3G під егідою Європейського економічного співтовариства. Їхня система вважається універсальною системою мобільного зв'язку (UMTS) і переслідує ті ж цілі, що й IMT-2000. Це означає використання загальної глобальної частоти для всіх

мобільних мереж, всесвітній роумінг, стандартизацію інтерфейсів і високу швидкість передачі даних як для комутації, так і для передачі даних. Перемикання пакетів, ефективне планування використання частот.

Система мобільного зв'язку буде вперше впроваджена в Advanced Mobile Communications System (AMPS) для підтримки більшої кількості користувачів шляхом повторного використання спектру. AMPS — це аналогова система, яка є частиною першого покоління систем стільникового радіозв'язку.

Цифрова система другого покоління. Європа об'єднала їх в єдину систему під назвою Глобальна система мобільного зв'язку (GSM). Японія використовує систему під назвою Personal Digital Cellular (PDC). [17]

Розглянемо шлях розвитку мобільного телефонного зв'язку.

Пейджинговий зв'язок - простий і недорогий вид мобільного зв'язку. Антена або супутник надсилає короткі повідомлення абонентам по радіо. Приймач зазвичай являє собою звуковий пристрій, який відображає повідомлення на маленькому екрані. Передача даних односпрямована. Система оповіщення призначена для забезпечення надійного зв'язку з абонентами, де б вони не знаходилися. Для цього потрібні потужні передавачі та невелика кількість даних, щоб максимально збільшити покриття визначеної зони кожного передавача.

Супутниковий зв'язок складається з великих радіомаяків або транспондерів, налаштованих на певні радіочастоти. Він підсилює сигнал і передає його по ефіру на іншій частоті. Це вбудовані радіо передавальні пристрої. Недоліком супутникового зв'язку є велика відстань. Час втрачається залежно від відстані, яку проходять радіохвилі.

Мобільна мережа поділена на стільники, і кожна клітинка обслуговується одним або кількома приймачами. Спілкування в мобільних мережах повністю двостороннє. Повідомлення надсилаються та приймаються на двох різних частотах, частотних каналах (FDD). Метою топології мобільної мережі є можливість повторного використання спектру. Стільники на певній відстані можуть повторно використовувати ті самі частоти, ефективно використовуючи обмежені частотні ресурси.

Персональний мобільний зв'язок (система персонального мобільного телефону). Персональна мобільна система (PHS) використовуються в Японії. Це схоже на стільникову мережу, але телефони в межах досяжності також можуть безпосередньо спілкуватися один з одним. Це перевага перед мобільними телефонами, які можуть спілкуватися один з одним лише через приймачі базових станцій. Ця система дуже популярна в густонаселених мегаполісах.

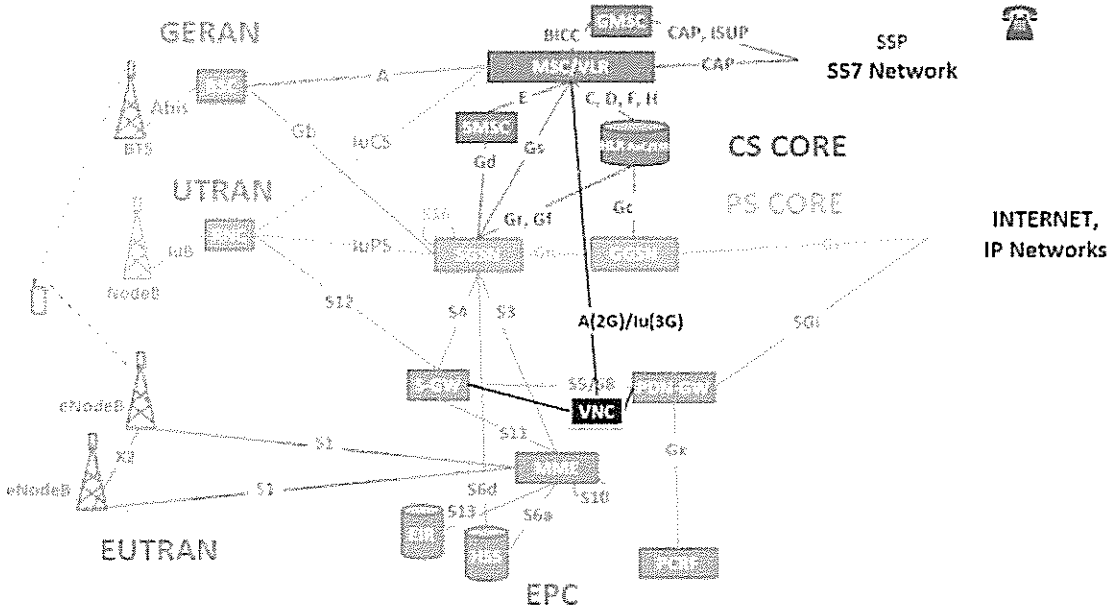


Рис. 1.1 Архітектура мобільної мережі

1.2 Архітектура стільникової мережі технології GSM

Мобільний телефон або інший пристрій, який може підключатися до стільникової мережі, називається мобільною станцією. Мобільна мережа складається з стаціонарної та бездротової частини. Такі мережі зазвичай називають LMN (громадська наземна мобільна мережа). Мережа складається з таких об'єктів:

– Мобільна станція (MS) – пристрій для зв'язку в стільниковій мережі.

– (BST) Базова станція – передавач (приймач) приймає сигнали через інтерфейс бездротової мережі.

– Мобільний комутаційний центр (MSC) – центр мережі, який надсилає та обробляє запити, зроблені в мережі.

– Контролер базової станції (BSC) – Керує зв'язком між групою BSTS та іншим MSC.

– Комутована телефонна мережа загального користування (PSTN) – це наземна частина мережі.

BSTS і головний BSC часто згадуються разом як підсистема базової станції (BSS). [10]

Топологія мобільної мережі є результатом обмеженого радіоспектру. Щоб ефективно використовувати радіоспектр, несумісні стільники використовують ту саму частоту неодноразово. Географічні зони поділені на географічні зони.

Кожна сота має базову станцію, яка передає дані по радіоканалу на мобільні станції всередині сота. Група базових станцій підключена до контролера базової станції. Група контролерів підключена до мобільного комутаційного центру через мікрохвильовий зв'язок або телефонні лінії. MSC підключається до комутованої телефонної мережі загального користування та пересилає запити на інші мобільні станції або наземні секції.

У цьому розділі описано запити від мобільних станцій до інших мобільних станцій, які найкраще ілюструють основні методи систем мобільних мереж. Мобільна станція робить запит, надсилаючи запит ініціації на найближчу базову станцію.

Цей запит надсилається через спеціальний протокол під назвою Reverse Control Channel (RCC). Базова станція надсилає до MSC запит, що містить інформацію абонента. MSC перевіряє запит і використовує ідентифікатор, щоб зв'язатися з абонентом через PSTN. Спочатку він підключається до MSC, а потім MSC інструктує базову станцію та мобільну станцію, що запитує, переключитися на голосовий канал. Потім мобільна станція, яка запитує, встановлює з'єднання з кінцевою станцією через невикористані прямий і зворотний канали (FVC, BVC).

Коли мобільна станція отримує вхідний виклик, дії такі:

- Мобільна станція постійно сканує прямий канал керування (FCCH або BCCH залежно від мережі) на предмет сигналів повідомлень від базової станції. Коли MSC отримує запит на зв'язок з мобільною станцією в його зоні, він надсилає широкомовне повідомлення всім контрольованим базовим станціям.

– Повідомлення містить ідентифікатор викликаної мобільної станції. Потім базова станція надсилає повідомлення по всіх каналах керування передачею. Правильна мобільна станція перевіряє запит, ідентифікуючи себе через зворотний протокол керування (RCC).

- MSC отримує підтвердження через базову станцію та дає вказівку базовій станції та мобільній станції переключитися на невикористаний голосовий канал. Повідомлення даних надсилаються через прямий голосовий канал, який дає команду мобільній станції здійснити виклик.

Процедура, описана вище, є дуже швидкою, і користувач не відчуває жодної значної затримки між надсиланням запиту на виклик і з'єднанням виклику.

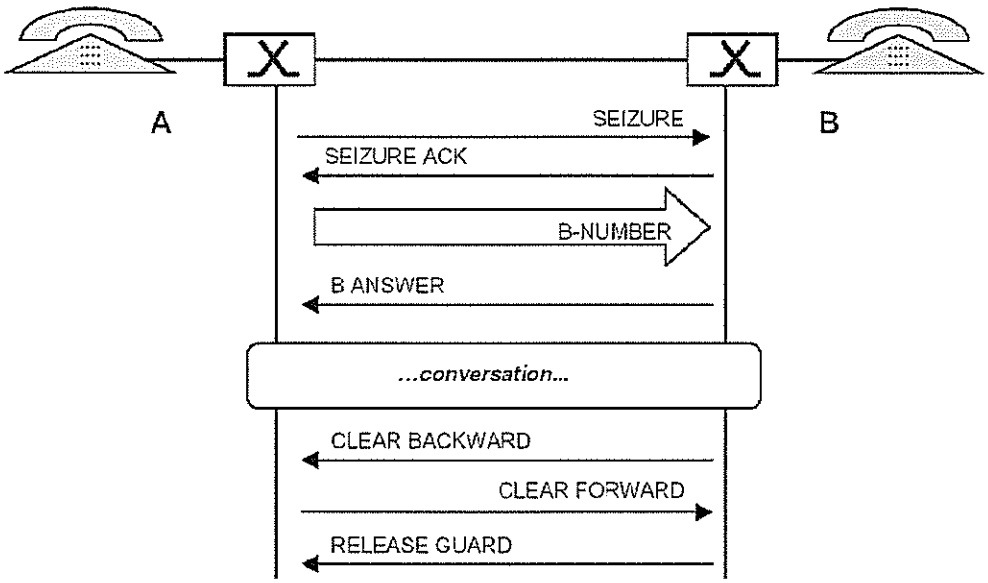


Рис. 1.2 Процедура встановлення зв'язку у мережі GSM

Комунікаційні мережі використовують протоколи для полегшення взаємодії між різними об'єктами в мережі. Протокол обміну повідомленнями – це набір повідомлень і правил, які обслуговують повідомлення між двома або більше

об'єктами, які об'єднані в мережу. Основою мережі є використання повного спектру таких протоколів, організованих у багарівневий стек.

Радіозв'язок між MS і BST на інтерфейсі UM забезпечує мобільний зв'язок. Використовуючи радіочастоти як засіб зв'язку, користувачі можуть отримати доступ до мереж зв'язку без фізичного підключення. Повідомлення через бездротового зв'язку має свої недоліки. [4]

Оскільки радіочастотний спектр, доступний для стільникового зв'язку, обмежений, необхідно ефективно використовувати доступний радіочастотний спектр. Конфігурації мобільної мережі розроблено з урахуванням цього обмеження. Роль протоколів керування радіо ресурсами полягає в тому, щоб максимально ефективно керувати радіо ресурсами за допомогою стільникової конфігурації. Для цього вони виконують такі завдання:

– Встановлення та обслуговування голосового виклику;

– Передача управління викликом з однієї соти в іншу.

Мережа повинна контролювати місцезнаходження кожної зареєстрованої мобільної станції, щоб мобільна станція могла підключитися до мережі за запитом. Управління інформацією про місцезнаходження мобільних станцій виконується за допомогою методу управління мобільністю. Цей метод працює для реєстрації мобільної станції в BSC, де вона зараз знаходиться. Центральна база даних підтримує список усіх мобільних станцій у мережі та BSC, на яких вони зараз зареєстровані. Використовуючи систему розподіленої бази даних, дані в BSC синхронізуються з центральною базою даних на сервері початкових умов постачальника.

Схема керування мобільністю складається з розподілених баз даних (VRL і HRL) і пов'язаних протоколів для керування інформацією про місцезнаходження всіх мобільних станцій у мережі. Mobility Management також відповідає за ідентифікацію мобільних станцій у всій мережі.

Мобільні станції в зоні MSC повинні бути ідентифіковані перед отриманням мережевих ресурсів. Це гарантує, що лише дійсні користувачі користуються мережею.

Протокол Connection Management (CM) керує налаштуванням виклику. Процес встановлення виклику пояснювався вище. Однак, крім цих кроків, протокол CM також керує етапами, які дозволяють роумінг у мобільних мережах.

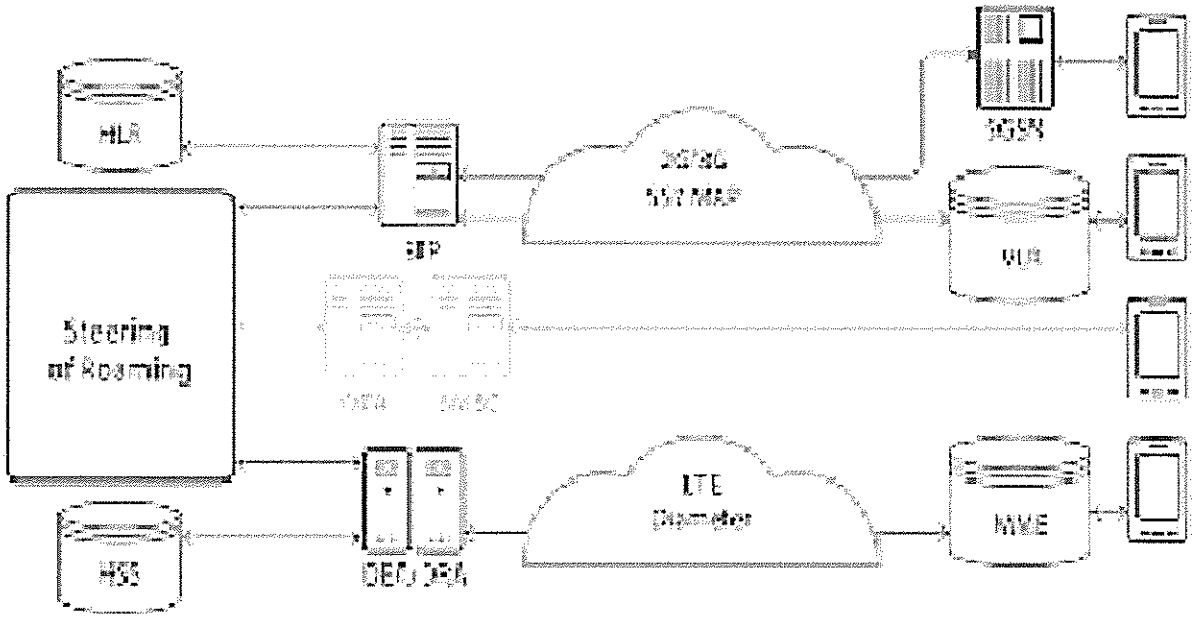


Рис. 1.3 Схема під'єднання в роумінгу

Роумінг — це послуга, яка дозволяє користувачам певного оператора здійснювати дзвінки з територій, які не покриваються цим оператором. Оператор мережі в зоні відправлення підключається до шлюзу MSC (GMSC), який з'єднує користувача з оператором мережі.

Після пошуку в таблиці GMSC визначає оператора мережі абонента. Оператор гарантує, що мобільна станція використовує номер ISDN (MS ISDN), який унікально ідентифікує мобільну станцію.

Цей номер складається з коду країни (MCC), національного коду призначення (MNC) і номера абонента (MSIN). Після визначення оператора мережі абонента HLR оператора мережі надсилає запит на визначення місцезнаходження мобільної станції, що телефонує. Тому дзвінок буде здійснено нормально.

Як уже згадувалося, фізичний рівень між мобільною станцією та BST використовує радіохвилі для передачі даних і тому називається радіоканалом. Щоб надіслати трансляцію через бездротове з'єднання, оригінальний аналоговий

формат трансляції перетворюється на цифровий за допомогою кодера трансляції. Метод аудіокодування, який використовується в GSM, називається методом кодування лінійного кодування з рівноімпульсним збудженням (RPE-LPC).

Множинний доступ з тимчасовим поділом (TDMA) використовується для поділу кожної несучої частоти на канали зв'язку. Кожна несуча частота розділена на вісім каналів зв'язку за допомогою TDMA.

Священний Грааль у світі телефонів — це невеликий бездротовий телефон, яким можна користуватися вдома та брати з собою куди завгодно. Ви повинні завжди відповідати на той самий номер, де б ви не були. Це було визначення персональних комунікаційних послуг (PCS). Опубліковано Tanenbaum у 1996 році. З тих пір значення цього терміна змінилося. Сучасні мережі GSM надають не тільки голосові послуги, але й послуги передачі даних зі швидкістю 9,6 Кбіт/с.

Концепція PCS тепер включає не лише надання голосових послуг користувачам незалежно від їхнього місцезнаходження, а й послуги незалежно від їхнього місцезнаходження, мережі чи пристрою, який вони використовують. Універсальна мобільна телекомунікаційна система (UMTS) пропонує можливість реалізації цього ідеалу PCS даних, яка включає послуги незалежно від місця розташування, мережі та кінцевого пристрою. Цю систему називають стільниковою системою третього покоління (стільниковий зв'язок 3G). Досягнення цього ідеалу вимагає від усіх у мобільному світі спільної роботи для уніфікації комунікацій. [22]

Поточні послуги передачі даних обмежені швидкістю радіопередачі GSM 9,6 Кбіт/с. Ця швидкість передачі вже використовується для надання послуг передачі даних користувачам мережі. PC Card діє як інтерфейс між вашим ПК і мобільним телефоном, дозволяючи комп'ютеру підключатися до мережі передачі даних через мобільний телефон.

Оскільки мережі GSM є цифровими, модуляція та демодуляція даних відрізняються від передачі даних через комутовану телефонну мережу загального користування (PSTN). Передача даних з комп'ютера на мобільний телефон здійснюється за допомогою карти PC. Телефон надсилає отримані дані

безпосередньо в мережу GSM. Така технологія вже використовується для передачі даних і факсів на мобільні телефони.

Збільшена швидкість передачі даних, яку забезпечує HSCSD, не вирішує всіх проблем передачі даних у мобільних мережах. Оскільки мережі GSM мають комутацію каналів, повне віртуальне з'єднання створюється кожного разу, коли дані або голос переміщуються з однієї точки в іншу в мережі. Щоб вирішити цю проблему, була розроблена служба під назвою General Packet Radio Service (GRPS).

Ідея полягає в тому, щоб дозволити користувачам підключатися до мереж передачі даних з комутацією пакетів (IP і X.25) через окреме з'єднання за межами голосової мережі. Ці дві служби працюють паралельно.

Користувачі можуть увійти в мережу GPRS і отримати доступ до будь-якої мережі IP або X.25. При підключенні до мережі користувачі платять лише за кількість переданих даних, а не за час, проведений у мережі. Користувачі можуть отримувати вхідні дзвінки під час передачі даних. Якщо зовнішня мережа GPRS може підтримувати ці швидкості, мережа GPRS може використовувати всі вісім множинного доступу з розділенням часу (TDMA) для підтримки швидкості передачі даних до 164 Кбіт/с.

EDGE є природним продовженням GPRS. Він використовує той самий мережевий рівень, що й GPRS, але базується на новому фізичному рівні. Фізичний рівень призначений для передачі даних на дуже високих швидкостях. Послуга вважається мобільною послугою третього покоління і може передавати дані на швидкості до 500 Кбіт/с за дуже сприятливих умов. MAP дозволяє бездротовим пристроям надійно та ефективно передавати інформацію. Складність бездротового простору вимагала від розробників розробки протоколів, які б ефективно використовували низьку пропускну здатність і ненадійність бездротового простору. WAP має оптимізований стек протоколів і використовує мови розмітки WML і WMLScript на рівні програми. Через ненадійність бездротових з'єднань замість TCP (Transmission Control Protocol) використовується протокол даних користувача UDP. Існують інтегровані протоколи та рівні безпеки для розробки програм, які забезпечують безпечні бізнес-операції.

1.3 Архітектура стільникової мережі технології LTE

Мобільний зв'язок четвертого покоління (4G) є одним із етапів розвитку технології бездротового зв'язку. Метою його розробки та впровадження було підвищення продуктивності, швидкості передачі даних і якості зв'язку порівняно з попередніми поколіннями.

Історія розвитку 4G почалася в 2008 році, коли Міжнародний союз електрозв'язку (ITU) встановив стандарт LTE (Long-Term Evolution) як офіційний стандарт для технології 4G. LTE є наступником стандартів 3G (UMTS) і HSPA (High Speed Packet Access). Основна мета 4G – покращити пропускну здатність, швидкість передачі даних і якість зв'язку. [7]

Основні особливості технології 4G:

– Вища швидкість передачі даних: 4G пропонує значно вищу швидкість передачі даних порівняно з попередніми поколіннями. Швидкість передачі даних може досягати десятків мегабіт на секунду (Мбіт/с) і навіть сотень Мбіт/с.

– Покращена продуктивність: 4G має покращену продуктивність, яка забезпечує швидшу обробку даних і забезпечує більш високу якість обслуговування.

– Зменшена затримка: 4G дозволяє зменшити затримку під час передачі даних. Це важливо для інтерактивних програм у реальному часі, таких як відеодзвінки та онлайн-ігри.

– Підтримка IP-протоколу: 4G базується на Інтернет-протоколі (IP), який полегшує інтеграцію мобільного та Інтернет-зв'язку та дозволяє легко інтегрувати мобільні пристрої в інші IP-мережі.

– Підтримка більшої кількості одночасних підключень: 4G забезпечує підтримку більшої кількості одночасних підключень, що дозволяє більшій кількості користувачів використовувати мережу одночасно без значного зниження швидкості та якості зв'язку.

– Покращена безпека: 4G має покращені механізми безпеки порівняно з попередніми поколіннями, щоб забезпечити конфіденційність і безпеку користувачів під час передачі даних через мережу.

– Підтримка різноманітних послуг: 4G можна використовувати для підтримки різноманітних послуг, таких як голосове мовлення, відео дзвінки, потокове відео, мобільний доступ до Інтернету та інші програми, які потребують високої швидкості та якості зв'язку.

– Покращена мобільність: 4G покращує мобільність і покриття, дозволяючи користувачам насолоджуватися стабільним з'єднанням і високошвидкісним доступом до Інтернету в дорозі.

Тому технологія 4G відіграє важливу роль у покращенні зв'язку та передачі даних у мобільних мережах, дозволяючи користувачам насолоджуватися швидким і надійним підключенням на своїх мобільних пристроях.

Після встановлення стандарту LTE для технології 4G у 2008 році почалася робота з розробки та впровадження мереж, пристроїв і сервісів для підтримки 4G. Телекомунікаційні компанії та виробники пристроїв активно працюють над створенням інфраструктури для підтримки 4G і представлення нових пристроїв, які можуть працювати з цим стандартом.

У 2009 році в різних країнах почали запускати перші комерційні мережі 4G. 4G повільно стає доступним для користувачів у всьому світі. У наступні роки покриття мережі 4G збільшило продуктивність і забезпечило широкий спектр послуг.

Технологія 4G дала поштовх розвитку мобільних додатків, стрімінгових сервісів, соціальних мереж та інших інтерактивних сервісів, які потребують високої швидкості передачі даних. Це також сприяло зростанню ринку смартфонів та інших мобільних пристроїв із підтримкою 4G.

У подальшому розвитку мобільного зв'язку 4G було досягнуто різноманітних удосконалень, включаючи впровадження підтримки VoLTE (голос через LTE), збільшення пропускної здатності, покращення продуктивності мережі та покращення частотного діапазону стандарту LTE.

Передбачається, що цим питанням займуться українські перевізники. Добре те, що ця частота не потребує встановлення нового обладнання (антени, приймально-передавальних компонентів), лише їх модернізації, що є набагато економічними для кінцевого споживача.

На даний час частоту 2300 МГц відкрили для технології LTE, але вона вже використовується в районах з щільною міською забудовою. Це також збільшує витрати оператора, оскільки основне обладнання доводиться встановлювати майже з нуля.

На сьогоднішній день державні телекомунікаційні оператори України працюють у таких традиційних діапазонах частот:

- 900 МГц – оператори Vodafone, Київстар, Lifecell.
- 1800 МГц – оператори Vodafone, Київстар, Lifecell.
- 2100 МГц – оператор Vodafone, Київстар, Lifecell.
- 2300Мгц – оператор Київстар.
- 2600Мгц – оператор Vodafone, Київстар, Lifecell.

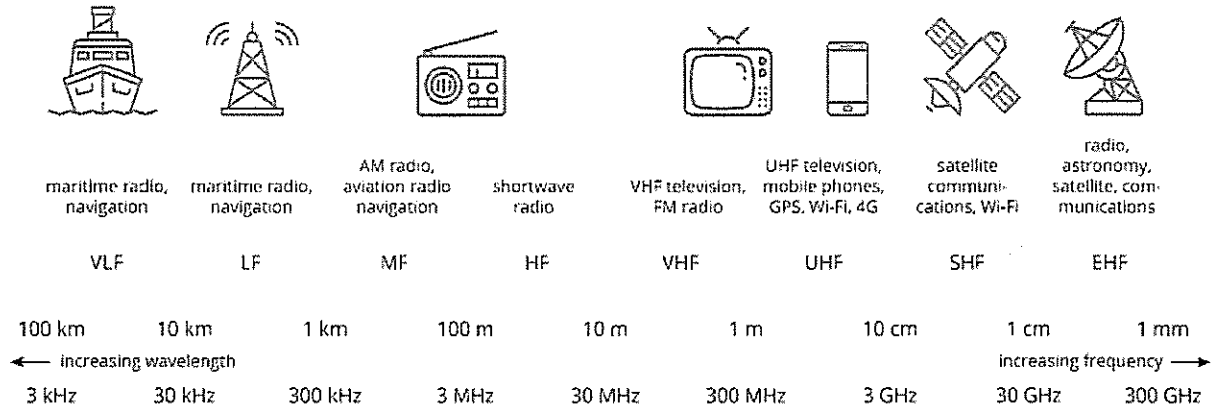


Рис. 1.4 Частотний спектр

На всіх цих частотах можна будують мережі LTE 4G. Єдина проблема - вартість витрат. Вибір різних варіантів може значно змінити ваші витрати. Зона покриття, яку може забезпечити базова станція (вежа), залежить від частоти. У цьому випадку співвідношення зворотне. Чим вище частота, тим менша довжина

хвилі, тим менший основний радіус покриття. Однак протилежне вірно щодо пропускної здатності.

Чим вища частота, тим більше людей можуть телефонувати та користуватися Інтернетом одночасно при оптимальній швидкості. Це усуває потребу у великих інвестиціях у нове обладнання та витрати на встановлення, а також забезпечує покриття великих територій навколо базових станцій як у місті, так і за його межами.

Але є інша проблема з частотним спектром. Для повноцінної роботи стандарту LTE кожній несучій має бути виділена безперервна смуга частот 1.4Мгц, 3Мгц, 5Мгц, 10Мгц, 15Мгц, 20Мгц. Тут частота розділена на частини, так би мовити, створюючи відносну плутанину для оператора. [14]

Щоб отримати те, що може запропонувати нова технологія (короткий час відгуку, швидкість, висока пропускна здатність), частотний спектр, виділений операторам, повинен бути принаймні на 10 МГц кращим.

Технічно такий комплексний обмін спектром має здійснюватися через державний орган НКРЗІ (Національна комісія, що здійснює регулювання у сфері телекомунікацій та інформатизації), якому оператори безкоштовно передадуть свої частоти, а я їх потім викупляють. У 2018 та 2019 роках у мережі було реалізовано підписки 4G з LTE.

Сама абревіатура LTE розшифровується як Long-Term Evolution. Те, що ми називаємо 4G, це LTE Advanced, десята версія якого була комерційно запущена в Швеції в 2009 році. Тоді почалося масове розгортання мереж LTE по всьому світу.

Основна відмінність між мережами 4G LTE і мережами 3G полягає в тому, що швидкість передачі даних або швидкість Інтернету зазвичай на порядок вища. Час відповіді на так званий запит ping також скорочується, що забезпечує серйозні можливості грати в мережеві ігри на рівні дротового Інтернету та проводити інтерактивні зустрічі. Все це досягається, серед іншого, скороченням шляху, який проходить сигнал від учасника до учасника.

Нова технологія виключає контролер із ланцюжка абонент-оператор-абонент, який фактично був тією «слабкою ланкою», що гальмувала весь потік.

Якщо говорити конкретно про швидкість доступу до мережі, то максимальна швидкість 3G в Україні сьогодні становить до 42 Мбіт/с. Такі швидкості можна спостерігати лише в лабораторних умовах, коли абонент знаходиться близько до базової станції, тому точно «до».

Фактичні швидкості для великої трійки операторів 3G коливаються від 2 до 6 Мбіт/с. Це не дрібниця, враховуючи, що ще кілька років тому всі були задоволені швидкістю до 150 кбіт/с. Завдяки технології 4G LTE ви теоретично можете говорити про 100 Мбіт/с на своєму мобільному пристрої. На практиці швидкість, звичайно, буде трохи нижчою, але зазвичай не нижче 20 Мбіт/с.

Така швидкість дозволяє дивитися, наприклад, відео високої якості без будь-яких затримок. Друга важлива перевага нової технології полягає в тому, що при високій концентрації користувачів (стадіони, концерти, конференції тощо) мережа продовжує безперебійно обслуговувати абонентів.

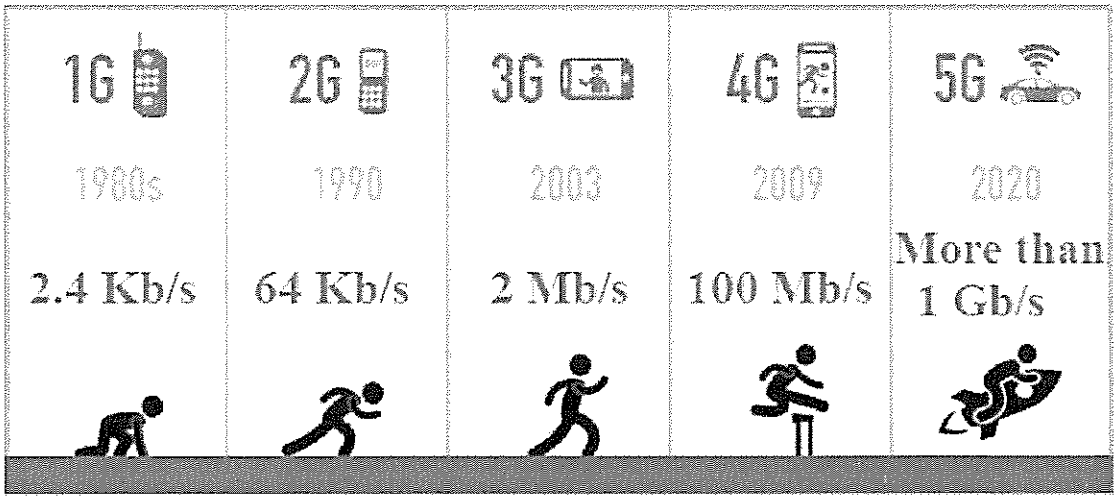


Рис. 1.5 Порівняння швидкості технологій мобільного зв'язку

Стандарт LTE 16, також відомий як LTE-Advanced Pro або 4.5G, є розширенням стандарту 4G LTE з підвищеною функціональністю та продуктивністю. Основні плани та технології, пов'язані з LTE 16, включають:

– Carrier Aggregation (CA): CA об'єднує кілька недискретних частотних блоків, щоб створити пропускну здатність, яку можна збільшити для покращення

швидкості передачі даних. Це дозволяє підключеним пристроям використовувати різні діапазони частот одночасно, покращуючи продуктивність мережі.

– Enhanced Multiple-Input Multiple-Output (eMIMO): eMIMO використовує більше антенних блоків для покращення якості сигналу та збільшення пропускної здатності. Це дозволяє більш ефективно передавати дані за допомогою кількох вхідних і вихідних потоків.

– Enhanced Inter-Cell Interference Coordination (eICIC): eICIC вирішує проблему між стільникових перешкод, яка може виникнути при використанні великої кількості антен і високих частот. Ця технологія допомагає координувати використання ресурсів між сусідніми базовими станціями для зменшення перешкод і покращення якості зв'язку.

– Licensed Assisted Access (LAA): LAA дозволяє використовувати незалежні ліцензовані та неліцензовані ресурси спектру для забезпечення більшої пропускної здатності та покриття. Це дозволяє мережам LTE надавати додаткові канали зв'язку за допомогою неліцензованих діапазонів частот, таких як Wi-Fi.

– Enhanced Voice Services (EVS): EVS реалізує розширені голосові служби для підтримки високоякісного голосового зв'язку. Ця технологія використовує широкий діапазон частот для передачі аудіо з високою якістю, а широкий діапазон частот дозволяє передавати більш реалістичні та чіткі голосові розмови.

– Enhanced Mobile Broadband (eMBB): eMBB збільшує швидкість і пропускну здатність передачі даних, дозволяючи користувачам швидко й безперервно отримувати великі обсяги даних. Це особливо важливо для високоякісного потокового відео, використання віртуальної реальності та інших вимогливих програм.

– Device-to-Device Communication (D2D): D2D забезпечує прямий бездротовий зв'язок між пристроями в обхід базових станцій. Це призводить до меншої затримки та більш ефективної передачі даних для різних служб, таких як обмін відео та файлами між пристроями.

– Full-Dimension Multiple-Input Multiple-Output (FD-MIMO): FD-MIMO використовує велику кількість антен для покращення пропускної здатності та продуктивності мережі. [5]

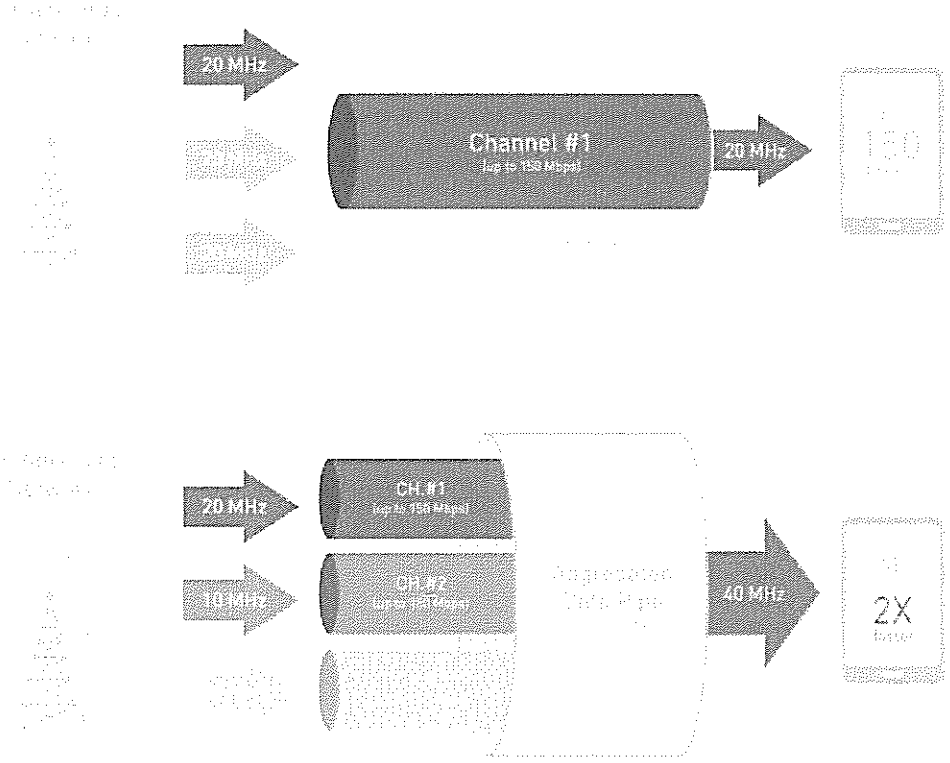


Рис. 1.6 Carrier Aggregation схема

Ця технологія дозволяє надсилати та отримувати багато потоків даних одночасно, покращуючи якість зв'язку та забезпечуючи високу швидкість передачі. Ці технології та плани допомагають розширити можливості мереж LTE 16 і забезпечити високу швидкість передачі даних, покращену якість зв'язку та ефективне використання ресурсів. Це полегшує розробку нових послуг і програм, які вимагають високої пропускної здатності та низької затримки, забезпечуючи при цьому кращий мобільний досвід для користувачів.

Інші плани та технології, пов'язані зі стандартом LTE 16, включають:

– Massive Machine Type Communication (mMTC) – ця технологія спрямована на створення великої кількості пристроїв IoT (Інтернет речей) з низькими вимогами

щодо пропускної здатності та потужності. Це дозволяє підключати великі мережі датчиків і пристроїв Інтернету речей і керувати ними.

– Vehicle-to-Everything (V2X) Communications. Передача даних V2X між транспортними засобами та різними елементами інфраструктури, такими як дорожні знаки та світлофори. Ця технологія покращує безпеку та ефективність дорожнього руху та допомагає запобігти аваріям і заторам.

– Enhanced Carrier-Interference plus Noise Ratio (eCINR) – Ця технологія покращує якість сигналу шляхом зменшення перешкод і шуму. Оптимізуйте роботу мережі, підвищте стабільність з'єднання та покращте продуктивність у місцях із поганим сигналом.

– Enhanced Coverage and Power Saving (eCoPS). eCoPS дозволяє краще охоплювати області зі слабким сигналом і зменшити енергоспоживання пристрою. Ця технологія має на меті забезпечити стабільний зв'язок і тривалий час автономної роботи вашого пристрою.

– Network Function Virtualization (NFV). NFV використовує віртуалізацію для перенесення мережевих функцій із фізичних пристроїв на програмне забезпечення, що забезпечує більш гнучке керування та розширення мережевих ресурсів.

– Mission-Critical Communications. LTE 16 підтримує критично важливий зв'язок, такий як зв'язок екстрених служб, поліції та пожежної служби. До них належать надійна передача даних у реальному часі та високий рівень безпеки для критично важливих програм, які вимагають надійного зв'язку.

– Enhanced Security. LTE 16 містить розширені заходи безпеки для захисту від хакерських атак і несанкціонованого доступу до вашої мережі. Для забезпечення захисту та конфіденційності даних використовуються протоколи шифрування та ідентифікації.

– Improved Spectral Efficienc. LTE 16 використовує передові технології, такі як більш ефективне використання ресурсів, покращені алгоритми керування та оптимізація мережі, щоб досягти вищої спектральної ефективності та дозволити передавати більше даних за одиницю часу.

– Seamless Mobility. LTE 16 забезпечує безперервний зв'язок між різними базовими станціями на ходу. Такі технології, як передача обслуговування та повторний вибір стільника, забезпечують плавний перехід між різними діапазонами частот і базовими станціями без втрати зв'язку. [9]

Ці схеми та технології, представлені в стандарті LTE 16, покращують продуктивність, ефективність і надійність мобільного зв'язку. Він забезпечує користувачам високу швидкість передачі даних, безперебійний зв'язок, розширює можливості мобільних мереж.

MIMO: технологія із кількома входами та кількома виходами, яка використовує відбиті сигнали від кількох антен для забезпечення вищої надійності каналу та пропускної здатності.

Multiple Input Multiple Output (MIMO) — це технологія бездротового зв'язку, яка згадується та використовується в багатьох мережевих пристроях. Wi-Fi, LTE (Long Term Evolution) і багато інших радіо, бездротових і радіочастотних технологій використовують MIMO, щоб забезпечити більшу пропускну здатність і спектральну ефективність, одночасно підвищуючи надійність з'єднання.

На сьогоднішній день на ринку є багато WiFi-маршрутизаторів, точок доступу та антен MIMO, і з'являтиметься більше радіостанцій MIMO, оскільки ця радіочастотна технологія стане більш популярною.

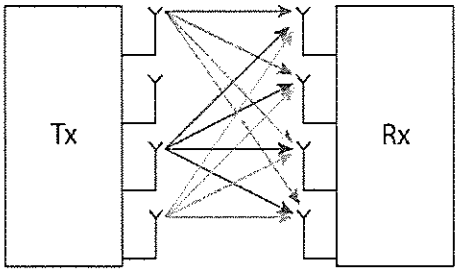


Рис. 1.7 Схема роботи MIMO

Технологія MIMO розроблялася протягом багатьох років. Були реалізовані не тільки основні концепції MIMO, але й нові технології. Для реалізації деяких

можливостей просторового мультиплексування та деяких переваг просторового рознесення потрібен був новий рівень обробки.

До 1990-х років просторове рознесення часто обмежувалося системами, які перемикалися між двома антенами або комбінували сигнали для забезпечення оптимального сигналу. Також були реалізовані різні форми перемикання променів, але загальна система є відносно обмеженою, враховуючи рівень і рівень доступної обробки. Однак із доступною додатковою потужністю обробки може бути доступним просторове рознесення та повне просторове мультиплексування.

Ранні дослідження систем MIMO були зосереджені на фундаментальній просторовій роздільній здатності. Тут була використана система MIMO, щоб обмежити погіршення, спричинене багато шляховим поширенням.

Проте це був лише перший крок. Системи почали використовувати переваги багато шляхового розповсюдження, перетворюючи додаткові шляхи сигналу в те, що можна фактично вважати додатковими каналами для передачі додаткових даних.

Два дослідники: Arjiasuomite Paulraj і Thomas Caillat вперше запропонували просторове мультиплексування за допомогою MIMO в 1993 році та отримали патент США наступного року.

Проте Bell Laboratories вперше продемонструвала лабораторний прототип просторового мультиплексування в 1998 році. Канали можуть бути схильні до завмирання, що змінює співвідношення сигнал/шум, що впливає на частоту помилок.

Принцип рознесення полягає в тому, щоб надати приймачу декілька версій одного сигналу. Якщо вони можуть контактувати один з одним різними сигнальними шляхами, ймовірність того, що всі вони контактуватимуть один з одним одночасно, значно зменшується.

Таким чином, різноманітність сприяє стабільності зв'язку та веде до підвищення продуктивності за рахунок зниження рівня помилок. Доступні різні режими дифузії, які пропонують багато переваг:

– Розподіл по часу (TDMA): Розподіл часу дозволяє надсилати повідомлення в різний час, наприклад, використовуючи різні часові інтервали або кодування каналу.

– Частотне рознесення (FDMA): Ця форма рознесення використовує різні частоти.

Це може мати форму використання різних каналів і технологій, таких як розширений спектр/OFDM.

– Просторова різноманітність: Основою MIMO є просторова різноманітність. Він використовує переваги різних радіоканалів, присутніх у типовому наземному середовищі, використовуючи антени в різних місцях. [11]

MIMO — це бездротова антена, яка може використовувати кілька шляхів передачі сигналу, використовуючи кілька антен на передавачі та приймачі, так що для кожної антени вибирається окремий шлях, і дані можуть передаватись різними шляхами сигналу.

Одна з основних ідей обробки сигналів для просторово-часових бездротових систем MIMO. Природний розмір даних цифрового зв'язку доповнюється просторовим виміром, властивим використанню багатьох розподілених антен, тобто використанню кількох антен, розташованих у різних місцях. Тому бездротові системи MIMO можна розглядати як логічне продовження інтелектуальних антен, які використовувалися для покращення бездротового зв'язку протягом багатьох років.

Сигнал може пройти багато шляхів між передавачем і приймачем. Навіть невеликі рухи антени змінять використовувану траєкторію. Типи доступних шляхів визначаються кількістю об'єктів, які з'являються на бічному або прямому шляху між передавачем і приймачем. Досі ці численні шляхи приводили лише до перешкод.

MIMO може вигідно використовувати ці додаткові шляхи для підвищення надійності бездротових з'єднань шляхом покращення співвідношення сигнал/шум і збільшення пропускної здатності каналу зв'язку.

Нижче наведено два основні формати MIMO:

– Просторова рознесеність: Просторова рознесеність, що використовується у цьому вузькому значенні, часто відноситься до рознесеності передавання та отримання.

– Просторове мультиплексування: Ця форма MIMO використовується для надання додаткової ємності даних шляхом використання різних шляхів для передачі додаткового трафіку.

Ці два методи використовуються для поліпшення співвідношення сигнал/шум і характеризуються підвищеною надійністю системи проти різних форм завмирання. Пропускна здатність даних збільшується.

Використовуючи кілька антен, бездротова технологія MIMO може значно збільшити пропускну здатність певного каналу, залишаючись сумісною із законом Шеннона.

Збільшуючи кількість приймальних і передавальних антен, пропускна здатність каналу може бути збільшена лінійно з кожною парою антен, доданих до системи. Це робить бездротову технологію MIMO однією з найважливіших бездротових технологій останніх років.

Оскільки спектральна смуга пропускання стає більш цінною для систем бездротового зв'язку, потрібні методи більш ефективного використання доступної смуги пропускання. Бездротова технологія MIMO є одним із цих методів.

Частотне планування.

Стандарт GSM забезпечує широкий діапазон частот 25 МГц для прийому/передачі, підтримуючи 124 канали зв'язку. Різниця частот між сусідніми каналами зв'язку становить 200 кГц. Додаткове стиснення часу дозволяє одночасно розмістити вісім таймслотів для надання голосового сервісу 8 абонентам або 16 при використанні HR-GSM на одній несучій частоті. Але при використанні такого режиму якість сервісу знижується. Якщо використовувати технологію VAMOS, то до 36 абонентів на одному каналі, але тоді якість падає дуже сильно, таку технологію практично не використовують в Україні.

Радіосигнали модулюються за допомогою спектрально ефективного керування частотою Гауса (GMSK) із мінімальними зрушеннями частоти. Ця

операція називається так тому, що послідовність інформаційних бітів до модулятора пропускається через фільтр низьких частот з амплітудною частотною характеристикою Гауса, що призводить до значного зменшення смуги пропускання випромінюваного сигналу. Попередня фільтрація Гаусса може значно збільшити швидкість ослаблення спектру сигналу GMSK порівняно з сигналом MSK.

Поряд із високою спектральною ефективністю модуляції GMSK вона також збільшує міжсимвольні перешкоди. Це може погіршити якість передачі цифрової інформації, оскільки існують додаткові канали прийому як для базових станцій, так і для передавачів, що працюють на одній частоті на сусідніх частотних каналах.

Правильно розроблене планування частотної області відіграє важливу роль у вирішенні проблеми зменшення взаємних перешкод між каналами зв'язку в стандарті GSM. Необхідно забезпечити достатню різницю частот між сусідніми каналами в одній соті та між наступним каналом у сусідній соті.

Отже, при розробці плану частотної області необхідно вирішити наступні протиріччя. З одного боку, необхідно забезпечити необхідний рівень сигналу на вході приймача, а з іншого боку, необхідно забезпечити мінімальний рівень інтерфіренції між каналами.

Система стільникового зв'язку загального користування з кодовим розділенням (CDMA) дозволяє кожному користувачеві всередині комірки використовувати той самий радіоканал і весь призначений діапазон частот. Сусідні стільники використовують той самий діапазон частот. Ємність на комірку визначається балансом між співвідношенням сигнал/шум, необхідним для кожного користувача, і ступенем стиснення кодової послідовності.

Перешкоди на каналі передачі базової станції спричинені лише сусідніми базовими станціями, які працюють у тому самому діапазоні радіочастот і використовують ту саму псевдовипадкову послідовність, але з різними циклічними зміщеннями. Перешкоди від інших абонентських станцій та інших базових станцій визначають верхню межу пропускної здатності мережі CDMA. Коли ви проектуєте

мережу з використанням поділу коду каналу, ви також повинні забезпечити прийнятний загальний рівень перешкод між каналами.

Під час планування мережі LTE враховується багато факторів, але одним із найважливіших є розподіл фізичних ідентифікаторів стільників (PCI) та керування перешкодами за допомогою Mod3. Ці аспекти важливі для забезпечення оптимального покриття, якості з'єднання та продуктивності мережі.

PCI — це фізичний ідентифікатор комірки, який використовується в LTE для унікальної ідентифікації кожної базової станції (eNodeB) і її сектора. PCI варіюється від 0 до 503, а в мережі LTE можна одночасно використовувати до 504 ідентифікаторів. PCI поділяються на 168 груп, по 3 PCI у кожній групі.

mod3 — це техніка для перевірки того, чи значення PCI ділиться на 3. Це використовується для розподілу радіо ресурсів і зменшення фізичних перешкод на каналі. mod3 важливий для планування PRS (Опорний сигнал позиціонування) і PSS/SSS (Первинний/вторинний сигнал синхронізації). [20]

Використовується для визначення інтервалів розподілу PCI. mod3 гарантує, що суміжні клітинки мають різні значення mod3. Це допомагає:

- Мінімізувати перешкоди між сигналами часу (PSS/SSS).
- PCI допомагає ідентифікувати базову станцію, до якої підключено UE (обладнання користувача).
- Використовується для виконання таких процедур, як передача та початкове підключення.
- Сектори, розташовані близько одна до одної, не повинні мати однаковий PCI.
- Конфлікт PCI може викликати помилки, коли UE визначає свою комірку.
- Навіть якщо сектори не перекриваються, ідентичні PCI можуть спричинити проблеми з операціями передачі.
- PCI впливає на розподіл фізичних ресурсів.

Таким чином, вибір правильного PCI може зменшити перебої. Планування PCI та використання Mod3 важливі для забезпечення гарного покриття та продуктивності мережі LTE.

Правильний розподіл PCI та врахування Mod3 забезпечують стабільну роботу мережі навіть у густонаселених районах із високим рівнем використання.

Отже, для оптимізації параметрів систем зв'язку різних стандартів за стандартами якості зв'язку необхідно, з одного боку, забезпечити необхідний рівень сигналу на вході приймача, а з іншого – мінімізувати рівень міжканальних перешкод. Щоб покращити співвідношення сигнал/шум мобільної станції, можна використовувати звичайні методи підвищення рівня сигналу, що випромінюється базовою станцією (збільшення потужності передачі, використання спрямованих антен, збільшення висоти антени).

З іншого боку, рівень перешкод можна знизити, зменшивши потужність передачі та висоту антени. Однак при цьому зменшується зона покриття.

Аналіз даних, отриманих за результатами розрахунків, показує, що найбільший вплив на роботу каналу зв'язку спостерігається лише в тому випадку, коли мобільна станція розташована максимально близько до базових станцій, що працюють на суміжних частотних каналах.

Тому, плануючи частотну область, виберіть групу частот у відповідній комірці так, щоб на вході приймача він міг приймати сигнали щонайбільше від однієї базової станції найближчої комірки, що працює на сусідніх частотах.

Для забезпечення прийнятного відношення сигнал/перешкода на вході базової станції бажано повністю виключити можливість надходження на вхід приймача базової станції сигналів суміжних частот.

2. МЕТОДИ МЕРЕЖЕВОГО СТІЛЬНИКОВОГО ПЛАНУВАННЯ ВИКОРИСТОВУЮЧИ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ATOLL

2.1 Програмне забезпечення Atoll

Atoll — це мульти-технологічна платформа для проектування та оптимізації бездротової мережі, яка підтримує операторів бездротового зв'язку протягом життєвого циклу мережі, від початкового проектування до ущільнення та оптимізації. Атол пропонує унікальні можливості використання як прогнозів, так і живих мережевих даних під час планування та оптимізації мережі.

Atoll включає інтегровані можливості проектування мережі RAN–multiple RAT для радіостанцій 3GPP і 3GPP2 технології доступу, включаючи 5G NR, LTE, NB-IoT, UMTS, GSM і CDMA. Він надає операторам і постачальникам потужну основу для проектування та оптимізації поточних і майбутніх інтегрованих мульти-технологічних мереж.

Atoll підтримує найновіші технологічні досягнення, такі як масивний MIMO, 3D-формування променя та поширення mmWave для проектування та розгортання мереж 5G.

Функції інтеграції та налаштування Atoll допомагають операторам плавно спрощувати планування та оптимізаційні процеси. Atoll підтримує широкий спектр сценаріїв реалізації, від автономних до корпоративних серверів.

Atoll став галузевим стандартом планування та оптимізації радіомереж.

Методи планування в програмі Atoll відрізняються в залежності від вихідних даних та оптимізації, тобто якщо вистачає різноманітних даних то програма може прораховувати дуже багато речей аж до того де потрібно встановити нову базову щоб закрити діри в покритті, або додати ємності, але це потребує багато зусиль і оператори не використовують всіх можливостей цієї програми. Розглянемо можливості цієї програми. [1]

2.2 Базові можливості програми Atoll

У Atoll використовується кілька різних типів географічних даних. Наприклад: цифрова модель місцевості (DTM), класи перешкод, висоти перешкод, онлайн-карти, карти населення, карти даних про дорожній рух і скановані зображення є типами географічні дані, які можна імпортувати або створювати. Деякі типи даних, наприклад класи перешкод, можна використовувати для надання більш реалістичні розрахунки. Інші типи, наприклад скановані зображення, використовуються для створення більш реалістичного відображення досліджуваного регіону.

Географічні дані

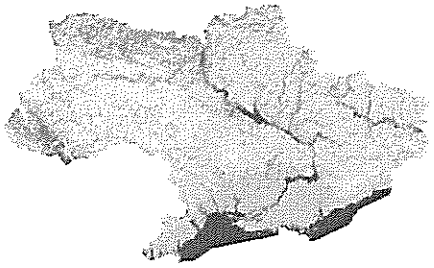


Рис. 2.1 Рельєфна карта в атоллі.

Ви можете імпортувати різноманітні файли геоданих у векторному та растровому форматі. Коли ви імпортуєте файл геоданих у Атол, ви можете вибрати, в яку папку він поміститься. У вікні Geo Explorer є папки для даних, які зазвичай види використовуються.

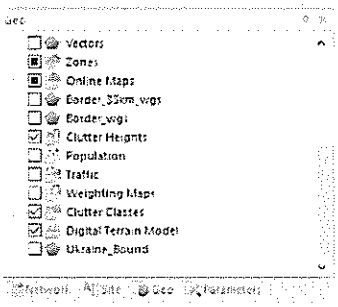


Рис. 2.2 Вікно Geo Explorer

Тому вибір папки означає вибір того, для чого буде використовуватися файл. Ви також можете створити власний тип даних шляхом імпортування файлу та визначення даних, які використовуватимуться.

Після того, як ви імпортували файл у документ Atoll, ви можете редагувати дані, визначити, які геодані будуть відображається.

Atoll також дозволяє керувати кількома файлами для одного типу даних, вирішуючи пріоритет файлів даних, різна інформація або різні резолюції. Ви також можете відображати геодані над елементами в Мережевому провіднику, шляхом передачі їх у Мережевий провідник або імпортуючи їх безпосередньо в Мережевий провідник. [2]

Також є можливість створювати та редагувати географічні дані. Можна додати векторний шар до певних типів даних, до яких можна додати контури, лінії або точки, створювати нові географічні дані або змінювати існуючі дані.

Можна створити растрові географічні дані, такі як карти дорожнього руху або класи безладу.

Можна експортувати більшість об'єктів геоданих (наприклад, DTM, класи перешкод, висоти перешкод, растрові полігони або векторні шари) для використання в інших документах Atoll або в інших програмах.

Atoll також дозволяє зберігати зміни, які вносяться об'єкти геоданих повернути до оригінальних файлів. Це дає змогу оновлювати вихідні файли та, використовуючи процес зберігаючи їх, повторно стисніть файл. В Atoll визначається дві системи координат для кожного документа Atoll: систему координат проекції та відображення системи координат. За замовчуванням для обох використовується та сама система координат. без спотворень, тому картограф повинен вибрати характеристику (відстань, напрямок, масштаб, площу або форму) який має бути показаний належним чином за рахунок інших характеристик, або він повинен піти на компроміс щодо кількох характеристики. Прив'язка проектованих зон здійснюється за допомогою картографічних координат (метр, ярд тощо).

Широко використовуються дві проекційні системи:

Конформно-конічна проекція Ламберта: частина землі математично проектується на конус концептуально січна на одній або двох стандартних паралелях. Цей тип проекції корисний для представлення країн або регіони, які лежать переважно зі сходу на захід.

Універсальна поперечна проекція Меркатора (UTM): частина Землі математично проектується на циліндр, дотичний до меридіана (який є поперечним або поперечним до екватора). Цей тип проекції корисний для картографування великих територій, які орієнтовані з півночі на південь.

Географічна система — це не проекція, а географічне відображення місця на земній поверхні координати (градус-хвилина-секунда або клас), що вказують широту та довготу відносно початкового меридіана (Париж для системи NTF і Грінвіч для системи ED50). Місця в географічній системі можуть бути перетворено в інші проекції.

Атол має бази даних, що включають понад 980 посилань на міжнародні системи координат, базу даних на основі European Petroleum Survey Group та ще одна, яка перегруповує лише системи координат Франції. Атол використовує картографічні системи координат для проектування та картографічні або географічні системи координат для дисплей.

Карти, які відображаються в робочій області, пов'язані з тією ж системою проекції, що й імпортована географічна карта файли даних; таким чином, система проекції залежить від імпортованого географічного файлу. Вибравши певний дисплей системи, ви можете побачити (за допомогою лінійок або рядків стану) розташування сайтів на карті в системі координат відрізняється від системи координат проекції. Ви також можете позиціонувати на карті сайти, на які є посилання на дисплеї система:

- координати автоматично перетворюються з системи проекції в систему відображення та сайт;
- відображається на карті;
- Цифрова модель місцевості.

DTM описує висоту землі над рівнем моря.

ЦММ можна відобразити різними способами: одиночним значення, дискретні значення або інтервали значень.

DTM автоматично враховується моделлю розповсюдження під час обчислень.

Класи безладу

Файл географічних даних класу перешкод описує ґрунтовий покрив або землекористування. Класи безладу враховуються модель поширення під час обчислень.

Кожен піксель у файлі класу перешкод містить код (з максимум 256 можливих класів), який відповідає клас захаращення, або, іншими словами, до певного типу використання ґрунту чи покриття. Висоту на клас можна визначити як частину класу перешкод, однак висота буде визначена як середня висота для кожного класу перешкод.

Карта висоти безладів може представляти висоту набагато точніше, оскільки це дозволяє призначати різну висоту для кожного пікселя карти.

Clutter Heights

Карти висоти перешкод описують висоту перешкод над DTM з визначенням однієї висоти для кожного пікселя. Висота безладу карти можуть надавати точнішу інформацію, ніж визначення висоти для кожного класу перешкод, оскільки у файлі висоти перешкод, можна мати різну висоту в межах одного класу перешкод.

Коли висота перешкод визначається як у класах перешкод, так і на карті висоти перешкод, висота перешкод береться з карта висоти безладу.

Контури, лінії та точки

Atoll підтримує контури, лінії та точки для представлення багатокутників, наприклад регіонів, або ліній, таких як дороги чи узбережжя, або бали. Вони використовуються лише для відображення та не впливають на обчислення. Для створення також можна використовувати контури фільтрування багатокутників або обчислень або зон фокусування.

Відскановані зображення

Відскановані зображення – це файли географічних даних, які представляють фактичне фізичне оточення, наприклад дорогу карти або супутникові зображення. Вони використовуються для створення точного фону для інших об'єктів або для менш точних карт і використовуються лише для відображення; вони не впливають на розрахунки.

Карти населення

Карти населення містять інформацію про густоту населення або про загальну кількість жителів. Карти населення можна використовувати у звітах про прогнози для відображення, наприклад, абсолютних і відносних чисел охоплене населення. Карти населення не впливають на прогнози та результати моделювання.

Карти даних про дорожній рух

Карти даних про трафік містять інформацію про пропускну спроможність і використання послуг у географічній зоні. Використовуються карти даних про дорожній рух для аналізу потужності мережі.

Користувацькі карти даних

Ви можете імпортувати багато різних типів файлів, наприклад, даних про дохід, кількість опадів або соціально-демографічні дані. Ви могли б використовувати імпортовані дані у прогнозованих звітах. Наприклад, ви можете відобразити прогнозований дохід для визначеного покриття. Ці імпортовані дані не впливають на результати прогнозування та моделювання.

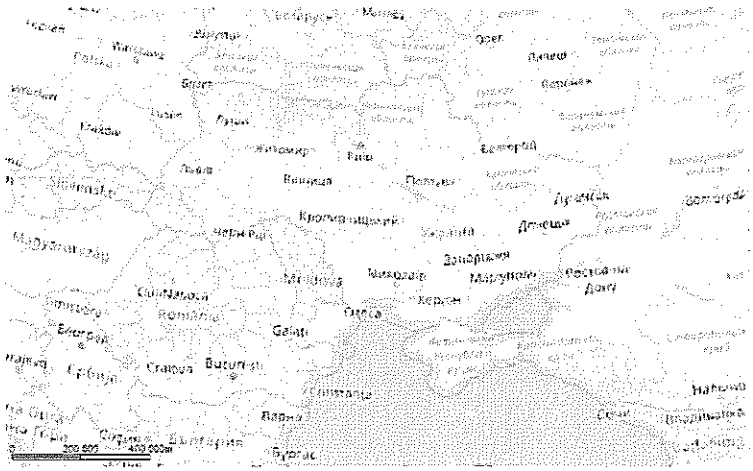


Рис. 2.3 Рельєфна карта з включеною онлайн-мапою від OpenStreetMap

Онлайн карти

У вікні карти можна відображати різні типи онлайн-карт. З Geo Explorer ви можете отримати до них доступ карти безпосередньо або вказавши URL-адреси своїх серверів.

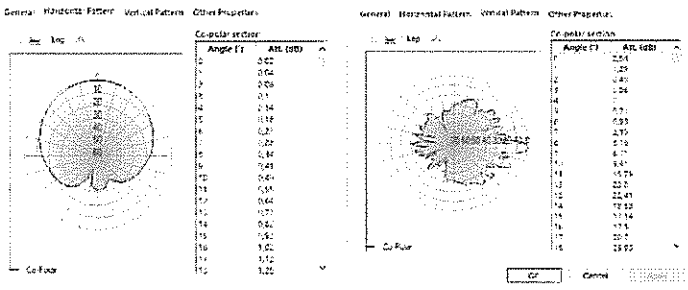


Рис. 2.4 Горизонтальний і вертикальний розкрив антени

Кожен шаблон проекту Atoll має антени, які підтримують технологію шаблону. Ви можете використовувати антену [1]

Вікно властивостей для створення, редагування та перегляду таких параметрів, як виробник, посилення, горизонтальний і вертикальний малюнок візерунок.

Вкладка Загальне

Вкладка Загальні містить загальну інформацію про антену.

Ім'я: за потреби ви можете змінити ім'я за умовчанням.

Фізична антена: назва фізичної антени, до якої належить модель антени.

Фізична антена може мати одну або кілька моделей антен (діаграм спрямованості), що відповідають різним електричним нахилам. Якщо ви хочете позначити фізичну антену як застарілу, додайте слово «застаріла» (не враховуючи регістр) до назви фізичної антена. Фізичні антени, позначені як застарілі, не перераховані серед доступних антен у Антені

Виробник: назва виробника антени.

Ширина променя половинної потужності: Ширина променя половинної потужності антени є апертурою її горизонтальної діаграми спрямованості що відповідає затуханню діаграми 3 дБ. Це поле використовується помічником вибору

антени для фільтрації антени та має бути правильно встановлено (тобто відповідно до визначеної діаграми спрямованості антени), якщо ви бажаєте, щоб антена бути доступним у помічнику вибору антени для передавача.

Частоти: тут визначаються мінімальна та максимальна робочі частоти антени. Ці поля використовуються помічника з вибором антени, щоб фільтрувати антени та пропонувати антени, сумісні з робоча частота передавача.

Коментарі: будь-яка додаткова інформація про антену.

Вкладки «Горизонтальний візерунок» і «Вертикальний шаблон».

Ці вкладки відображають діаграми горизонтальної та вертикальної діаграми спрямованості антени та таблицю ослаблення в дБ (Ат.) на Кут. Ви можете вказати до 720 значень затухання для кутів від 0° до 359°.

При рознесенні передачі або прийому використовується більше ніж одна передавальна або приймальна антена для надсилання або отримання більше ніж одна копія того самого сигналу. Сигнали конструктивно поєднуються (з використанням оптимального відбору або максимального співвідношення комбінування) на приймачі для виділення корисного сигналу. Оскільки приймач отримує більше однієї копії корисного сигналу, рівень сигналу на приймачі після об'єднання всіх копій більш стійкий до перешкод, ніж одна сигнал буде. Таким чином, рознесення покращує C/(I+N) у приймачі. Його часто використовують для областей клітини які мають недостатні умови C/(I+N).

В Atoll ви можете встановити, чи сота підтримує рознесеність передачі чи отримання, вибравши відповідну рознесеність режими підтримки у властивостях соти. Виграш від рознесення на низхідній і висхідній лінії зв'язку можна визначити в обладнанні прийому для різної кількості портів передаючої та приймальної антени, типів мобільності, носіїв і максимального BLER.

Для кожного класу перешкод можна визначити додаткові значення підсилення. Для отримання інформації про налаштування додаткового висхідного та низхідного каналів зв'язку збільшення різноманітності для кожного класу перешкод або для всіх класів перешкод див.

Під час обчислень в Atoll користувач (піксель, мобільний або абонент), який використовує MIMO-сумісний термінал і підключений до стільник, який підтримує рознесення передавання або прийому, отримає вигоду від переваг рознесення C/(I+N) низхідної або висхідної лінії зв'язку, якщо отриманий критерій SU-MIMO (RS C/N, RS C/(I+N) або PDSCH або PUSCH C/(I+N)) менше порогового значення SU-MIMO визначені в приймальному обладнанні терміналу або комірки відповідно.

Створивши мережу, ви можете робити прогнози. Існує два типи прогнозів:

Прогнози точок: Інструмент аналізу точок дозволяє передбачити в будь-якій точці карти профіль між опорний передавач і приймач, значення рівнів сигналів оточуючих передавачів, актив аналіз набору або аналіз перешкод залежно від радіо технології.

Прогнози покриття: Ви можете розрахувати стандартні прогнози покриття, покриття передавача, покриття за рівень сигналу та зони перекриття, а також конкретні прогнози покриття, такі як прогнози перешкод, передача або доступність послуги. Доступно багато функцій налаштування прогнозів покриття легше їх аналізувати.

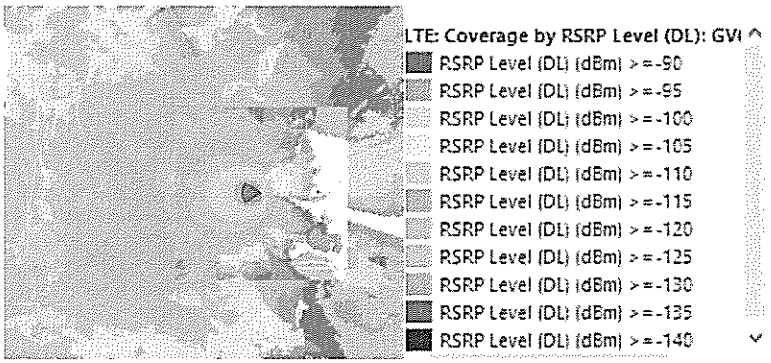


Рис. 2.5 Розрахунок сили сигналу стільника LTE

Atoll полегшує обчислення прогнозів покриття завдяки підтримці багатопоточності та розподіленого обчислення.

Хід обчислень можна відобразити у засобі перегляду подій або у файлі журналу.

Atoll також дозволяє використовувати полігональні зони для обмеження кількості ресурсів і часу, що використовується для обчислень. Багатокутні зони, такі як зона фільтрації та зона обчислень, допомагають обмежити обчислення певним набір передавачів, а також для обмеження обчислень і передбачень покриття.

Залежно від типу проекту, над яким ви працюєте, ви можете вибрати одну з доступних моделей розповсюдження Атол.

Якщо ви розглядаєте висоту перешкод, не визначайте втрати для кожного класу перешкод. У цьому випадку буде f (безлад) буде "0;" втрати через перешкоди будуть враховані лише в розрахованій дифракції. Цей підхід є рекомендовано, якщо інформація про висоту перешкод є напівдетермінованою (тобто де перешкоди приблизно визначені із середньою висотою на клас перешкод) або детермінований (тобто де перешкоди чітко визначені за допомогою середня висота над рівнем моря на клас перешкод або якщо є файл висоти перешкод).

Якщо інформація про висоту перешкод є середньою висотою, визначеною для кожного класу перешкод, ви повинні вказати приймача кліренс на клас захаращення. Висота землі та перешкоди враховуються вздовж усього приймача передавача профілю, за винятком певної відстані навколо ствольної коробки (зазору), на якому Атолл базує свій розрахунки тільки по DTM. Інформація про дозвіл використовується для моделювання вулиць, оскільки передбачається, що приймач знаходиться на вулиці.

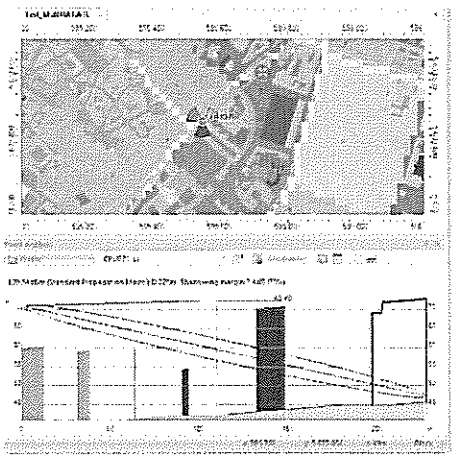


Рис. 2.6 Приклад рельєфу перешкод у місті

Немає необхідності визначати відстань приймача, якщо інформація про висоту отримана з файлу висоти перешкод. У цьому випадку інформація про висоту перешкод є достатньо точною, щоб використовувати її без додаткової інформації, такої як зазор.

Atoll обчислює втрати на шляху, якщо приймач знаходиться на вулиці (якщо висота приймача вища за перешкоди висота). Якщо висота приймача нижча за висоту перешкод, вважається, що приймач знаходиться всередині будівлі.

У цьому випадку Atoll не враховує будь-яку дифракцію для будівлі (або будь-який зазор), але бере до уваги втрати класу перешкод у приміщенні як додаткові втрати проникнення. Тим не менш, Atoll розглядає дифракцію через навколишні будівлі.

Коли Atoll виконує обчислення, такі як передбачення покриття, Atoll обчислює всі активні базові станції, відфільтровані (тобто вибрані поточними параметрами фільтра), і чия зона розповсюдження перетинає прямокутник містить зону обчислення.

Коли ви завантажуєте дані проекту з бази даних, ви, ймовірно, змінюватимете лише дані в регіоні, у якому ви перебуваєте відповідальний. Наприклад, складний проект радіо планування може охоплювати цілий регіон або навіть цілу країну.

Однак ви можете відповідати за радіо планування лише для одного міста. У такій ситуації розрахунок над вся мережа не тільки займе багато часу, але й не потрібна. Отже, ви можете обмежити обчислення базові станції, які вас цікавлять, і генеруйте лише ті результати, які вам потрібні.

В Atoll існує два способи обмеження кількості базових станцій, які беруть участь у обчисленнях, кожен із яких має власний переваги:

Фільтрація потрібних базових станцій

Ви можете спростити вибір базових станцій для вивчення за допомогою фільтра. Ви можете фільтрувати базові станції відповідно до одного чи кількох полів, або ви можете створити розширений фільтр, об'єднавши кілька критеріїв у кількох поля. Ви можете створити графічний фільтр, використовуючи існуючий векторний багатокутник або створивши новий вектор багатокутник. Це дає змогу

зберегти лише базові станції з характеристиками, які вам потрібні для ваших розрахунків. Враховується зона фільтрації видно чи ні.

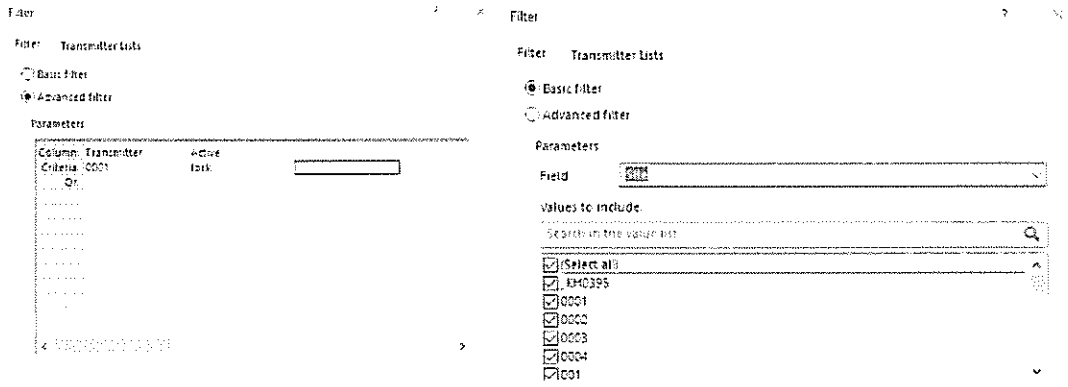


Рис. 2.7 Фільтр в програмі Atoll

Встановлення зони обчислень

Малювання обчислювальної зони, яка охоплює сайти, які потрібно дослідити, обмежує кількість сайтів, які потрібно обчислити, що, в свою чергу, скорочує час, необхідний для розрахунків. У меншому проекті економії часу може не бути значний. У великому проекті, особливо коли ви робите повторювані прогнози, щоб побачити ефект невеликих змін у конфігурації сайту суттєва економія часу. Обмеження кількості сайтів на малювання зони обчислень також обмежує обчислення. Чи враховується зона розрахунку чи не видно.

Важливо не плутати зону обчислення та зону фокусування або гарячу точку. Зона обчислень визначає область, де Atoll обчислює матриці втрат на шляху, прогнози покриття, моделювання Монте-Карло та тощо, тоді як зона фокусування або гаряча точка – це область, яка береться до уваги під час створення звітів та результати.

Можна вивчити пропускну здатність мережі, вивчивши попит на трафік, який є необхідною умовою для визначення параметрів мережі, яку мережа може обробляти. Кожна радіо технологія використовує різні методи регулювання потужності мінімізувати перешкоди. Atoll може моделювати ці механізми регулювання мережі, таким чином дозволяючи вам вивчати потужність мережі.

В Atoll симуляція базується на реалістичному розподілі користувачів у певний момент часу. Розподіл користувачів на даний момент називається моментальним знімком. На основі цього знімка Atoll розраховує різні параметри мережі такі як:

Для трафіку GSM: навантаження на трафік низхідної та висхідної лінії зв'язку, зростання шуму висхідної лінії зв'язку тощо.

Для трафіку UMTS: активний набір для кожного мобільного, необхідна потужність мобільного, загальна потужність DL і DL пропускна здатність на комірку та навантаження UL на сот.

Для частини трафіку CDMA: активний набір для кожного мобільного, необхідна потужність мобільного, загальна DL потужність і навантаження UL на сот.

Для трафіку LTE та 5G NR: навантаження на трафік низхідної та висхідної лінії зв'язку, зростання шуму висхідної лінії зв'язку, пропускна здатність користувачів тощо.

Симуляції обчислюються ітераційним способом. Коли кілька симуляцій виконуються одночасно, використовуючи однакова інформація про дорожній рух, розподіл користувачів буде іншим, відповідно до розподілу Пуассона.

Отже, ви можете мати варіації в розподілі користувачів від одного знімка до іншого.

Щоб створити знімки, служби та користувачі повинні бути змодельовані. А також певну інформацію про дорожній рух у вигляді дорожнього руху необхідно надати карти. Після моделювання послуг і користувачів і створення карт дорожнього руху ви можете моделювати мережевий трафік.

Діалогове вікно властивостей служби складається з кількох вкладок, залежно від технологій радіо доступу, які можна використовуєте. Використовують для документів Single-RAT діалогове вікно відображає вкладку Загальні та вкладку Параметри. Для Multi-RAT документів, є вкладка Загальні та вкладка для кожної технології.

Вкладка Загальне

Ім'я: надається ім'я за умовчанням, але ви можете встановити більш описове ім'я.

Фактор активності: коефіцієнти активності висхідної та низхідної лінії зв'язку використовуються для визначення ймовірності активності для користувачі, які отримують доступ до служби під час моделювання Монте-Карло. Для послуг з комутацією пакетів (даних) цей параметр використовується під час роботи з картами секторного трафіку та картами щільності трафіку користувачів. Для комутованих ланцюгів послуги (голос), параметр враховується при будь-якій карті руху.

Середня запитана пропускна здатність: Ви можете ввести середню запитану пропускну здатність для висхідного та низхідного каналів зв'язку. Ця пропускна здатність є середньою пропускною здатністю, отриманою користувачем послуги. Як середній просив пропускна здатність, яка використовується в Atoll, залежить від типу послуги:

За схемою або за винятком пакетів (HSPA): ця пропускна здатність є середньою пропускною здатністю, отриманою користувачем обслуговування. Він використовується в симуляції під час створення розподілу користувачів для обчислення кількості користувачів спроби з'єднання та визначення статусу активності.

Пакет (HSPA): ця пропускна здатність є необхідною середньою пропускною здатністю, яка гарантує мінімум середня пропускна здатність під час виклику HSUPA. Він використовується двічі в симуляції: один раз під час розподілу користувачів генерації, щоб обчислити кількість користувачів HSUPA, які намагаються підключитися, а потім протягом контроль потужності як цільовий показник якості для порівняння з реально отриманою середньою пропускною здатністю.

Підтримувані технології (для документів 5G Multi-RAT): натисніть «Огляд», щоб вибрати технології, які використання послуг. У розділі 4G/5G вкажіть тип послуги та підтримувані рівні для вибраних технологій.

Технологічні пріоритети (лише для документів 3GPP і 3GPP2 Multi-RAT): натисніть «Огляд», щоб вибрати технології, які використовує сервіс, а також їх пріоритет.

2.3 Налаштування різних технологій стільникового зв'язку в програмі Atoll

Вкладка Параметри GSM

Тип: Ви можете вибрати «Circuit», «Packet (Max Bit Rate)» або «Packet (Constant Bit Rate)» як послугу типу. Якщо ви виберете «Circuit», єдиним застосовним параметром буде максимальна ймовірність блокування (або затримки) (Erlang B або C відповідно).

Пріоритет: введіть пріоритет для цієї послуги. «0» — найнижчий пріоритет.

Максимальна пропускна здатність: максимальна пропускна здатність висхідної та низхідної лінії зв'язку на користувача використовується в моделюванні для мереж GPRS/EDGE.

Потреба мінімальної пропускної здатності: мінімальна пропускна здатність висхідної лінії зв'язку на користувача використовується в процесі моделювання для GPRS/EDGE мережі. Мінімальна пропускна здатність низхідної лінії зв'язку на користувача використовується як для визначення розмірів, так і для моделювання процесів для мереж GPRS/EDGE.

Максимальна ймовірність блокування (або затримки): максимальна швидкість блокування визначає блокування виклику або його чергування швидкість для голосових послуг GSM та ймовірність затримки пакетів для послуг передачі даних GPRS/EDGE.

Максимальна затримка пакета: максимальний період часу, протягом якого пакет може бути затриманий перед передачею.

Необхідна доступність для мінімальної пропускної здатності: мінімальний відсоток покриття стільника пропускна здатність (або гарантована швидкість передачі даних для служб з комутацією пакетів із постійною швидкістю передачі

даних) на користувача має бути доступний. Це значення також використовується при визначенні розмірів.

Максимальна кількість часових інтервалів на несучу: максимальна кількість часових інтервалів на несучу використовується під час вимірювання, щоб обмежити кількість часових інтервалів, які можна призначити користувачеві, який використовує цю послугу на носії. Цей параметр застосовується до послуг з комутацією пакетів. Для служб з комутацією пакетів із постійною швидкістю передачі даних, таких як VoIP, цей параметр повинен бути встановлений на «1».

Пропускна здатність програми: Ви можете визначити коефіцієнт масштабування та зсув. Коефіцієнт масштабування пропускної здатності і зміщення використовуються для визначення пропускної здатності рівня користувача або програми в пропускній здатності керування радіолінією (RLC) або прогноз покриття часових інтервалів. Пропускна здатність програми обчислюється шляхом множення пропускної здатності RLC за коефіцієнтом масштабування та відніманням зсуву. Ці параметри моделюють інформацію заголовка та інше додаткові дані, які не відображаються на рівні програми.

Вкладка LTE / NB-IoT

Тип: для LTE ви можете вибрати «Голос» або «Дані» як тип послуги. Для NB-IoT потрібно вибрати «IoT».

Підтримувані рівні: Ви можете вибрати мережеві рівні, які підтримує служба. Під час обчислень користувачі підключається лише на дозволених рівнях зв'язку, які підтримуються їхніми службами.

Ідентифікатор класу QoS (QCI): Ви можете вибрати ідентифікатор класу QoS для послуги. Інформація про QoS клас, який використовується будь-якою службою, використовується планувальниками для розподілу ресурсів.

Пріоритет QCI: Пріоритет, що відповідає вибраному ідентифікатору класу QoS (QCI). Значення QCI та їх пріоритети визначаються 3GPP наступним чином:

QoS class identifier	1	2	3	4	5	6	7	8	9
QCI priority	2	4	3	5	1	6	7	8	9

Рис. 2.8 Співвідношення класів та пріоритетів QCI

Пріоритет: введіть визначений користувачем пріоритет для послуги щодо інших служб, що належать до того самого QoS ідентифікатор класу (QCI). «0» — найнижчий пріоритет.

Агрегація операторів або підтримка кількох операторів: для LTE поставте прапорець, якщо послуга підтримує оператора агрегація. Для NB-IoT установіть цей прапорець, якщо служба підтримує роботу з кількома операторами.

Найвищий канал: виберіть найвищий канал, який служба може використовувати у висхідному та низхідному каналах. Це розглядається як верхня межа під час визначення носія.

Найнижчий канал: виберіть найнижчий канал, який служба може використовувати у висхідному та низхідному каналах. Це вважається як нижня межа під час визначення носія.

Потреба мінімальної пропускної здатності та Потреба максимальної пропускної здатності: введіть мінімальну та максимальну пропускну здатність, які послуга може вимагати у висхідній і низхідній лінії зв'язку.

Мінімальна кількість частотних блоків або кількість підтримуваних тонів: для LTE введіть мінімальну кількість частот блоків, необхідних для цієї послуги у висхідній лінії зв'язку. Для NB-IoT виберіть кількість тонів, підтримуваних у висхідній лінії зв'язку передачі. Якщо ви не вибрали жодної кількості тонів, це вважається таким же, як якщо б усі номери були обрані тони.

Пропускна здатність програми: у розділі Пропускна здатність програми можна встановити коефіцієнт масштабування між програмами пропускна здатність і пропускна здатність RLC (керування радіоканалом) і зміщення пропускної здатності. Ці параметри моделі інформація заголовка та інші додаткові дані, які не відображаються на рівні програми. Параметри пропускної спроможності програми

використовуються для прогнозування покриття пропускної здатності та для програми розрахунок пропускної здатності.

Втрата тіла: введіть втрату тіла для послуги. Втрата тіла – це втрата через тіло користувача. Наприклад, у голосовому зв'язку втрата тіла через близькість голови користувача оцінюється в 3 дБ. [22]

2.4 Особливості планування для різних технологій в програмі Atoll

Планування мережі GSM/GPRS/EDGE

Atoll дозволяє створювати та змінювати всі аспекти мережі GSM/GPRS/EDGE. Після того як ви створили мережу, Atoll пропонує багато інструментів, які дозволять вам перевірити мережу. За результатами ваших тестів можна змінити будь-який параметрів, що визначають мережу.

Параметри передавача можна знайти в діалоговому вікні властивостей передавача. Коли ви створюєте діалогове вікно «Властивості» має чотири вкладки: вкладка «Загальні», вкладка «Передавач», вкладка «TRXs», вкладка «AFP» і вкладку «Конфігурації». Як тільки у вас є створений передавач, його діалогове вікно «Властивості» має чотири додаткові вкладки: вкладку «Сусіди всередині технології», Вкладка «Сусіди між технологіями», вкладка «Поширення» та вкладка «Відображення».

Вкладка Загальне

Назва: вказує назву або основний ідентифікатор сайту. Atoll автоматично генерує назву за замовчуванням для new передавачів на основі назви сайту, до якої додається символ підкреслення та номер.

Сайт: вказує сайт, на якому розташований передавач. Натисніть кнопку «Огляд», щоб отримати доступ до властивостей сайту. Натисніть кнопку «Новий», щоб створити сайт для передавача.

ID: Ви можете ввести ідентифікатор для передавача. Це визначений користувачем параметр мережевого рівня для ідентифікацій стільника.

Рівень HCS: Виберіть рівень HCS (рівень ієрархічної клітинної структури) для передавача. Ви можете натиснути «Огляд», щоб відкрити властивості вибраного шару HCS. Ви можете ввести певний поріг рівня HCS для цього передавача. Порогове значення, визначене на рівні HCS властивостей розглядається, лише якщо в цьому полі не введено значення.

Спільна антена: визначає передавачі, ретранслятори та віддалені антени, розташовані на одному місці або на сайтах з однаковою позицією та спільною антеною. Запис у полі має бути однаковим для всіх передавачів, ретрансляторів і віддалених антен, які спільно використовують ту саму антену. Коли вносяться зміни до зсув положення (Dx, Dy), азимут, висота антени або механічний нахил однієї антени, Atoll автоматично синхронізує ті самі зміни з усіма іншими передавачами, ретрансляторами та віддаленими антенами, визначеними як наявність спільної антени.

Спільний шаблон: відображає діаграму спрямованості спільної антени.

Положення антени: визначає координати антени, які можуть бути відносними до місця розташування або абсолютними координатами.

Виберіть Relative to site, щоб ввести положення антени як зміщення відносно координат сайту, у цьому випадку необхідно ввести значення зсуву Dx і Dy.

Виберіть Координати, щоб ввести абсолютні координати антени за допомогою вказаної системи координат. У цьому випадку необхідно ввести координати X і Y антени.

Вкладка передавача

Активний: виберіть цей параметр, щоб указати, активний чи неактивний передавач. Відображаються передавачі у Мережевому провіднику за допомогою піктограми активного або неактивного.

Тип передавача: якщо ви хочете, щоб Atoll розглядав передавач як потенційний сервер, а також як джерело перешкод, встановіть тип передавача на внутрішньо мережевий (сервер і перешкода). Якщо ви хочете, щоб Atoll розглянув передавач лише як джерело перешкод, встановіть тип на Inter-Network (Interferer Only). Для передбачення покриття буде розраховано лише передавач, що створює

перешкоди. Це дає змогу моделювати співіснування різних мереж в одній географічній зоні.

Передача/прийом: у цій області відображаються загальні втрати та коефіцієнт шуму передавача. Втрата і шум розраховується відповідно до характеристик обладнання, призначеного для передавача. Обчислені значення вказуються в полях «Обчислені», але ви можете замінити ці значення, вказавши фактичні втрати та показники шуму в реальних полях. Обладнання можна призначити за допомогою діалогового вікна Специфікації обладнання, натиснувши кнопку Обладнання.

Потужність: у розділі «Потужність» можна вибрати значення «Потужність» або «ЕІІП» (ефективна ізотропна потужність випромінювання). Якщо ви вибрали EIRP, ви можете ввести значення самостійно, не визначаючи потужність і втрати для передавача. Якщо вибрати Power, Atoll розраховує втрати та шум відповідно до характеристик обладнання призначений для передавача. Обладнання можна призначити за допомогою діалогового вікна Специфікації обладнання який з'являється після натискання кнопки Обладнання. Atoll розраховує EIRP за такою формулою: EIRP = потужність + посилення - втрати DL

Антени:

Висота/земля: поле "Висота/земля" вказує висоту антени над землею. Це додається до висоти ділянки, як зазначено DTM. Якщо дистанційна антена розташована на будівлі, висота введена повинна включати висоту будівлі.

Основна антена: у розділі «Головна антена» тип антени відображається у списку моделей. Ви можете натиснути кнопку огляду для доступу до властивостей антени. Натисніть кнопку «Вибрати», щоб відкрити помічника вибору антени. Цей помічник перераховує всі антени, які відповідають вибраній на даний момент фізичній антені та мінімальному та максимальному режиму роботи частоти включають робочу частоту передавача.

Механічний азимут, механічний нахил, електричний азимут, електричний нахил та додатковий електричний нахил відображення додаткових параметрів антени.

У розділі «Вторинні антени» ви можете вибрати одну або кілька додаткових антен у стовпці «Антена» та ввести їх азимут, механічний нахил, додатковий електричний нахил і % потужності, що є відсотком потужності, зарезервованої для цієї конкретної антени. Наприклад, для передавача з однією вторинною антенною, якщо ви резервуєте 40% загальної потужності для вторинної антени, 60% доступно для основної антени.

Вкладка Конфігурації

У розділі «Властивості GPRS/EDGE» потрібно встановити прапорець «Передавач GPRS/EDGE», якщо передавач буде передавачем з пакетною комутацією. Ви можете вибрати конфігурацію схеми кодування з списоку. Ви можете натиснути кнопку «Огляд», щоб отримати доступ до властивостей конфігурації.

У розділі «Властивості GSM» ви можете вибрати зі списку «Конфігурація кодека». Ви можете натиснути кнопку Огляд щоб отримати доступ до властивостей конфігурації кодека, призначеного для передавача GSM.

Вкладка поширення

Матриця втрат на шляху містить набір значень втрат на шляху, обчислених для кожного пікселя в певній області. Ця вкладка

визначає основні параметри для розрахунку втрат на шляху обчислення для поточного елемента мережі. Atoll дозволяє обчислювати два рівні матриць втрат на шляху:

Основна матриця: укажіть параметри для розрахунку втрат на шляху за малого радіуса з вищою роздільною здатністю.

Розширена матриця: укажіть параметри для обчислення втрат на шляху за більшого радіуса з меншою роздільною здатністю. Для кожної матриці ви можете змінити модель поширення, радіус і роздільну здатність.

Відображення вкладки

На вкладці «Відображення» ви можете змінити спосіб відображення поточного елемента мережі. На Атолі TRX означає картку передачі/прийому. У проектах GSM/GPRS/EDGE, частоти та канали визначаються за допомогою TRX.

У режимі без стрибків або стрибків основної смуги може бути призначена одна частота або канал до кожного TRX. У режимі синтезованої стрибкоподібної зміни частоти кожному TRX можна призначити більше однієї частоти. Кількість часових інтервалів, підтримуваних TRX, визначає коефіцієнт мультиплексування частоти, що використовує цей TRX. В Atoll TRX моделюються за допомогою визначених типів TRX. У проекті GSM/GPRS/EDGE доступні три типи TRX шаблонів:

BCCH: носій каналу керування трансляцією (BCCH).

TCH: оператор трафіку за умовчанням (TCH).

TCH_EGPRS: оператор трафіку EDGE (TCH_EGPRS).

TCH_INNER: оператор внутрішнього трафіку (TCH_INNER).

TRX та їхні властивості знаходяться на вкладці TRXs діалогового вікна Properties передавача, до якого вони призначаються.

На вкладці TRXs є такі параметри, пов'язані з TRX:

У розділі TRX у таблиці перелічено кожен TRX, призначений для передавача. Початкові параметри з вибраної комірки тип і може бути змінений.

Індекс: це ідентифікаційний номер TRX. Число має бути цілим і може бути визначено користувачем або автоматично призначається Atoll, коли ви закриваєте діалогове вікно.

Тип TRX: тип TRX може бути одним із типових типів TRX, доступних у проекті GSM GPRS EDGE шаблон:

BCCH: носій каналу керування трансляцією (BCCH).

TCH: оператор трафіку за умовчанням (TCH).

TCH_EGPRS: оператор трафіку EDGE (TCH_EGPRS).

TCH_INNER: оператор внутрішнього трафіку (TCH_INNER).

Канали: канали, призначені для TRX. Ви повинні вказати 1 канал на TRX, якщо режим перемикання для тип TRX — «Без стрибків» або «Стрибки основного діапазону», і більше одного каналу на TRX, якщо стрибки режим для типу TRX — «Синтезований стрибок». Ви можете вводити канали напряму (розділивши їх за допомогою коми, крапки з комою або пробілом) або ви можете ввести діапазон каналів, розділяючи перший і останній канали через дефіс (наприклад, введення «1-

5» відповідає «1 2 3 4 5»). Ви також можете вибрати канал із список, який пропонує вам канали з частотної області, призначеної для типу TRX, яким є цей TRX на основі. [2]

MAIO: MAIO (Mobile Allocation Index Offset) використовується для стрибків частоти (BBH або SFH), щоб уникнути внутрішнього зіткнення, спричинені двома сайтами, які використовують один і той самий або суміжні канали. Це значення є цілим діапазоном від 0 до N-1 (де «N» — це кількість каналів, що використовуються в послідовності стрибків). Ви можете ввести MAIO або його можна розподілити автоматично за допомогою AFP.

Блокувати канали та MAIO: якщо встановлено цей прапорець, наразі призначені канали TRX і MAIO зберігається, коли починається новий сеанс AFP.

Конфігурація TRX: вибрана конфігурація TRX визначає найвищий можливий індекс схеми кодування номер в GPRS і в EDGE. Щоб конфігурація TRX використовувалася повною мірою, термінал повинен мати такі можливості з використанням індексу кодування, такого ж високого, як у конфігурації TRX. Інакше місткість буде обмежений найвищим номером індексу, який підтримується терміналом.

EDGE Power Backoff (дБ): середнє зниження потужності для передавачів EDGE завдяки 8PSK, 16QAM і модуляції 32QAM в EDGE. Це впливає на зону обслуговування EDGE, яку можна побачити в пробах аналізу та прогнозів EDGE.

Ранг TRX: рейтинг TRX визначається AFP. Це вказує на якість цього TRX. Чим вище TRX рангу, тим вища вартість з точки зору ризику перешкод. Іншими словами, коли ви намагаєтеся вдосконалюватися. Рішення, запропоноване інструментом AFP, ви повинні спочатку зосередитися на TRX з найвищим рейтингом TRX.

Додаткове підвищення шуму DL (дБ): це підвищення шуму відображає перешкоди, створювані мобільними телефонами зовнішня мережа на мобільних телефонах, які обслуговуються цим TRX на низхідній лінії зв'язку. Це підвищення шуму буде враховано у всіх розрахунках на основі перешкод із залученням цього TRX.

Внутрішньо технологічне підвищення шуму UL (дБ): це підвищення шуму відображає перешкоди, створювані мобільними телефонами в поточній мережі через цей TRX на висхідній лінії зв'язку. Значення може бути визначено користувачем або отримано з моделювання методом Монте-Карло. Це зростання шуму використовується для розрахунку перешкод UL.

Планування мережі LTE

Модуль Atoll LTE забезпечує повне і точне моделювання багато діапазонних гетерогенних FDD і TDD мережі LTE. Він підтримує всі частотні діапазони E-UTRA та ширину несучої разом із детальними OFDMA та SC-FDMA моделювання рамної конструкції. Усі керуючі сигнали низхідної лінії зв'язку, а також канали керування та трафіку повністю змодельовані. Атол LTE підтримує внутрішньо смугову та міжсмугову агрегацію несучих, координовану багатоточкову передачу та прийом (CoMP), і ICIC, розширений у часовій області (eICIC). Atoll LTE також включає комплексне моделювання різних MIMO технології (рознесення, SU-MIMO, MU-MIMO) та інтелектуальні антени формування променя.

Модуль Atoll NB-IoT дозволяє планувати та оптимізувати мережі NB-IoT як незалежні розгортання, так і поверх існуючих мереж LTE. NB-IoT — це технологія радіо доступу 3GPP LPWA на основі платформи LTE. Атол NB-IoT додає функції, орієнтовані на IoT, до Atoll LTE, LTE ACP, AFP і Live. Atoll підтримує всі розгортання NB-IoT конфігурації (автономні, guardband, внутрішньо смугові та внутрішньо смугові з однаковими PCI/NPCI), одно канальні та багатотоканальні операції висхідної лінії зв'язку та робота з кількома несучими з визначенням прив'язки та підлеглих стільників.

Інтеграція між Atoll LTE і NB-IoT забезпечує комбіновану мережеву модель, що дозволяє використовувати лише LTE, лише NB-IoT, і сектори LTE/NB-IoT з антеною та розподілом живлення. Всі дані мережі, параметри, антени та інше обладнання є загальним для LTE та NB-IoT, за винятком стільників. Стільники LTE та NB-IoT є незалежними одиницями для яких атол забезпечує певну взаємодію та взаємозалежність. Стільники LTE та NB-IoT можуть спільно використовувати передачу/прийом обладнання та антени, потужність передачі та можуть мати

однакові фізичні ідентифікатори стільника для внутрішньо смугового зв'язку конфігурація розгортання.

Atoll містить функції автоматичного між частотного та внутрішньо частотного планування сусідів, які дозволяють аналізувати передачі в мережі. Atoll може працювати з декількома матрицями перешкод із різних джерел: на основі прогнозів (розрахункових в межах Атолу), на основі статистики OAM і на основі вимірювань тестування драйву. Atoll LTE AFP може автоматично розподіляти частоти, фізичні ідентифікатори стільників і PRACH RSI на основі визначених користувачем обмежень і вартості. Аналіз також доступний інструмент, що дозволяють перевіряти частоту, фізичний ідентифікатор стільника та плани PRACH RSI. Він також підтримує розподілу PCI/NPCI для внутрішньосмугового розгортання.

Atoll LTE/NB-IoT ACP можна використовувати для автоматичної оптимізації параметрів мережі для збільшення покриття та місткість. Він також може здійснювати вибір місця для нового виробництва та активацію місця для сценаріїв ущільнення. Мережі GSM/GPRS/EDGE, UMTS HSPA, CDMA2000, TD-SCDMA і WiMAX можна планувати в одному сеансі Atoll.

В Атолі сота визначається як радіочастотний канал з усіма його характеристиками на передавачі; сота є механізмом шляху за допомогою якого можна налаштувати мережу LTE NB-IoT із кількома операторами. У цьому розділі пояснюються параметри соти LTE. Можна, за потреби, змінити ці значення.

Властивості клітинки LTE можна знайти на вкладці «Стільники LTE» діалогового вікна «Властивості» передавача, до якого вона належить.

Ім'я: за замовчуванням Atoll називає соту на честь свого передавача, додаючи суфікс у дужках. Якщо ви змініте назву передавача, Atoll не оновлює назву соти. Ви можете ввести назву соти, але заради узгодженості, краще дозволити Atoll призначити назву.

ID: Ви можете ввести ідентифікатор соти. Це визначений користувачем параметр мережевого рівня для ідентифікації соти.

Активна: якщо ця сота має бути активною, потрібно встановити прапорець Активна.

Порядок: Порядок відображення комірки всередині передавача. Це значення використовується для визначення порядку інформація, пов'язана з коміркою, відображається в Мережевому провіднику та на карті. Це поле автоматично заповнюється Atoll, але ви можете змінити ці значення за замовчуванням, щоб відображати клітинки в іншому порядку.

Рівень: мережевий рівень, до якого належить комірка. Ця інформація використовується для визначення обслуговуючої соти.

Тип соти: це вказує, чи підтримує сотаа LTE (версії 8 і 9 3GPP) або LTE-Advanced (3GPP випуски 10 і новіші), включаючи агрегацію несучих і CoMP. стільники може підтримувати LTE, а також LTE-A, отже може бути налаштований як сота LTE, LTE-A PCell (первинна сота) або LTE-A SCell (вторинна сота). Користувачі як LTE, так і LTE-A можуть підключатися до стільників лише з LTE без можливості виконання оператором агрегація або CoMP. Стільники, які підтримують лише LTE-A, але не LTE, можуть обслуговувати лише користувачів LTE-A. Процес дозволяє лише користувачам LTE-A підключатися до стільника та виключення всіх користувачів LTE називається забороною стільника.

Діапазон частот: діапазон частот соти зі списку діапазонів частот.

Номер каналу: номер каналу зі списку доступних каналів.

Статус виділення каналу: статус поточного каналу, призначеного соті:

Нерозподілений: AFP вважає нерозподілений канал вільним для змінення.

Виділений: AFP вважає виділений канал таким, що можна змінити, але лише в разі крайньої необхідності.

Заблоковано: AFP вважає заблокований канал неможливим для зміни.

Physical Cell ID Domain: домен PCI, до якого належить виділений PCI. Це та відстань повторного використання AFP для розподілу PCI. Ідентифікатор фізичної соти: ідентифікатор фізичної комірки (PCI) соти. Це ціле число від 0 до 503. PCI визначено у специфікаціях 3GPP. Є 504 унікальні ідентифікатори клітин фізичного рівня. PCI згруповані в 168 групи унікальних ідентифікаторів стільників (так звані

ідентифікатори SSS в атолі), кожна група містить 3 унікальні ідентифікатори (називаються ідентифікаторами PSS в Атолі). Таким чином, SSS ID однозначно визначається числом від 0 до 167, а PSS ID визначається числом від 0 до 2. Опорні сигнали кожної соти передають псевдовипадкову послідовність, що відповідає PCI соти. [18]

PCI також вказують піднесучі, які використовуються для передачі опорного сигналу в низхідній лінії зв'язку, стрибкоподібне перемикання сигналу, або V-зсув, це обчислення індексу піднесучої, що використовується для опорного сигналу ресурсних елементів. Індекс V-shifting розраховується як (PCI) Mod 6 для передавачів з однією антеною та (PCI) Mod 3 для багатоантенних передавачів.

PSS ID: PSS ID, що відповідає поточному PCI. Це значення визначається автоматично з PCI.

SSS ID: SSS ID, що відповідає поточному PCI. Це значення визначається автоматично з PCI.

Статус ідентифікатора PSS: статус ідентифікатора PSS, який наразі призначений соті:

Не призначено: AFP вважає, що не призначений ідентифікатор PSS можна змінювати безкоштовно.

Виділений: AFP вважає ідентифікатор виділеного PSS таким, що можна змінити, але лише за крайньої необхідності.

Заблоковано: AFP вважає, що заблокований ідентифікатор PSS не підлягає зміні.

Статус ідентифікатора SSS: статус ідентифікатора SSS, який наразі призначено соті:

Нерозподілений: AFP вважає нерозподілений ідентифікатор SSS таким, що можна безкоштовно змінювати.

Виділений: AFP вважає виділений ідентифікатор SSS таким, що можна змінювати, лише якщо це абсолютно необхідно.

Заблоковано: AFP вважає заблокований ідентифікатор SSS таким, що не підлягає зміні.

Відстань повторного використання: мінімальна відстань повторного використання, після якої індексується коренева послідовність каналу, PCI або PRACH призначений цій соті, AFP може призначити іншій соті.

Максимальна потужність (дБм): максимальна потужність передачі клітинки. Ви можете ввести або змінити це значення, RS EPRE у розділі «Додаткові параметри» на вкладці «Глобальні параметри» папки «Параметри мережі LTE».

Діалогове вікно властивостей має будь-який із наведених нижче параметрів.

Розраховано (рівномірний розподіл невикористаного EPRE)

Розраховано (з посиленням): цей параметр відповідає посиленню на 3 дБ у RS EPRE з 2 передачами портів антени та підсилення 6 дБ з 4 портами.

Розраховано (без підвищення)

Не залежить від максимальної потужності

Потужність передачі, що відповідає різним каналам, обчислюється за допомогою максимальної потужності, енергії на зміщення елемента ресурсу, визначені для SS, PBCH, PDSCH і PDCCH, і кількість елементів ресурсу, що відповідає кожному каналу, і всі вони також обчислюються Atoll. Максимальна потужність розраховується Atoll із визначеного користувачем значення RS EPRE, якщо опція RS EPRE у глобальному параметрів папки LTE Network Settings встановлено значення User-defined.

RS EPRE на порт (дБм): Енергія опорного сигналу на елемент ресурсу. Ви можете ввести або змінити це значення, якщо параметр RS EPRE у розділі «Додаткові параметри» на вкладці «Глобальні параметри» параметрів мережі LTE у діалоговому вікні Властивості папки встановлено значення Визначається користувачем або не залежить від максимальної потужності. Це значення розраховується Atoll із визначеного користувачем значення максимальної потужності, якщо параметр RS EPRE якщо параметри на вкладці «Глобальні параметри» діалогового вікна «Властивості» папки «Параметри мережі LTE» встановлено будь-яке з наступного:

Розраховано (рівномірний розподіл невикористаного EPRE)

Розраховано (з посиленням): цей параметр відповідає посиленню на 3 дБ у RS EPRE з 2 передачами портів антени та підсилення 6 дБ з 4 портами.

Розраховано (без підвищення)

SS EPRE Offset / RS (дБ): різниця в енергії елемента ресурсу, що належить до синхронізації сигналів по відношенню до енергії елемента ресурсу опорного сигналу. Це значення використовується для розрахунку потужність передачі, відповідна первинному і вторинному сигналів синхронізації (PSS, SSS).

PBCH EPRE Offset / RS (дБ): різниця в енергії елемента ресурсу, що належить до PBCH, з відносно енергії елемента ресурсу опорного сигналу. Це значення використовується для розрахунку передачі потужність, що відповідає фізичному широкомовному каналу (PBCH).

PDCCH EPRE Offset / RS (дБ): різниця в енергії елемента ресурсу, що належить до PDCCH по відношенню до енергії елемента ресурсу опорного сигналу. Це значення використовується для розрахунку потужністі передачі, що відповідає фізичному каналу управління низхідній лінії зв'язку (PDCCH).

PDSCH EPRE Offset / RS (дБ): різниця в енергії елемента ресурсу, що належить до PDSCH по відношенню до енергії елемента ресурсу опорного сигналу. Це значення використовується для розрахунку потужністі передачі, що відповідає фізичному загальному каналу низхідної лінії зв'язку (PDSCH). [13]

Atoll спочатку обчислює енергію на елемент ресурсу, що відповідає ресурсу опорного сигналу елементу, SS, PBCH, PDSCH і PDCCH. Як тільки енергії доступні для кожного з цих ресурсних елементів типи відомі, вони перетворюються на потужності передачі для подальших розрахунків. У зсувних полях вище, ви повинні ввести зміщення, тобто різницю в рівнях енергії, для одного ресурсного елемента кожного типу. Наприклад, якщо ресурсний елемент, що належить до SS, має на 3 дБ менше енергії, ніж ресурсний елемент опорних сигналів низхідної лінії зв'язку, ви повинні ввести -3 дБ у SS EPRE Offset. Потім Atoll розрахує фактичні значення потужність передачі CC, тобто всі елементи ресурсу CC, від цього зміщення та кількості CC елементів ресурсу на кадр.

PMCH EPRE Offset / RS (дБ): різниця в енергії елемента ресурсу, що належить до PMCH, з відносно енергії елемента ресурсу опорного сигналу. Це значення використовується для розрахунку передачі потужності, що відповідає фізичному багатоадресному каналу (PMCH). Цей параметр наразі не використовується.

Мінімальний RSRP (дБм): мінімальний RSRP, необхідний для підключення користувача до стільника. RSRP порівнюється з цим порогом, щоб визначити, чи перебуває користувач у зоні покриття стільника чи ні.

Поріг вибору соти (дБ): Ви можете визначити поріг вибору соти для використання для вибору соти на основі пріоритет шару. Поріг вибору комірки використовується в мережах LTE, щоб налаштувати мінімальний поріг RSRP сот, що належать до різних пріоритетних рівнів. Цей параметр на рівні комірки також відомий як "ThreshHighx,p".

Індивідуальне зміщення соти (дБ): укажіть індивідуальне зміщення комірки (CIO), яке використовуватиметься для вибору комірки. CIO використовується в мережі LTE, щоб налаштувати або зміщувати рейтинг потенційних серверів для вибору стільника в режимі підключення.

Запас передачі (дБ): укажіть запас передачі для вибору соти. Маржа передачі використовується в мережі LTE, щоб уникнути пінг-понгу під час передачі даних між сотами.

Кількість портів CRS: кількість портів, що використовуються для передачі опорного сигналу клітинки: 1, 2 або 4. Якщо залишити пусто, натомість використовується максимальна кількість антен, визначених для передавача з 4.

Запас краю соти (дБ): максимальна різниця між втратою шляху другого найкращого сервера та шляхом втрат найкращого сервера, який розглядається на межі соти. Виконуються певні дії з управління перешкодами на ділянках краю клітини, таких як ICIC, eICIC і CoMP.

Коефіцієнт керування дробовою потужністю: цей коефіцієнт використовується для компенсації втрат на шляху під час виконання дробовий контроль потужності на висхідній лінії зв'язку. Наприклад, якщо для цього

коефіцієнта встановлено значення 0,8, буде лише 80% фактичних втрат на шляху враховується при оцінці отриманої потужності. Таким чином, отримана потужність від будь-якого мобільного зв'язку по висхідній лінії зв'язку буде оцінено вищим, ніж було б насправді (використовуючи 100% втрат на шляху), що буде інтерпретовано мобільним телефоном через потребу зменшити його потужність передачі. Цей фактор представлений у 3GPP технічні характеристики. Цей фактор відображає вплив обслуговуючої комірки на часткову потужність будь-якого мобільного.

Максимальний рівень шуму (UL) (дБ): верхня межа для обох значень підвищення шуму висхідної лінії зв'язку, тобто підвищення шуму UL та ICIC

Підвищення шуму UL. Він використовується для контролю підвищення рівня шуму під час моделювання Монте-Карло. Цей параметр представляє максимальні перешкоди, які стільник може витримати на висхідній лінії зв'язку.

Max PUSCH C/(I+N) (дБ): це значення використовується для керування потужністю на висхідній лінії зв'язку. Різниця між макс PUSCH C/(I+N) і зростання шуму висхідної лінії зв'язку стільника відповідає номінальній потужності PUSCH стільника. Номінальна потужність PUSCH — це специфічний для соти параметр, від якого залежить обмеження потужності передачі по висхідній лінії зв'язку мобільні в камері можуть бути вилучені. Цей фактор представлений у специфікаціях 3GPP. Макс PUSCH C/(I+N) оновлюється під час керування зростанням шуму висхідної лінії зв'язку в моделюванні Монте-Карло на основі максимального обмеження зростання шуму сусідніх сот.

Підтримка координації перешкод: координація між стільникових перешкод у частотній області (ICIC) та техніки, що підтримується сотою. Ви можете вибрати Static DL або Static UL. Ви можете вибрати один із різних режимів ICIC доступні в конфігураціях каркаса клітини. Цей метод координації між стільникових перешкод у частотній області можна використовувати на додаток до візерунків eICIC ABS.

Конфігурація кадру: конфігурація кадру, яка використовується сотою в низхідній і висхідній лініях зв'язку. Серед іншого кадру параметри структури, ця

конфігурації також визначає параметри ICIC для соти, що підтримує Static DL або Static UL координація міжсотової інтерференції.

Конфігурація підкадру TDD: конфігурація підкадру, що використовується коміркою, коли смуга частот комірки TDD. Ви можете вибрати конфігурацію підрамника типу DSUUU-DSUUU, DSUUD-DSUUD, DSUDD-DSUDD, DSUUU-DSUUD, DSUUU-DDDDD, DSUUD-DDDDD або DSUDD-DDDDD.

Шаблон майже порожнього підрамника (ABS): шаблон передачі звичайних і майже порожніх підрамників. Майже порожні підфрейми не несуть трафіку. Тільки опорні сигнали передаються через ABS. ABS шаблон — це бітова карта, тобто серія 0 і 1, де кожен біт відповідає одному підкадру. У моделі ABS, кожен 0 означає нормальний субфрейм, а 1 означає майже порожній субфрейм. Наприклад, візерунок АБС «0100001000» означає, що субфрейми 1 і 6 є майже порожніми субфреймами, тоді як усі інші субфрейми це звичайні субфрейми, що передають трафік. Шаблони ABS використовуються в поєднанні з розширенням діапазону стільників для eICIC (покращена інтерференція між стільниками, також відома як часовий домен ICIC), намагаючись мінімізувати перешкоди на краю соти між макросотою і малою сотою в гетерогенних мережах LTE (HetNets).

Обладнання для прийому: ви можете вибрати обладнання для прийому камери зі списку обладнання для прийому.

Планувальник: Планувальник, який використовується сотою для вибору носія та розподілу ресурсів.

Підтримка рознесення (DL): тип техніки рознесення антени (немає, рознесення передачі, SU-MIMO, MU-MIMO, і AAS), що підтримується стільником у низхідній лінії зв'язку.

Підтримка рознесення (UL): тип техніки рознесення антени (немає, рознесення прийому, SU-MIMO та MU-MIMO), що підтримується стільником у висхідній лінії зв'язку. Для терміналів, що підтримують AAS і MIMO, виконуються конкретні розрахунки (і застосовуються прирости).

Кількість користувачів MU-MIMO (DL): середня кількість користувачів MU-MIMO, які спільно використовують ті самі ресурси на низхідний канал. Це може

бути або визначено користувачем, або результат моделювання Монте-Карло. У пропускній здатності низхідного зв'язку передбачення покриття, ємність стільника помножується на цей приріст пікселів, де використовується MU-MIMO.

Кількість користувачів MU-MIMO (UL): середня кількість користувачів MU-MIMO, які спільно використовують ті самі ресурси на висхідна лінія. Це може бути або визначено користувачем, або результат моделювання Монте-Карло. У висхідній пропускній здатності передбачення покриття, ємність стільника помножується на цей приріст пікселів, де використовується MU-MIMO.

Навантаження трафіку (DL) (%): відсоток навантаження трафіку низхідної лінії зв'язку. Це може бути визначено користувачем або результатом моделювання Монте-Карло.

Навантаження трафіку (UL) (%): відсоток навантаження трафіку висхідної лінії зв'язку. Це може бути визначено користувачем або результатом Монте-Карло симуляції.

Підвищення шуму UL (дБ): підвищення рівня шуму в дБ. Це може бути визначено користувачем або результатом Монте-Карло симуляції. Це глобальне значення зростання шуму висхідної лінії зв'язку, включаючи зростання шуму між технологіями висхідної лінії зв'язку.

Максимальне навантаження трафіку (DL) (%): не можна перевищувати навантаження трафіку низхідної лінії зв'язку. Цей ліміт можна врахувати під час моделювання методом Монте-Карло. Якщо навантаження стільникового трафіку обмежене цим значенням, стільнику буде заборонено мають навантаження трафіку низхідного каналу, що перевищує цей максимум.

Максимальне навантаження трафіку (UL) (%): не можна перевищувати навантаження трафіку висхідної лінії зв'язку. Цей ліміт можна врахувати під час моделювання методом Монте-Карло. Якщо навантаження стільникового трафіку обмежене цим значенням, стільнику буде заборонено мати навантаження трафіку висхідної лінії зв'язку більше, ніж цей максимум.

Коефіцієнт трафіку на межі клітинки (DL) (%): Ви можете встановити відсоток загального навантаження трафіку низхідного каналу, який відповідає до

ресурсів, виділених користувачам на краю стільника. Наприклад, якщо навантаження трафіку низхідного каналу становить 80%, і ви встановили співвідношення трафіку на межі стільника до 50%, це означає, що 40% навантаження трафіку низхідної лінії відповідає користувачам на краю стільника та 40% користувачам стільникового центру. Це може бути визначено користувачем або результат моделювання Монте-Карло.

Підвищення шуму ICIC (UL) (дБ): підвищення рівня шуму висхідної лінії зв'язку ресурсів стільникового зв'язку, що охоплює користувачів на межі стільникового зв'язку. Це підвищення шуму використовується лише тоді, коли підтримка ICIC для комірки включає статичну UL. Це може бути визначено користувачем або результатом моделювання методом Монте-Карло.

Додаткове підвищення шуму DL (дБ): це підвищення шуму відображає перешкоди, створювані мобільними телефонами зовнішньої мережі на мобільних телефонах, які обслуговуються цією сотою по низхідній лінії зв'язку. Це підвищення шуму буде враховано у всіх обчисленнях низхідної лінії зв'язку на основі перешкод із залученням цієї комірки.

Додаткове підвищення шуму UL (дБ): це підвищення шуму відображає перешкоди, створювані мобільними телефонами та базою станцій зовнішньої мережі в цій комірці на висхідній лінії зв'язку. Це зростання шуму буде враховано у всіх висхідних каналах розрахунки на основі перешкод із залученням цієї соти в моделювання Монте-Карло. Він не використовується в прогнозах де Atoll обчислює загальну перешкоду висхідної лінії зв'язку на основі зростання шуму висхідної лінії зв'язку, який включає між технологію перешкоди висхідній лінії зв'язку.

Використання AAS (DL) (%): загальне навантаження трафіку низхідної лінії зв'язку, яке відповідає навантаженню трафіку користувачів підтримується розумною антеною. Наприклад, якщо навантаження трафіку низхідного каналу становить 80%, і ви встановили використання AAS до 50%, це означає, що 40% навантаження трафіку низхідної лінії підтримується обладнанням інтелектуальної антени, а інші 40% підтримується основною антеною. Використання AAS

розраховується під час моделювання Монте-Карло і не може змінювати вручну, оскільки значення використання AAS відповідають кутовим розподілам перешкод.

Кутовий розподіл перешкод (AAS): результати моделювання за методом Монте-Карло, створені для передавачів за допомогою розумної антени. Ці результати є кутовими розподілами спектру потужності щільності трафіку низхідної лінії зв'язку.

Кількість користувачів (DL): кількість користувачів, підключених до комірки в низхідній лінії зв'язку. Це може бути визначено користувачем або результат моделювання Монте-Карло.

Кількість користувачів (UL): кількість користувачів, підключених до комірки у висхідній лінії зв'язку. Це може бути визначено користувачем або результатом моделювання Монте-Карло.

Максимальна кількість користувачів: максимальна кількість одночасно підключених користувачів, яку підтримує стільник.

Максимальна кількість внутрішньо технологічних сусідів: максимальна кількість LTE-сусідів, яку може мати стільник.

Максимальна кількість між технологічних сусідів: максимальна кількість інших технологічних сусідів, які клітина може мати.

Кількість необхідних PRACH RSI: кількість необхідних PRACH RSI для цієї комірки. Число PRACH RSI необхідні для будь-якої комірки, залежить від використовуваного формату преамбули PRACH і розміру комірки.

RSI PRACH: логічні кореневі послідовності PRACH, призначені соті. Призначені логічні PRACH RSI завжди послідовні значення та перераховані за умовою «X-Y», де X є найменшим логічним PRACH RSI у списку та Y найбільший.

Статус розподілу PRACH RSI: статус поточних індексів кореневої послідовності PRACH, призначених комірці:

Не виділено: AFP вважає нерозподілені RSI PRACH такими, що можна змінювати без витрат.

Розподілений: AFP вважає виділені RSI PRACH такими, що можна змінювати, лише якщо це абсолютно необхідно.

Заблоковано: AFP вважає заблоковані RSI PRACH такими, що не підлягають зміні.

Домен PRACH RSI: домен PRACH RSI, до якого належать виділені кореневі послідовності PRACH. Це є використовується, поряд із відстанню повторного використання, AFP для розподілу PRACH RSI.

PRACH RSI/Cell Size Mapping: назва PRACH RSI для відображення розміру соти. Це поле, що використовується в у поєднанні з надбудовою Cell Size Calculation дозволяє визначити використання кількох різних відображень

між розмірами комірки та необхідною кількістю PRACH RSI у вашій мережі. Три відображення надає за замовчуванням у файлі ініціалізації надбудови: номінальний, високошвидкісний і специфічний для TDD. Ви можете призначити певні мережеві зіставлення з будь-якою сотою, ввівши назву зіставлення в це поле. Ви також можете визначити свій власний звичай відображення.

Коментарі: це поле можна використовувати для будь-якої додаткової інформації, пов'язаної з сотою.

Сусіди: ви можете отримати доступ до діалогового вікна, у якому можна встановити як внутрішню технологію, так і міжтехнологію сусідів, натиснувши кнопку Огляд. На додаток до параметрів комірки LTE, перелічених вище, параметри конфігурації кадру також доступні в «Властивості соти» LTE, якщо ви працюєте з LTE у структурі даних 5G NR LTE.

Використання променя DL (%): відсоток навантаження трафіку низхідної лінії зв'язку, який переносить кожен промінь. Промінь використання може бути визначиним користувачем або автоматично розраховується за допомогою калькулятора використання променя.

Використання променя UL (%): відсоток зростання шуму висхідної лінії зв'язку, який отримує кожен промінь.

3. ПЛАНУВАННЯ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ У М. ФАСТІВ ВИКОРИСТОВУЮЧИ ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ATOLL

3.1 Аналіз та розрахунок для проекту

В практичній частині ми заплануємо мобільну мережу для м. Фастів, використовуючи методи та можливості програмного забезпечення Atoll розглянуті у пункті 2 цієї дипломної роботи.

Почати потрібно з розгляду характеристик міста. Фастів – це місто в Київській області, адміністративний центр Фастівської міської громади, важливий залізничний вузол та промисловий центр. По інформації на 2022 рік в населеному пункті проживають 44 тис. людей, площа 43км^2, густота населення 1056 осіб/км^2. Місцевість досить рівна, середня дельта висоти місцевості приблизно 30 метрів. Більша частина міста це приватний сектор, щоб побудувати базову станцію в цих містах потрібно буде будувати вежу.



Рис. 3.1 Супутниковий знімок м. Фастів з “GoogleEarthMap” за 2022 рік

Щоб правильно спланувати мережу, потрібно розуміти скільки у нас буде потенційних абонентів, в загальній практиці оператори будують по приблизним значенням с запасом і відстежують навантаження і якщо цього не вистачає, то добудовують. У цьому випадку ми будемо максимально точно розрахувати мережу,

так як не все населення місто може користуватись мобільною мережею (немовлят, недієздатних), це потрібно врахувати, але так як у місті знаходиться важливий залізничний вузол, кількість можливих абонентів у центрі міста де пролягає залізниця виростає в рази, тому будемо ставити більше базових у центрі та уздовж залізної дороги. Так як більша частина міста, це приватний сектор там щільність базових буде невелика, припустимо що за рахунок залізниці і враховуючи що приблизно 10% населення не може користуватись мобільною мережею у нас буде можливих абоненті на 10% більше ніж є населення, тобто 44840 чоловік. Щоб розрахувати кількість базових, розрахуємо скільки базових станцій нам потрібно для закриття потреби в голосовому зв'язку використовуючи середнє значення використання голосового сервісу 1 абонентом, це орієнтовно 0.02 – 0.05erl, беремо середнє це 0.03 erl та таблицю Ерланга Б для розрахунку беремо вірогідність блокування 0.3%. Розраховувати будемо виходячи з того що будемо будувати по 3 сектора на сайті та у двох бендах band8 (900 Mhz) та band3 (1800 Mhz) і по 2 передатчики на кожний стільник, це буде 32 тайм-слоти на 1 сектор і тоді 1 сектор може обробити 25ерл при 0.3% блокування.

Для розрахунку використаємо формулу:

$$N = ((n_{\text{аб}} * 1.1) * \text{A})/(B * n_{\text{ст}}) \quad (3.1)$$

де, N – кількість сайтів, $n_{\text{аб}}$ – кількість абонентів, A – кількість голосового трафіку яку в середньому використовує абонент, B – максимальна кількість ерланг яку може обробити один сектор, $n_{\text{ст}}$ – кількість секторів на одному сайті.

$$N = ((44000*0.03) / (25*3) = 19.36$$

З розрахунків виводимо що потрібно побудувати 19 сайтів для забезпечення потреби абонентів в голосовому трафіку, розрахунок для пакетного трафіку проводити не будемо, так як на практиці розрахувати ємність для пакетного трафіку практично неможливо без карти розподілу трафіку, тому будемо

працювати по такій схемі, на усіх сайтах буде встановлено LTE/GSM band 8 та LTE/GSM band 3, на секторах сайтів з найбільшим навантаженням (в центрі міста) буде ще LTE band 7 (2600 Mhz) для більшої ємності.

3.2 Підбір обладнання та параметрів для планування мережі

При будуванні мережі потрібно вирішити принцип найменування сайтів та стільників для подальшої плодовитої праці з цією мережею. Сайти будемо називати по прикладу FAS01 де, FAS – скорочення від Фастів, 01 – номер сайту. Якщо розвивати мережу в подальшому можна підбирати імена для сайтів і стільників по місту, регіону, району або області. Придумати можна що завгодно, головне щоб це було систематизовано та зручно в подальшій взаємодії.

Для стільників GSM в band 8 будуть мати вигляд FASG901A де, FAS – скорочення від Фастів, G – GSM, 9 – 900Mhz band 8, 01 – номер сайту, A – найменування сектору.

Для стільників GSM в band 3 будуть мати вигляд FASG1801A де, FAS – скорочення від Фастів, G – GSM, 18 – 1800Mhz band 3, 01 – номер сайту, A – найменування сектору.

Для стільників LTE в band 8 будуть мати вигляд FASL901A де, FAS – скорочення від Фастів, L – LTE, 9 – 900Mhz band 8, 01 – номер сайту, A – найменування сектору.

Для стільників LTE в band 3 будуть мати вигляд FASL1801A де, FAS – скорочення від Фастів, L – LTE, 18 – 1800Mhz band 3, 01 – номер сайту, A – найменування сектору.

Для стільників LTE в band 7 будуть мати вигляд FASL2601A де, FAS – скорочення від Фастів, L – LTE, 26 – 2600Mhz band 3, 01 – номер сайту, A – найменування сектору.

Таблиця стільників LTE буде виглядати майже так само як і таблиця GSM стільників, тому буде додана лише таблиця LTE band 7.

Наступним кроком потрібно підібрати обладнання, так як ми розраховуємо радіомережу ми будемо підбирати лише антенну та радіомодуль, так як для сучасних модулів базових станцій відсутня технічна специфікація у вільному доступі і для розрахунку мережі в атоллі нам достатньо підібрати радіомодуль та антенну.

Антенна для LTE/GSM band 8 в цьому проекті буде TDJ-709018DEI-65Fv03. Ця антена хоч і є досить старою, вона показала свою надійність та якість і все ще використовується великою кількістю операторів. Ця антенна представлена на Рис. 3.2

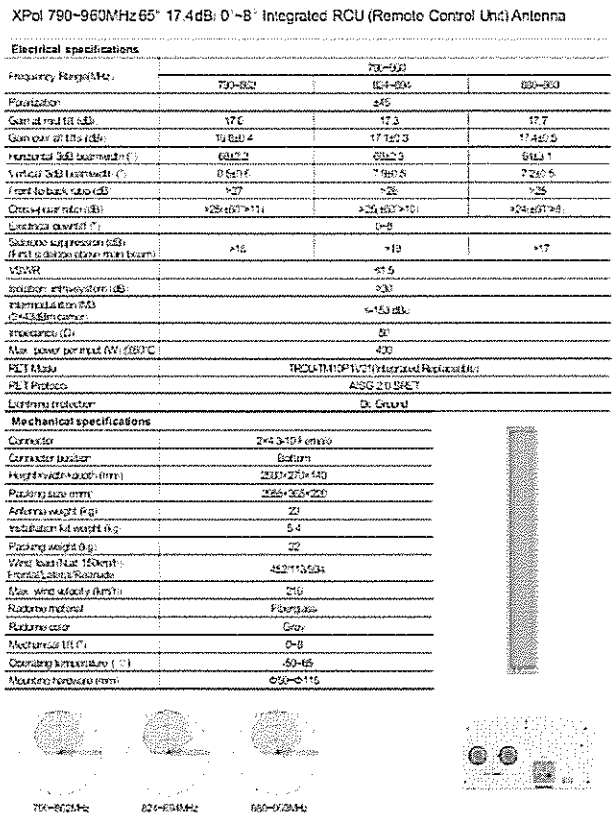
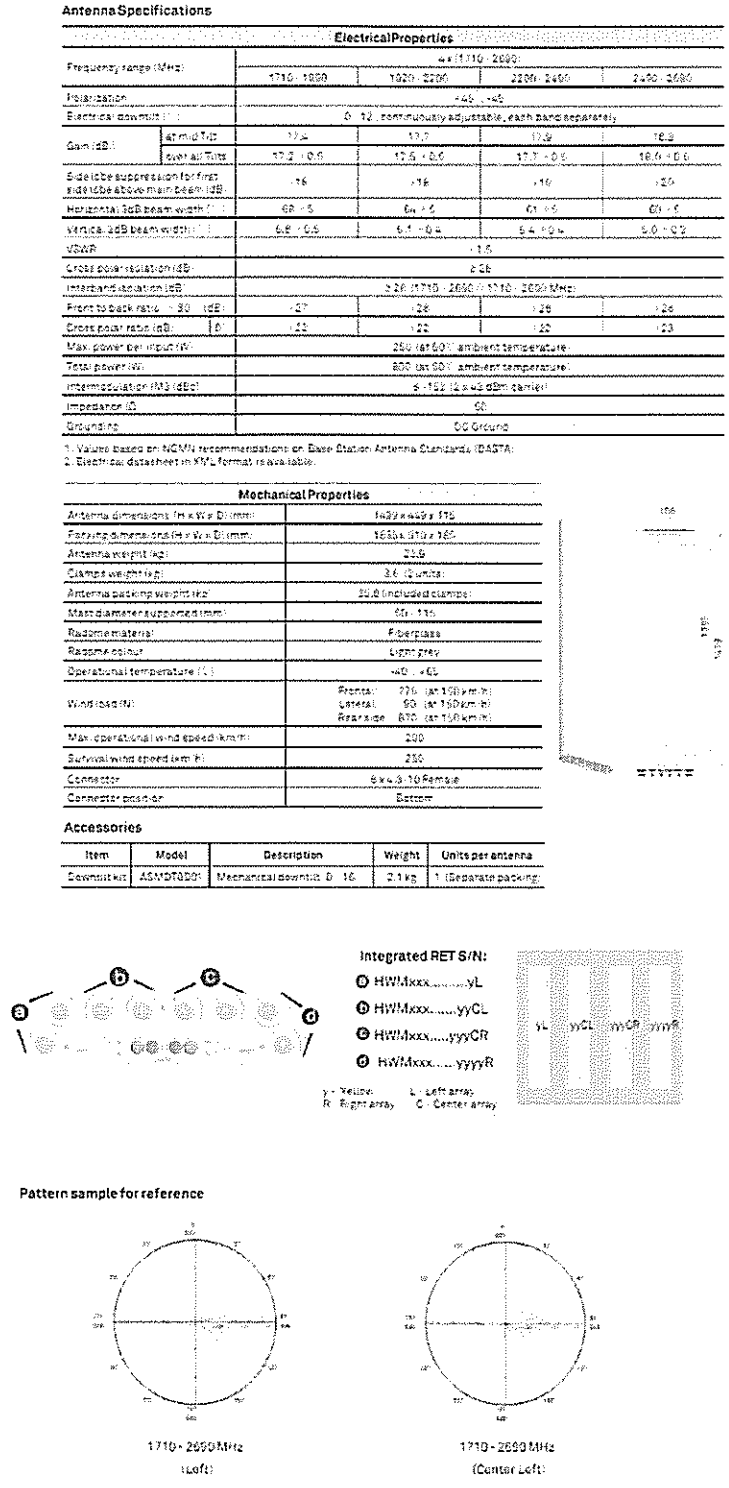


Рис. 3.2 Технічна специфікація антени TDJ-709018DEI-65Fv03

Антенна для LTE/GSM band 3 та LTE band 7 в цьому проекті буде HAQU4518R21v06. Цю антену також не можна вважати сучасною, але вона також добре зарекомендувала себе в комерції, також ця антена дозволяє в подальшому розширити ємність сектору підключивши ще один радіомодуль і додати ще одну

несучу в band 3 та band 7, або band 1 на якому зараз активно в Україні запускають LTE замість UMTS. Ця антенна представлена на рис. 3.3



Antenna Specifications

Electrical Properties

Frequency range (MHz)		4 x (1710 - 2690)			
		1710 - 1990	1920 - 2200	2200 - 2490	2490 - 2690
Polarization		+45 , -45			
Electrical downtilt (°)		0 - 12 , continuously adjustable, each band separately			
Gain (dBi)	at mid Tilt	17.4	17.7	17.9	18.3
	over all Tilts	17.2 ± 0.6	17.5 ± 0.6	17.7 ± 0.6	18.0 ± 0.6
Sidelobe suppression for first sidelobe above main beam (dB)		≥ 16	≥ 16	≥ 16	≥ 20
Horizontal 3dB beam width (°)		68 ± 5	64 ± 5	61 ± 5	60 ± 5
Vertical 3dB beam width (°)		6.8 ± 0.5	6.1 ± 0.4	5.4 ± 0.4	5.0 ± 0.2
VSWR		≤ 1.5			
Cross polarisation (dB)		≥ 25			
Intersystem isolation (dB)		≥ 28 (1710 - 2690) / ≥ 30 (1710 - 2690 MHz)			
Front to back ratio @ 0° (dB)		≥ 27	≥ 28	≥ 28	≥ 28
Cross polar ratio (dB)	@ 0°	≥ 22	≥ 22	≥ 22	≥ 23
Max. power per input (W)		250 (at 50 °C ambient temperature)			
Total power (W)		800 (at 50 °C ambient temperature)			
Intermodulation IM3 (dBc)		4 x 150 W (2 x 43 dBm carrier)			
Impedance (Ω)		50			
Grounding		DC Ground			

1. Values based on NGMN recommendations on Base Station Antenna Standards (BASTA)
2. Electrical datasheet in XML format is also available.

Mechanical Properties

Antenna dimensions (H x W x D) (mm)	1498 x 449 x 178
Packing dimensions (H x W x D) (mm)	1630 x 570 x 265
Antenna weight (kg)	23.6
Clamps weight (kg)	3.4 (2 units)
Antenna packing weight (kg)	30.0 (included clamps)
Main diameter supported (mm)	60 - 130
Radome material	Fiberglass
Radome colour	Light grey
Operational temperature (°C)	-40 ... +60
Windload (N)	Frontal: 776 (at 150 km/h) Lateral: 90 (at 150 km/h) Rearside: 870 (at 150 km/h)
Max. operational wind speed (km/h)	200
Survival wind speed (km/h)	250
Connector	6 x 4.3-10 Female
Connector position	Bottom

Accessories

Item	Model	Description	Weight	Units per antenna
Downtilt kit	ASMDT6001	Mechanical downtilt, 0 - 10	2.1 kg	1 (Separate packing)

Integrated RET S/N:

- a HWMxxx.....yL
- b HWMxxx.....yyCL
- c HWMxxx.....yyyCR
- d HWMxxx.....yyyyR

y - Yellow, L - Left array, R - Right Array, C - Center array

Pattern sample for reference

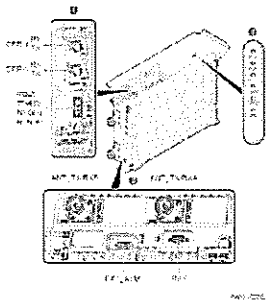
1710 - 2690 MHz (Left)

1710 - 2690 MHz (Center Left)

Рис. 3.3 Технічна специфікація антени HAQU4518R21v06

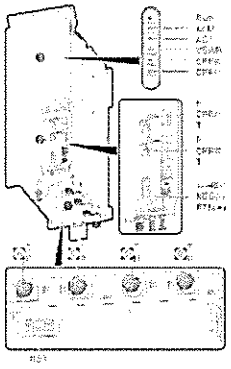
Радіомодуль для LTE/GSM band 8 в цьому проекті буде RRU3959, надійний радіомодуль який відповідає потребам для побудування якісної мережі. Цей модуль представлений на Рис. 3.4

Радіомодуль для LTE/GSM band 3 в цьому проекті буде RRU5904, цей радіомодуль вже більш сучасний і хоча зараз є тенденція на заміну радіомодулів який підтримує лише один бенд на multi-band RRU, такі модулі все ще демонструють високий попит і якість. Цей модуль представлений на рис. 3.5



Port	Connector	Quantity	Description
RF port	DIN	2	Connects to the antenna system.
CPRI port	DLC	2	Connects to the baseband unit (BBU).
Power supply port	Two-hole captive connector (pressfit type)	1	Supplies -48 V DC power input.
RET port	DB9	1	Connects to a remote antenna unit (RET).
Alarm port	DB9	1	Receives alarm signals from the external devices.

Рис. 3.4 Технічна специфікація радіомодуля RRU3959



Port	Connector	Quantity	Description
RF port	4.3-10 connector	4	Connects to the antenna system.
CPRI port	DLC	2	Connects to a BBU.
Power supply port	Two-hole captive connector (pressfit type)	1	Supplies -48 V power.

Рис. 3.5 Технічна специфікація радіомодуля RRU5904

Радіомодуль для LTE band 7 в цьому проекті буде RRU5301, цей радіомодуль показав себе добре на ринку і вже досить довгий час використовується в розгортанні LTE мережі цього бенду в багатьох країнах світу. Цей модуль представлений на рис. 3.6

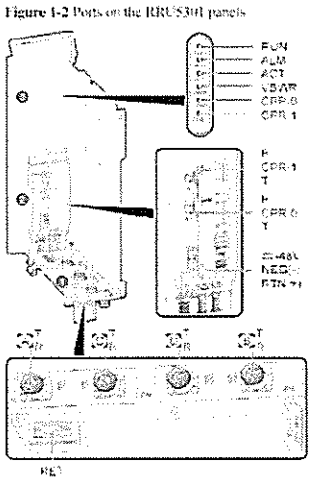


Table 1-1 Physical ports on the RRU5301

Port	Connector	Quantity	Function
RF port	4.3-10 connector	4	Connects to the antenna.
Common public radio interface (CPRI) port	DLC	2	Connects to the baseband unit (BBU).
Power supply socket	Easy power receptacle (press-fit type)	1	Receives -48 V DC power.
RET port	DB9	1	Connects to a remote control unit (RCU).

Рис. 3.6 Технічна специфікація радіомодуля RRU5301

Для подальших розрахунків на потрібно на кожен сайт встановити його висоту, електричний нахил антенни, кількість сусідів, які канали ми будемо використовувати в кожному бенді і т.д. У середньому для цього міста при тому що в місті в основному приватний сектор, дуже невелика кількість високоповерхових будинків, і то етажність невелика, тому в середньому у нас виходить висота підвісу 24 м і кут нахилу 6, в наступних кроках при розрахунках ми корегуємо кут нахилу в залежності від розташування сайту і що він повинен покривати. Наприклад в центрі краще поставити кут нахилу 7-8 в той самий час по околицям, де щілність сайтів не така висока 4-5.

Наступним кроком буде розрахунок частотного плану для GSM та PCI плану в LTE. В GSM band 8 беремо канали з 1 по 24 в P-GSM та 997 – 1023 в E-GSM. Після розрахунку наносемо ці канали на карту. Частотний план для GSM band 8 представлен на рис.3.8

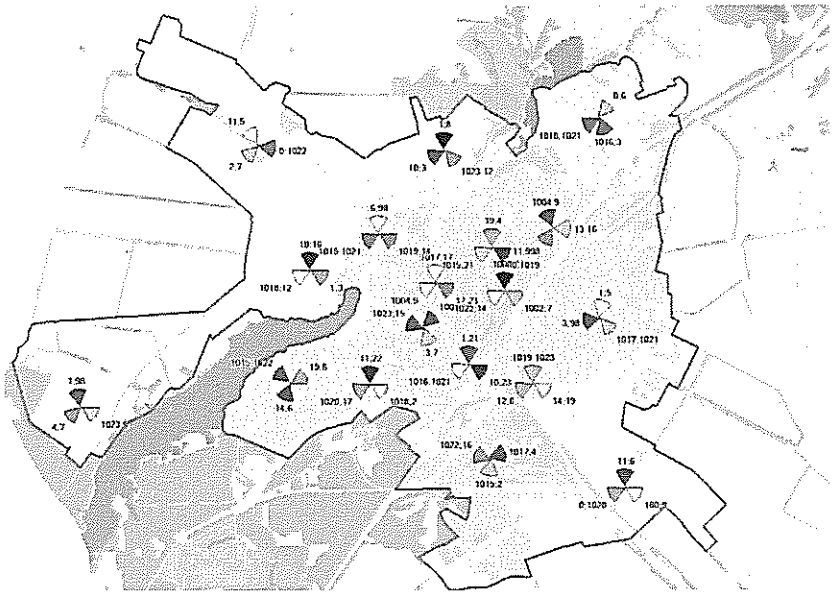


Рис. 3.7 Частотний план для GSM band 8

По аналогії для GSM band 3 для позрахунку беремо канали 587-610 та з 812-860. Пісдя розрахунку наносимо ці канали на карту. Частотний план для GSM band 8 представлен на рис.3.9

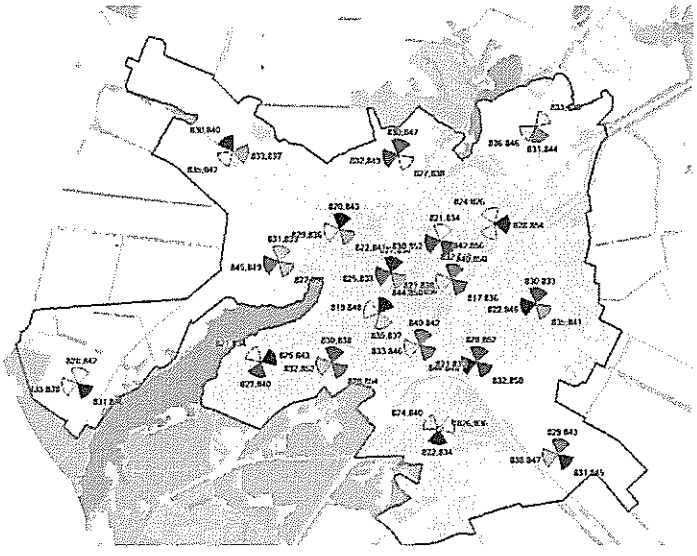


Рис. 3.8 Частотний план для GSM band 3

PCI план беремо без обмежень з 0 по 503, так як поруч немає кордонів і для нас він чистий. В подальшому якщо розраховувати для всій України чи області, потрібно враховувати оточуючі сайти та їх PCI план. Розраховуємо для всіх слоїв тананосимо на карту по бендам.

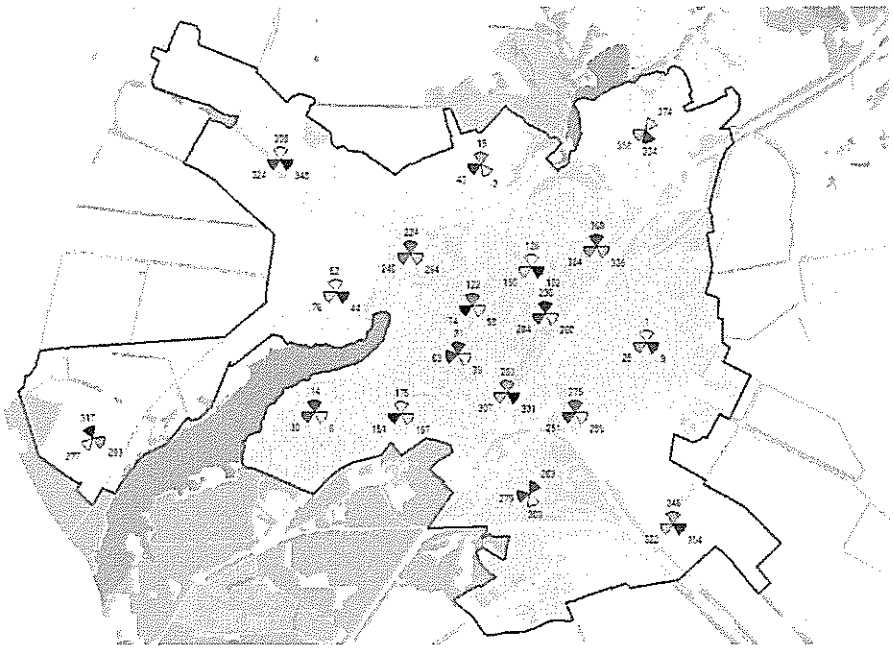


Рис. 3.9 PCI план для LTE band 8

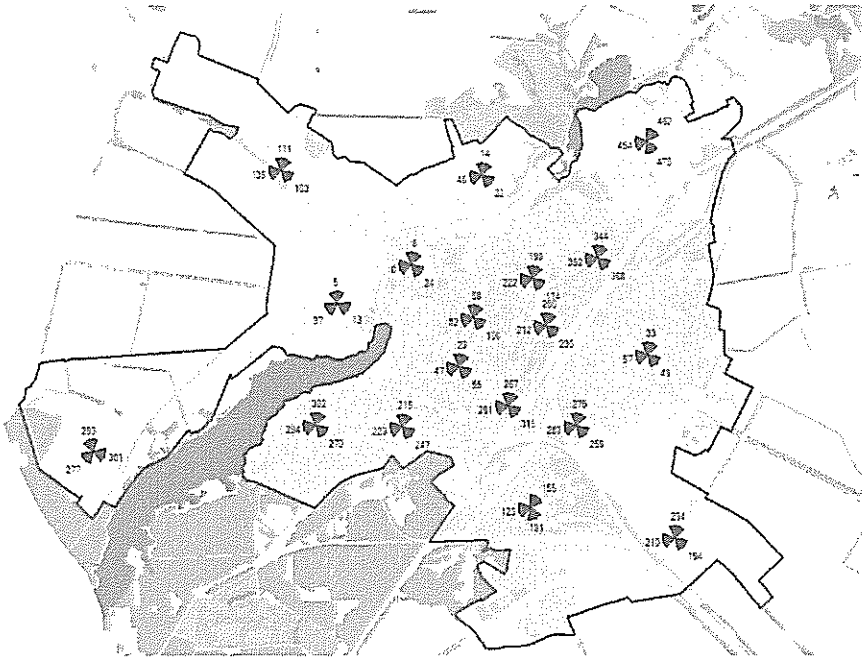


Рис. 3.10 PCI план для LTE band 3



Рис. 3.11 PCI план для LTE band 7

Для LTE беремо наступні частоти:

- Band 8 – DL: 940 – 945; UL 895 – 900; Bandwith: 5Mhz;
- Band 3 – DL: 1825 – 1845; UL: 1730 – 1750; Bandwith: 20Mhz;
- Band 7 – DL: 2620 – 2640; UL: 2500 – 2520; Bandwith: 20Mhz.

3.3 Проведення розрахунків та симуляцій в програмі Atoll

Довевши цей проект до цієї стадії, наступним кроком ми будемо розраховувати покриття, інтерфіренцію та перекриття стільників. В цьому процесі будуть виникати деякі недоліки, такі як недостатній рівень сигналу і потрібно збільшити покриття за рахунок електричного кута, перекриття стільників і корегування азімутів, перевірка частотного плану на можливі перекриття каналів, зробивши все це ми отрмуємо результат цього проекту.

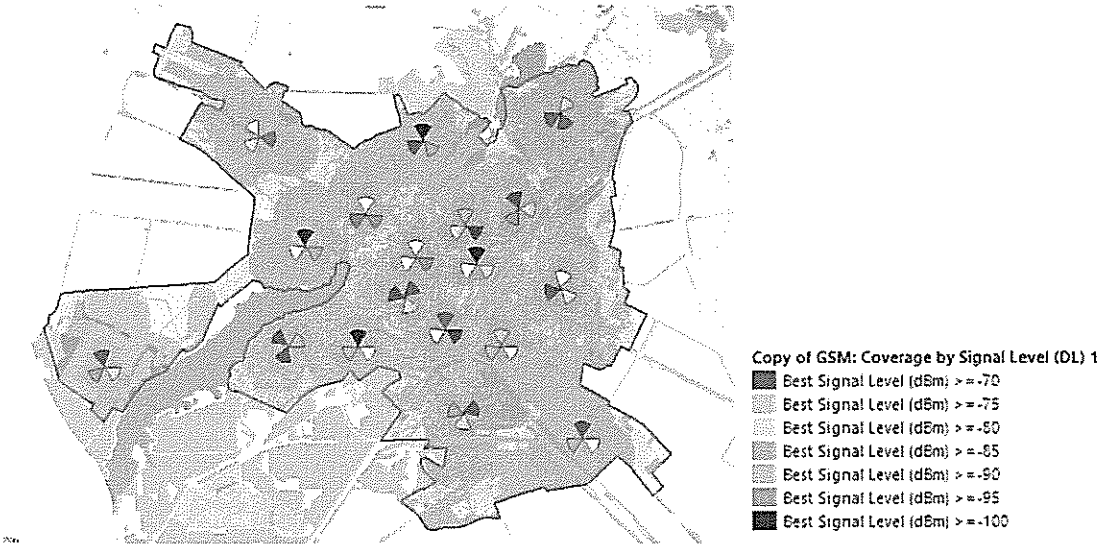


Рис. 3.12 Рівень сигналу GSM band 8

Рівень сигналу майже усюди >-80dbm, є невиликі зони де сигнал слабкіший за рахунок затухання у забудові.

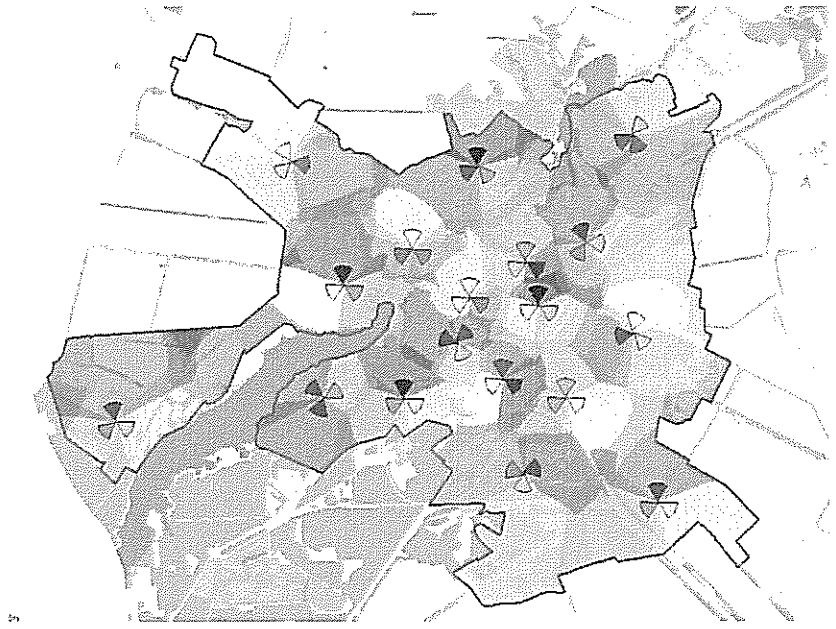


Рис. 3.13 Покриття стильників LTE/GSM band 8

Перекриття стільників не високе що забезпечить гарний перехід від однієї соти до іншої, це також окремо налаштовується при подальшомій оптимізації мережі.

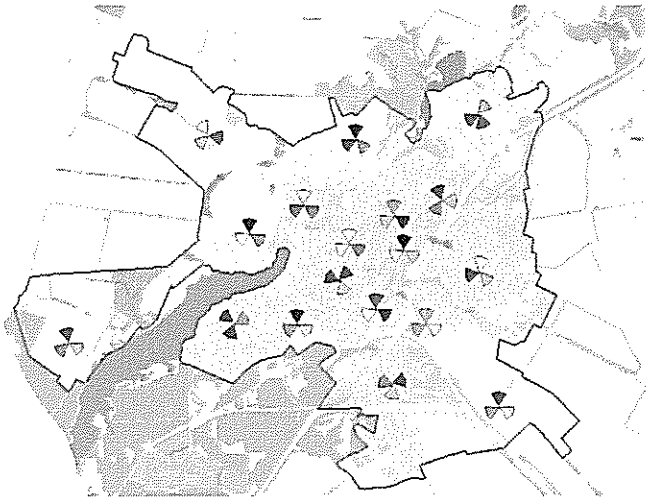


Рис. 3.14 Зони можливої інтерфіренції в GSM band 8

Зон інтерфіренції майже немає, а там де вони є не вважається критичним, якщо в цих районах будуть надходити скарги на поганий зв'зок, це буде оптимізовано.

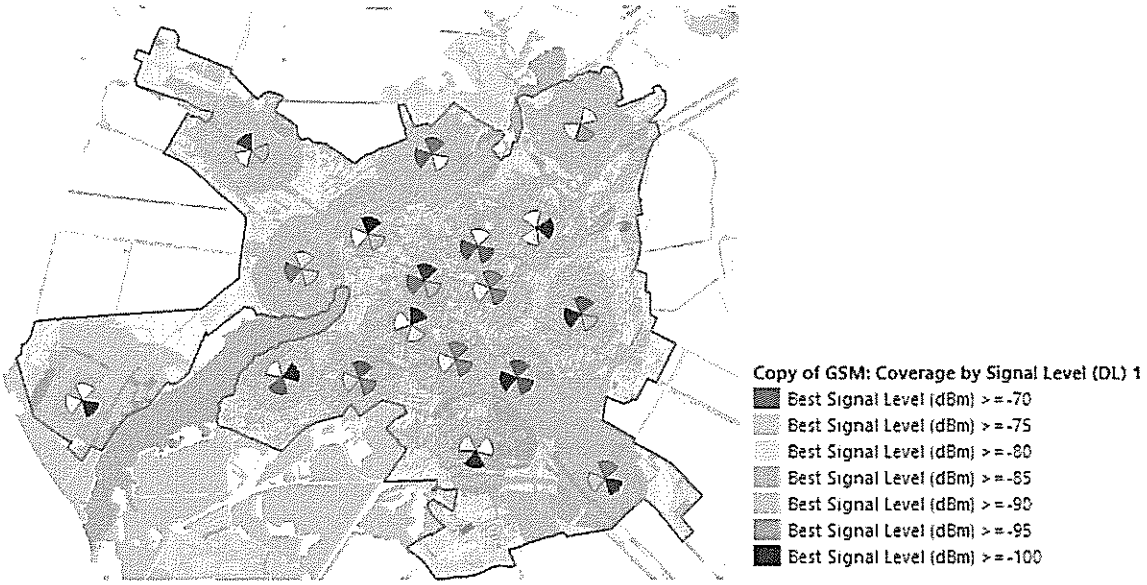


Рис. 3.15 Рівень сигналу GSM band 3

Рівень сигналу в GSM band 3 більш низький за рахунок того ще цей слой вважається більш ємкостним, і його здатність долати завади нижча, але в середньому він все ще на рівні -85dBm.

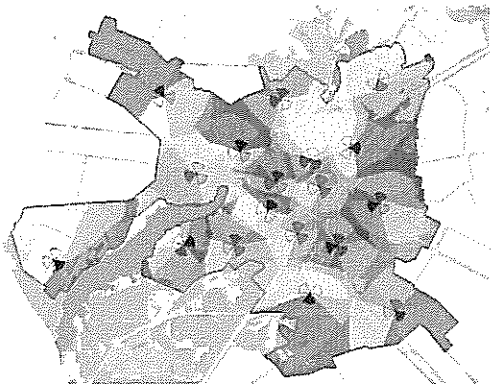


Рис. 3.16 Покриття стильників LTE/GSM band 3

Ситуація майже не відрізняється від той яка у band 8, та в подальшому буде покращуватись за рахунок оптимізації радіомережі.

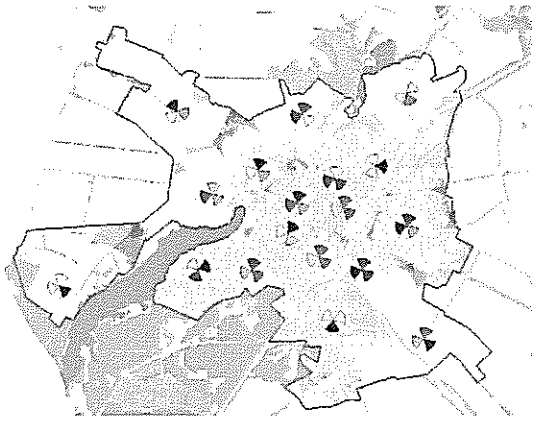


Рис. 3.17 Зони можливої інтерфіренції в GSM band 3

Ситуація ідентична з band 8 і так само не є проблемою.

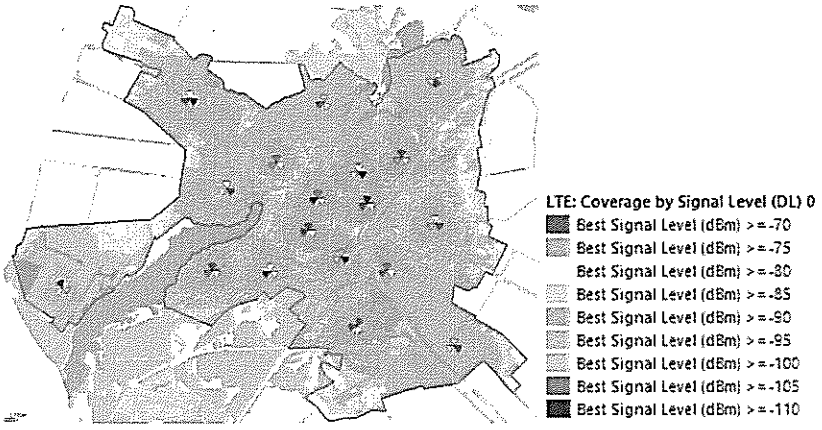


Рис. 3.18 Рівень сигналу LTE band 8

Рівень сигналу у LTE band 8 вискокий, майже по всьому місту мауже усюди більше -80, окрім глубокого індору.

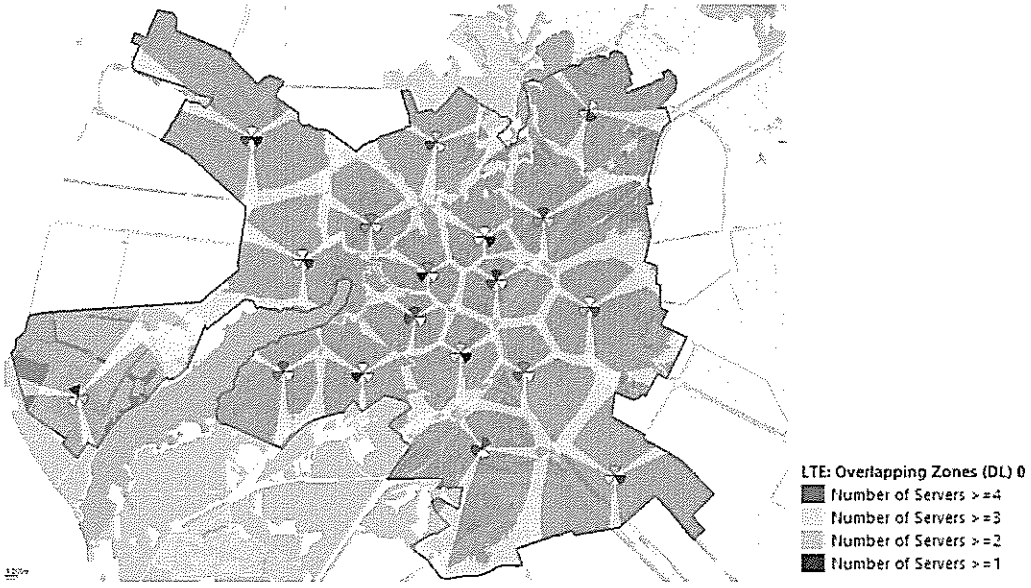


Рис. 3.19 Перекриття стільників в LTE band 8

Перекриття стільників є, але це поодинокі випадки, якщо будуть виникать проблеми з переходами або пинг-понгами, це буде оптимізовано після запуску в комерції.

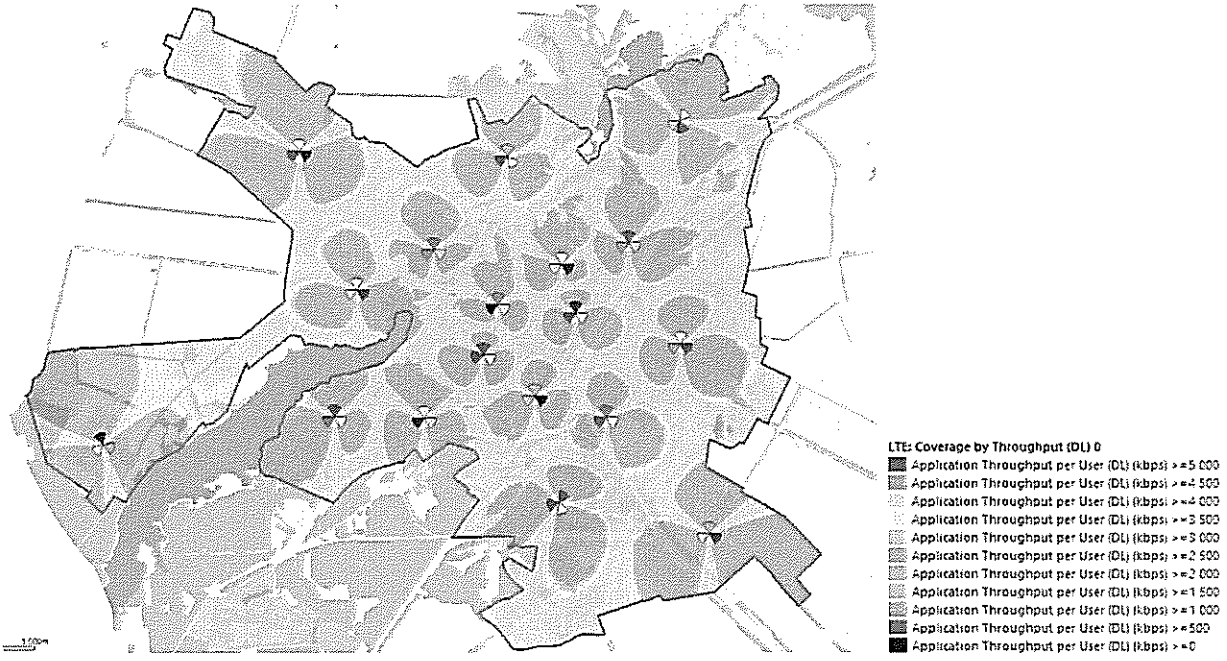


Рис. 3.20 Мапа швидкості у LTE band 8

Швидкість передачи данних у LTE band 8 при полосі 5Mhz досить невелика, його використовуючи в містах називають «слой останьої надії», навіть при цьому по місту немає міст де покриття немає зовсім, і навіть у дуже поганих умовах буде сервіс.

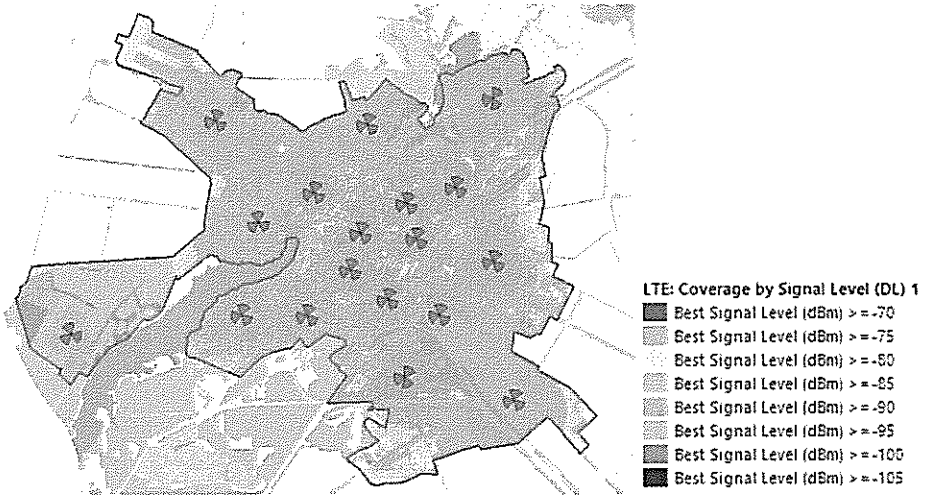


Рис. 3.21 Рівень сигналу LTE band 3

Рівень сигналу у LTE band 3, дуже високий майже усюди рівень сигналу на рівні -75dBm.

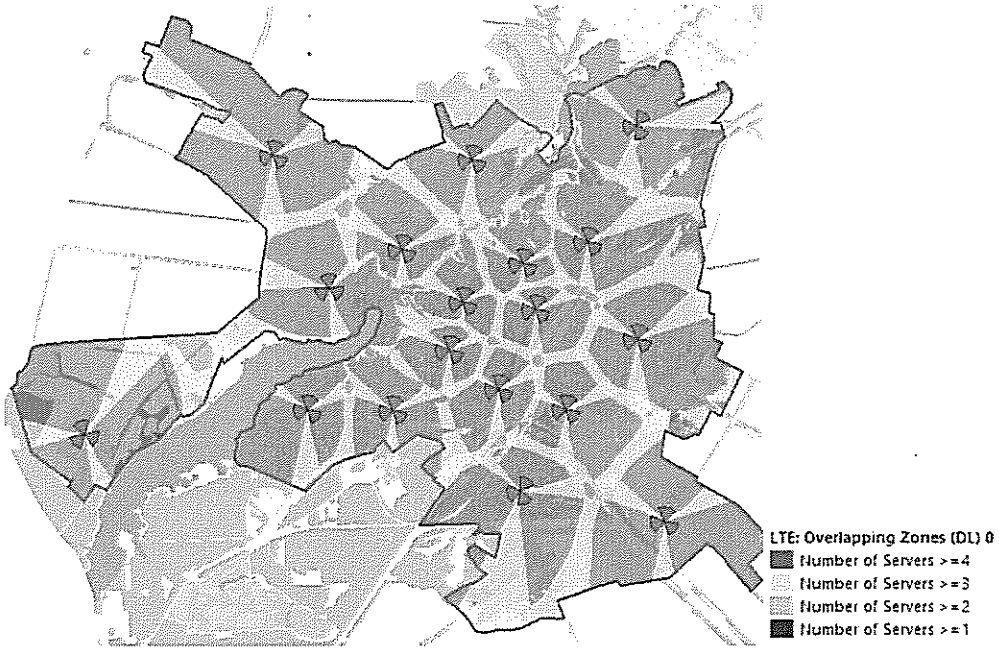


Рис. 3.22 Перекриття стільників в LTE band 3

Перекриття стильників таке саме як і в band 8, ситуація анолагічна.

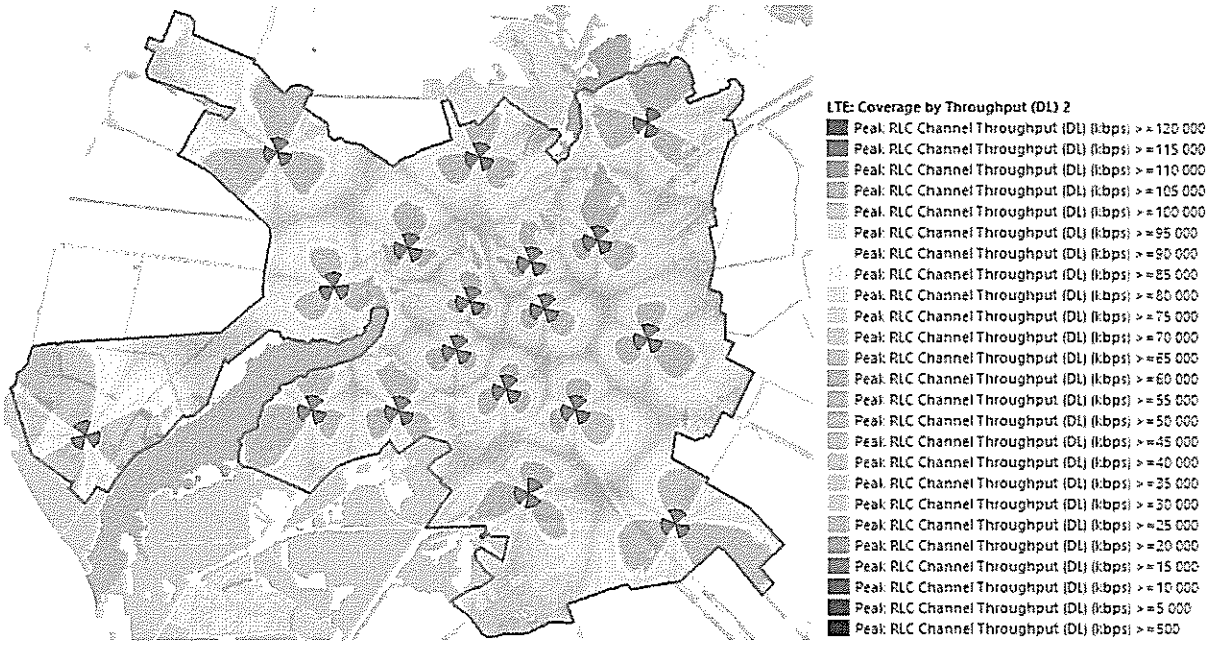


Рис. 3.23 Мапа швидкості у LTE band 3

Швидкість передачи даних на цьому бенді вже більш вражаючий ніж на band 8, що і закономірно, середня швидкість приблизно 70 мб/с, районів де було б меньше 5 мб/с майже немаэ окрім оклоці де в подальшому також буде добивати зовнішні сайти.

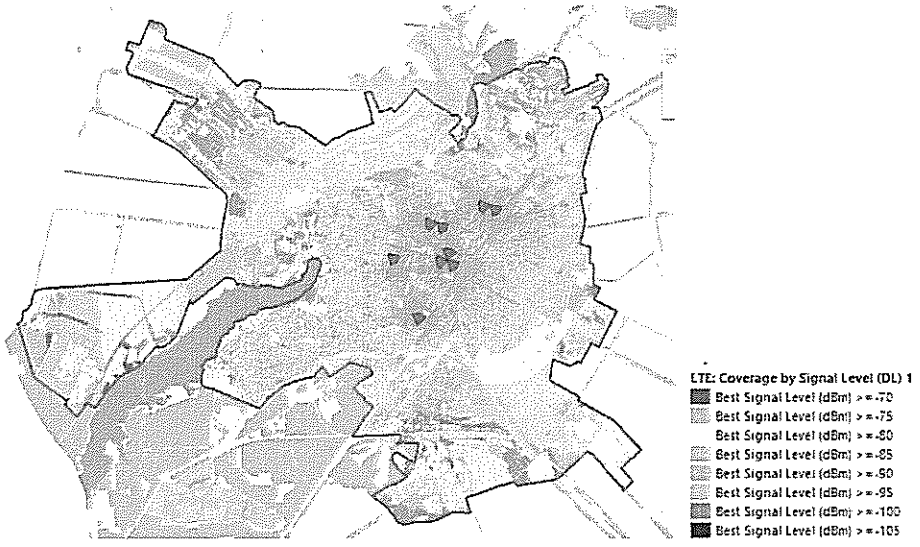


Рис. 3.24 Рівень сигналу LTE band 7

Цей бєнд добре покриває центр міста, тому свої ціль він виконує і виконує її доже гарно.



Рис. 3.25 Перекриття стільників в LTE band 7

Так само як і в минулих випадках це перекриття не має суттєвого впливу на якість.

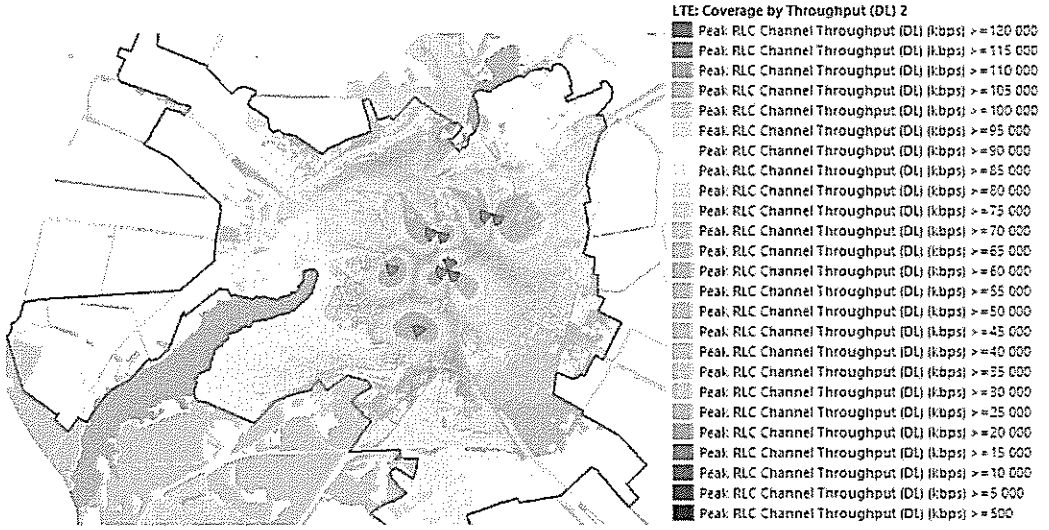


Рис. 3.26 Мапа швидкості у LTE band 7

Цей бенд виконує функцію додаткової ємності для центру міста та залізничного вузла, він забезпечує більше 70 мб/с у центрі міста що також є плюсом.

ВИСНОВКИ

При виконані дипломної роботи були розглянуті питання планування мережі, розібранно з чого состоїть планування мережі і які методи планування мережі існують. Пройшли ознайомлення та процес планування проектів стільникової мережі за допомогою програмного забезпечення Atoll і використовуючи ці знання спланована мобільна мережа для невеликого міста Фастів.

Ця робота буде ще довгий час актуальний так як планування мережі це основа на якій стоїть стільниковий зв'язок. Без планування неможливо швидко та ефективно будувати та розвивати мобільну мережу.

В частності таке програмне забезпечення, як Atoll є сучасним інстрементом планування який хоплює безліч великих та маленьких деталей, які знадобляться при плануванні мережі стільникового зв'язку, яка постійно підтримується та оновлюється під сучасні виклики та технології. І без якої або її аналога, не існує жодного оператора в цивілізованих країнах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Atoll Radio Frequency Planning & Optimisation Software, Forsk, 2020.
2. Atoll Technology Modules, Forsk, 2021.
3. LTE Network Planning and Optimization, Ahmed A., Khan M., 2020. c.115-140
4. GSM Network Planning and Design, Rao S., Gupta A., 2021. c.38-74
5. Advanced LTE Network Planning and Optimization, Cheng W., Li Z., 2019.
6. GSM Network Optimization Strategies, Smith J., Lee R., 2021. c.112-127
7. Simulation-Based LTE Network Planning, Kim H., Park S., 2020.c.200-297
8. GSM Network Planning and Optimization Techniques, Patel R., Sharma T., 2022. c.54-68
9. LTE Network Design and Dimensioning, Müller F., Schmid J., 2019.
10. GSM Radio Network Planning and Optimization, Omar K., Ali S., 2020.
11. LTE-A Network Planning: Challenges and Strategies, Nguyen P., Tran L., 2021. c.233-261
12. Dynamic GSM Network Planning, Hassan M., Wong T., 2019.
13. Optimizing LTE with Atoll, Taylor D., Wilson B., 2020.
14. Radio Planning for LTE Networks, Green P., Lopez M., 2021.
15. Modern GSM Radio Design, Singh A., Kapoor R., 2019. c.14-36
16. Performance Analysis of LTE Using Atoll, Zhou L., Yang J., 2020.
17. GSM and LTE Network Integration, Chen Q., Wang R., 2021. c.78-99
18. Radio Frequency Planning Using Atoll, Jones M., Peterson K., 2020.
19. Challenges in Modern GSM Networks, Tanaka H., Sato Y., 2022.
20. Planning LTE Networks in Atoll Environment, Kumar R., Verma S., 2019.
21. Optimization Techniques for LTE, Garcia M., Alvarez T., 2020. c.106-174
22. Radio Planning Fundamentals with Atoll, Ahmed S., Chowdhury F., 2021.
23. LTE Network Analysis and Planning, Li X., Chen Y., 2020. c.97-138
24. Integration of GSM and LTE Networks, Smith A., Brown K., 2019.
25. Planning and Optimizing LTE Networks, Lopez R., Taylor J., 2020.

ДЕМОНСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ



ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА МОБІЛЬНИХ ТА ВІДЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Презентація до кваліфікаційної магістерської роботи

НА ТЕМУ: “МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ МЕРЕЖ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ATOLL”

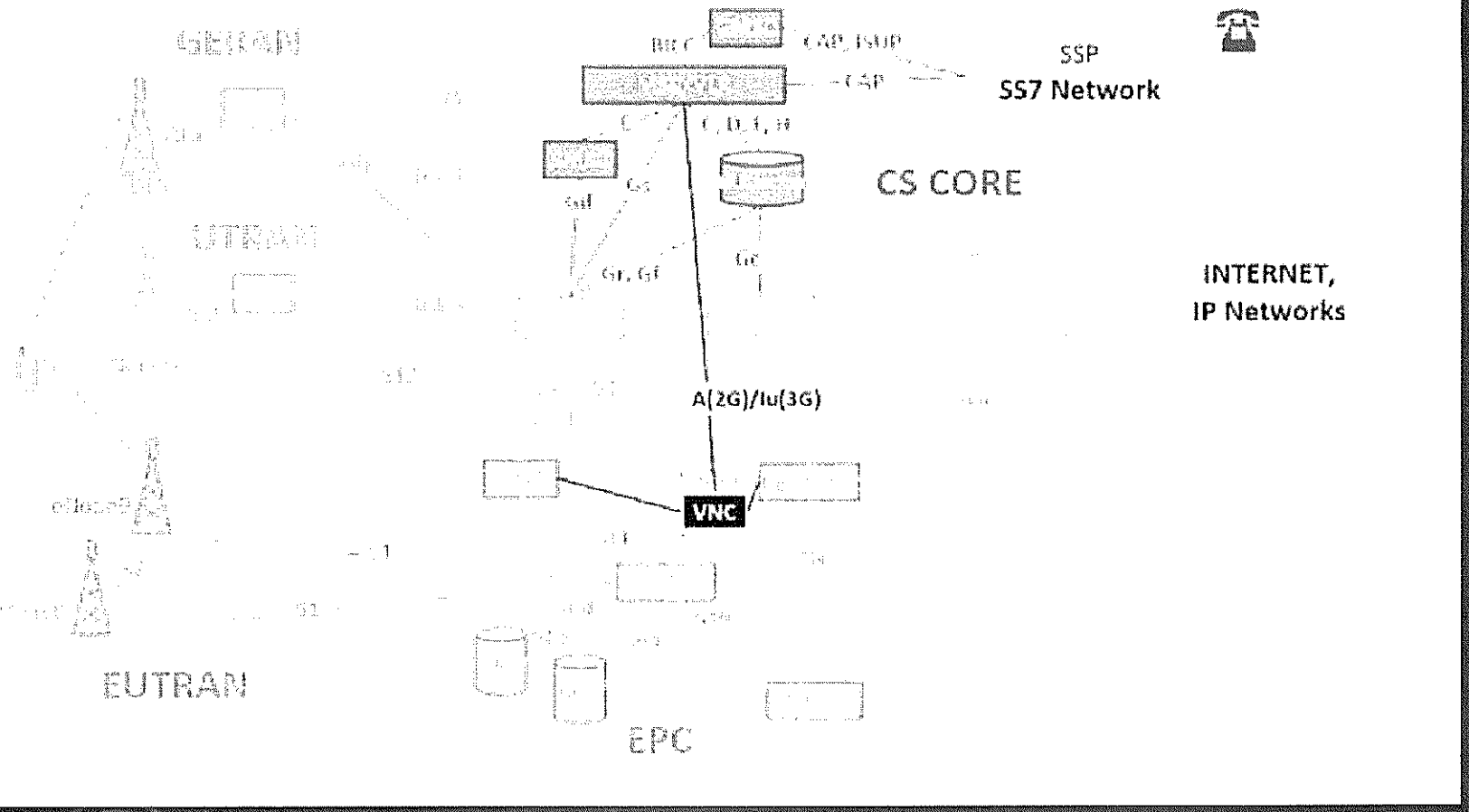
Виконав: студент
Володимир Гладишев

Керівник: Лариса Дакова,
к.т.н., доцент

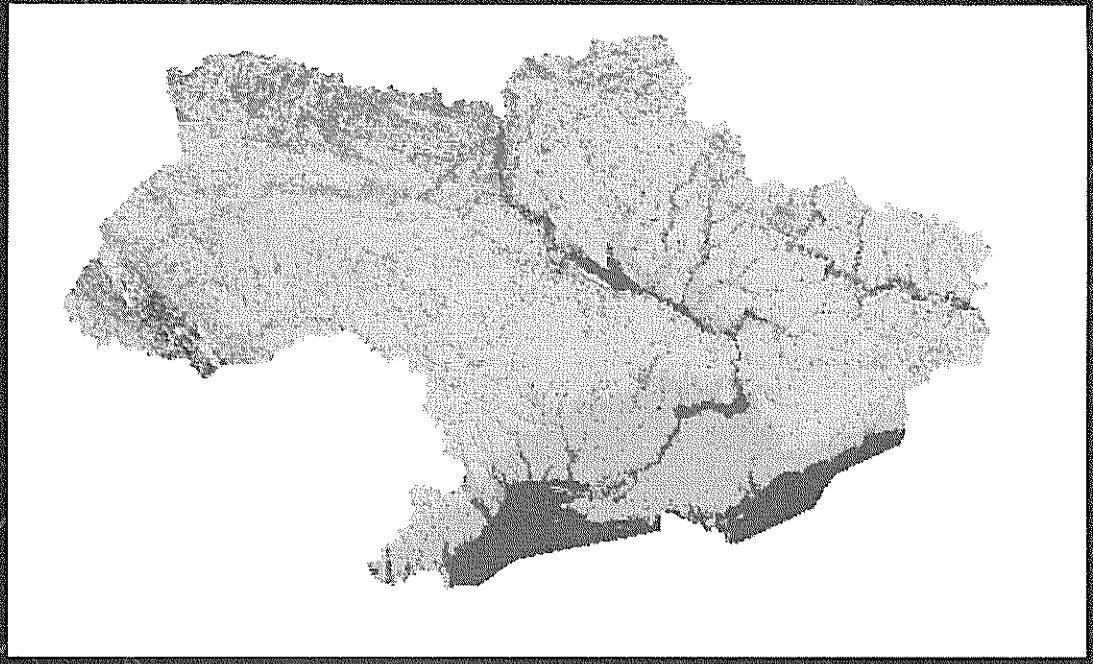
Мета роботи – дослідження та аналіз методів проектування мереж мобільного зв'язку.

Об'єкт дослідження - процес проектування мережі в програмному забезпеченні Atoll.

Предмет дослідження – принципи, моделі та методи використання технологій LTE та GSM.

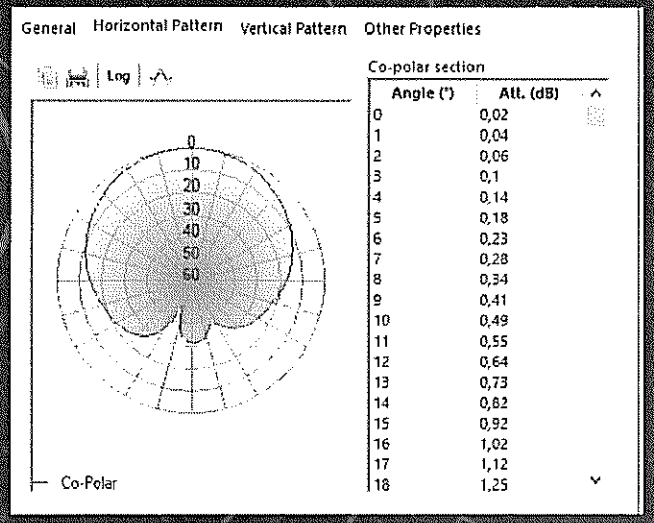


АРХІТЕКТУРА СТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ

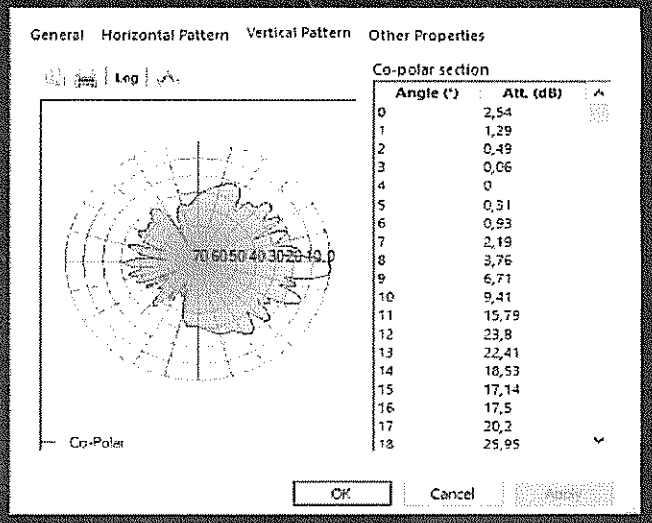


Рельєфна мапа для програми Atoll та вона ж тільки з включеною онлайн-мапою

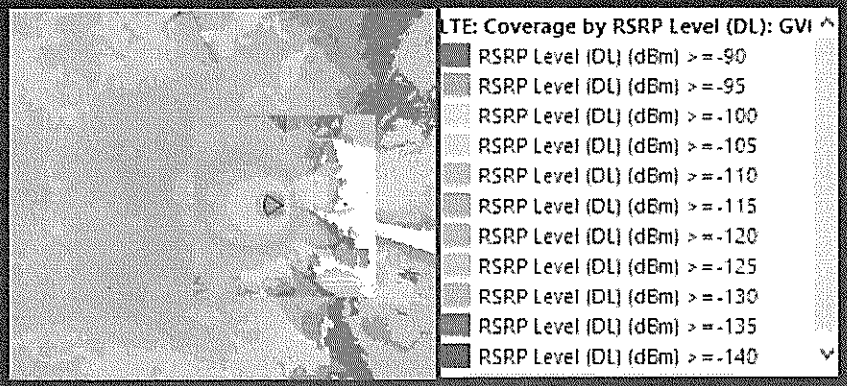




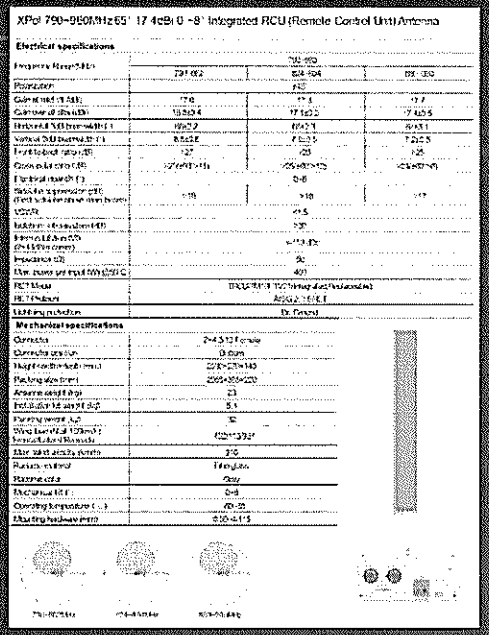
Модель горизонтального розкриву



Модель вертикального розкриву



Приклад розрахунку сили сигналу стільника LTE



XPol 790–960MHz65° 17.4dBi 0 –8° Integrated RCU(Remote Control Unit)Antenna

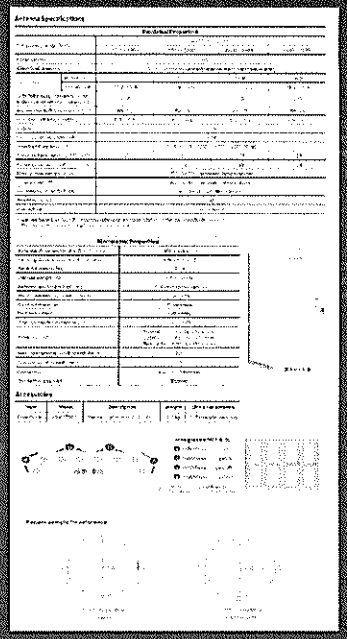
Electrical specifications

Frequency Range(MHz)	790–960		
	790–862	824–896	880–960
Polarization	±45°		
Gain over all tilts(dBi)	17.6	17.5	17.7
Gain over a tilt(dBi)	16.8@4	17.1@2	17.4@5
Horizontal 3dB beam width(°)	69±2	67±2°	64±3°
Vertical 3dB beam width(°)	8.5±0.5	7.6±0.5	7.2±0.5
Front-to-back ratio(dB)	≥27	≥25	≥25
Cross-pol ratio (dB)	≥7(60°±10)	≥5(60°±10)	≥5(60°±10)
Electrical tilt(°)	0–8		
Passive intermodulation (3rd order, 2×20W carrier)	≤-150dBc		
VSWR	≤1.5		
Isolation between ports(dB)	≥30		
Input power (Average per carrier)	≤150W		
Impedance (Ω)	50		
Max. power per input port (@50°C)	400		
RET Model	TRAXIUM-T120(Integrated)/TRAXIUM-T60(Separated)		
RET Protocol	AISG2.0(RET)		
Lightning protection	DC Ground		

Mechanical specifications

Connector	2×4.3-10 Female
Connector position	Bottom
Dimensions (H×W×D, mm)	2230×270×140
Packing size (mm)	2365×355×220
Antenna weight (kg)	23
Packing weight (kg)	34
Radome material	Fiberglass
Radome color	Gray
Mechanical tilt(°)	0–8
Operating temperature (℃)	-40~65
Mounting hardware	8.5D-4.5T

Антена TDJ-709018DEI-65Fv03



Антена HAQU4518R21v06

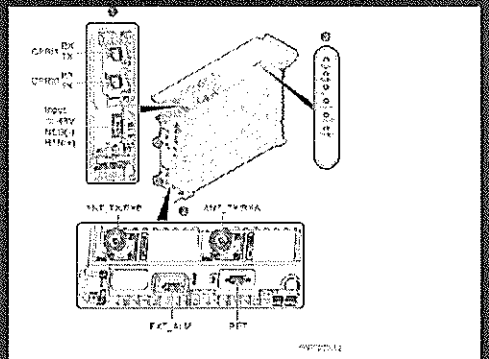


Table 1-1 Physical ports on the RRU3959/RRU3959a

Port	Connector	Quantity	Description
RF port	DIN	2	Connects to the antenna system.
CPRI port	DLC	2	Connects to the baseband unit (BBU).
Power supply port	Two-hole flame-retardant connector (pressfit type)	1	Supplies -48 V DC power input.
RET port	DB9	1	Connects to the remote control unit (RCU).
Alarm port	DB15	1	Receives alarm signals from the external devices.

Радіомодуля RRU3959

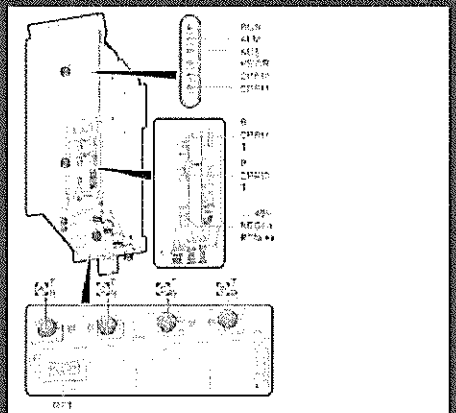


Table 1-1 Physical ports on the RRU5904

Port	Connector	Quantity	Description
RF port	4.3-10 connector	4	Connects to the antenna system.
CPRI port	DLC	2	Connects to a BBU.
Power supply port	Four-hole flame-retardant connector (pressfit type)	1	Supplies -48 V power.

Радіомодуля RRU5904

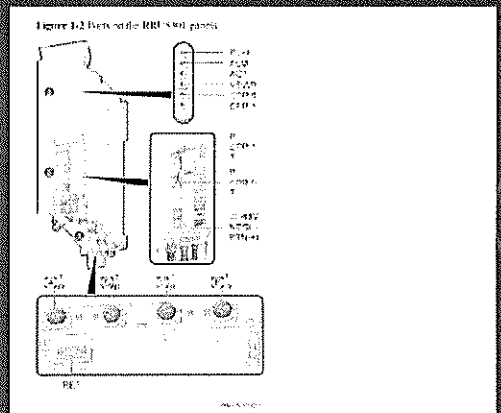
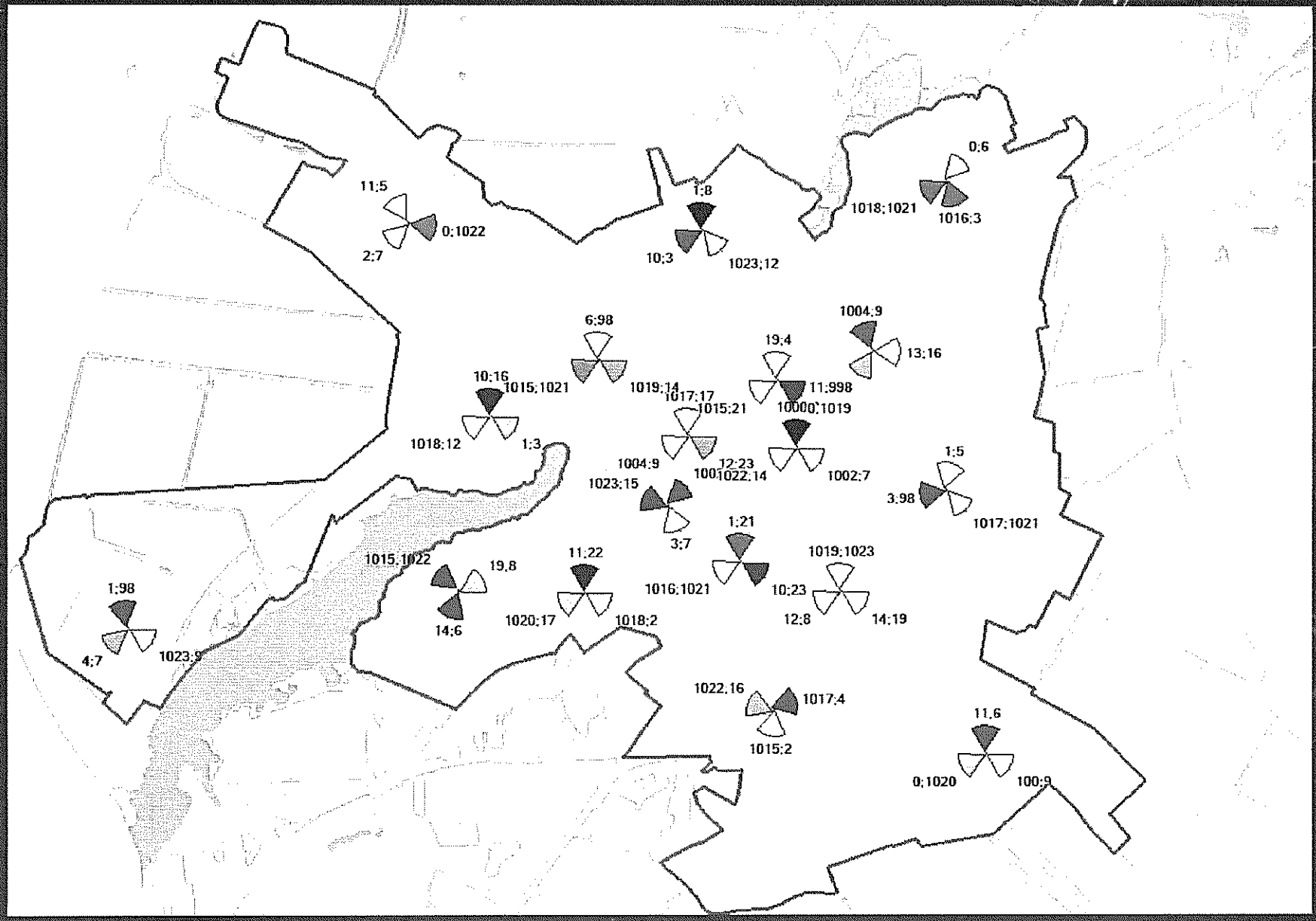


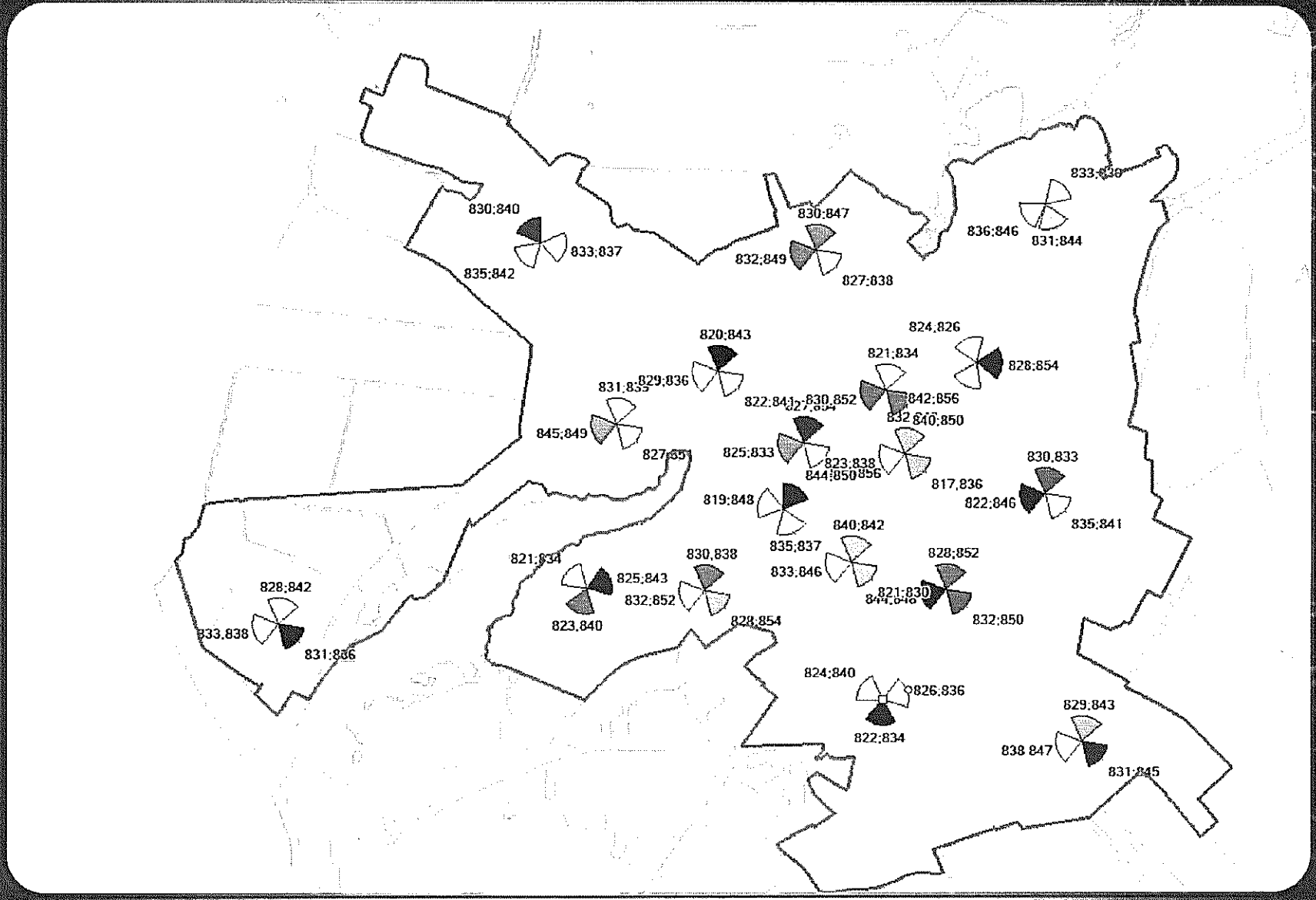
Table 1-1 Physical ports on the RRU5301

Port	Connector	Quantity	Function
RF port	4.3-10 connector	4	Connects to the antenna.
4 common public radio interface (CPRI) ports	DLC	4	Connects to the baseband unit (BBU).
Power supply socket	Easy power connector (pressfit type)	1	Receives -48 V DC power.
RET port	DB9	1	Connects to a remote control unit (RCU).

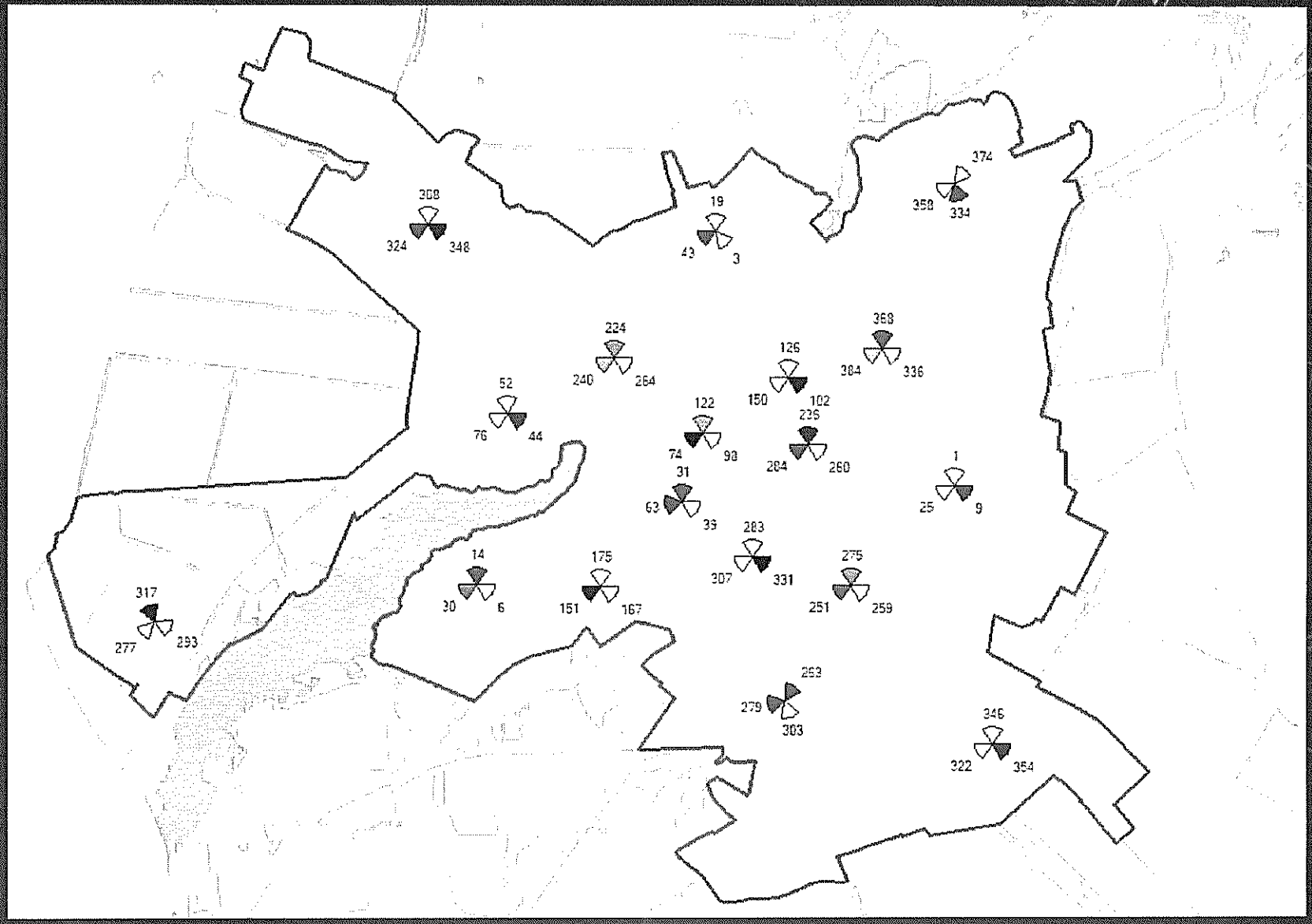
Радіомодуля RRU5301



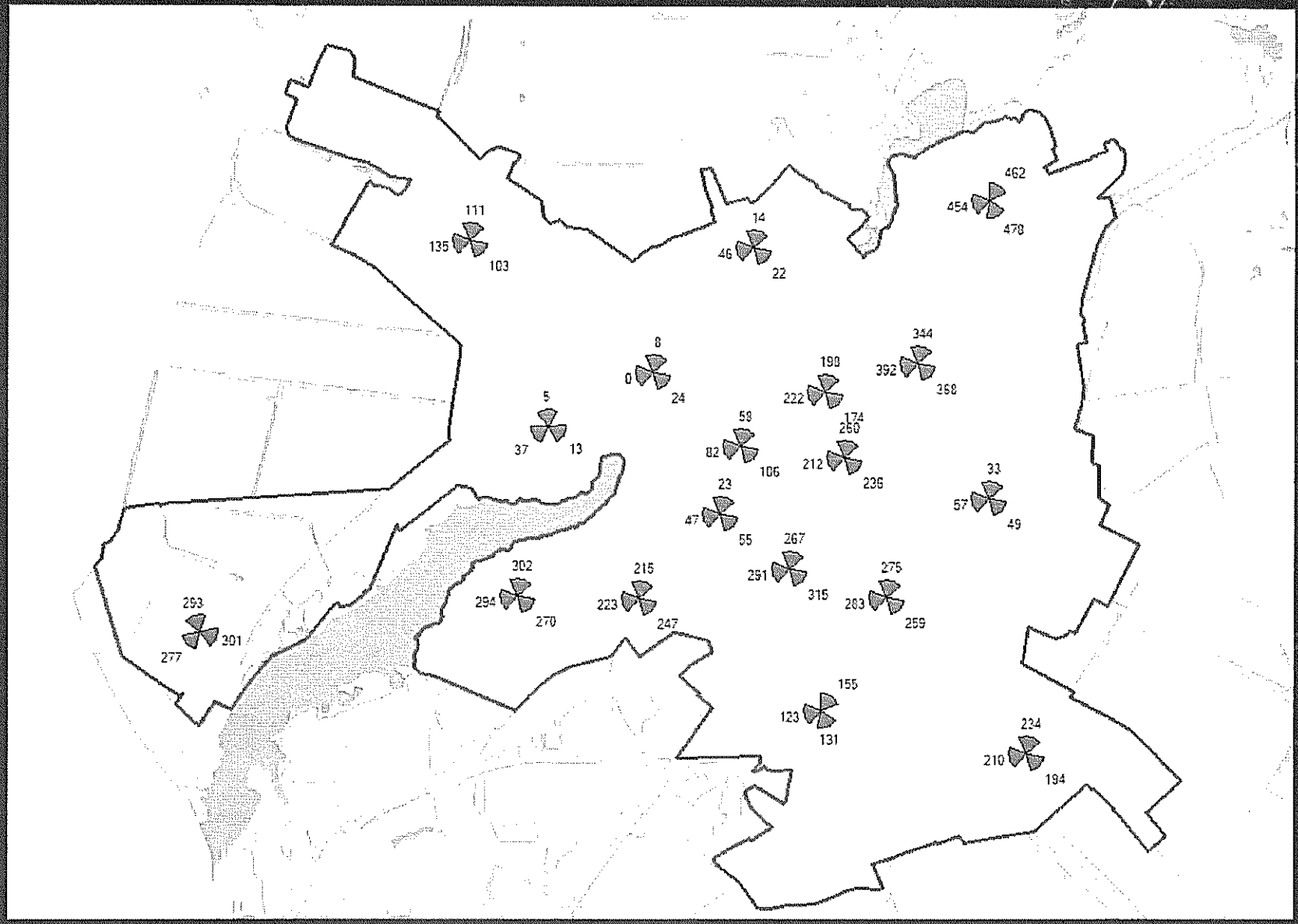
Частотний план для GSM band 8



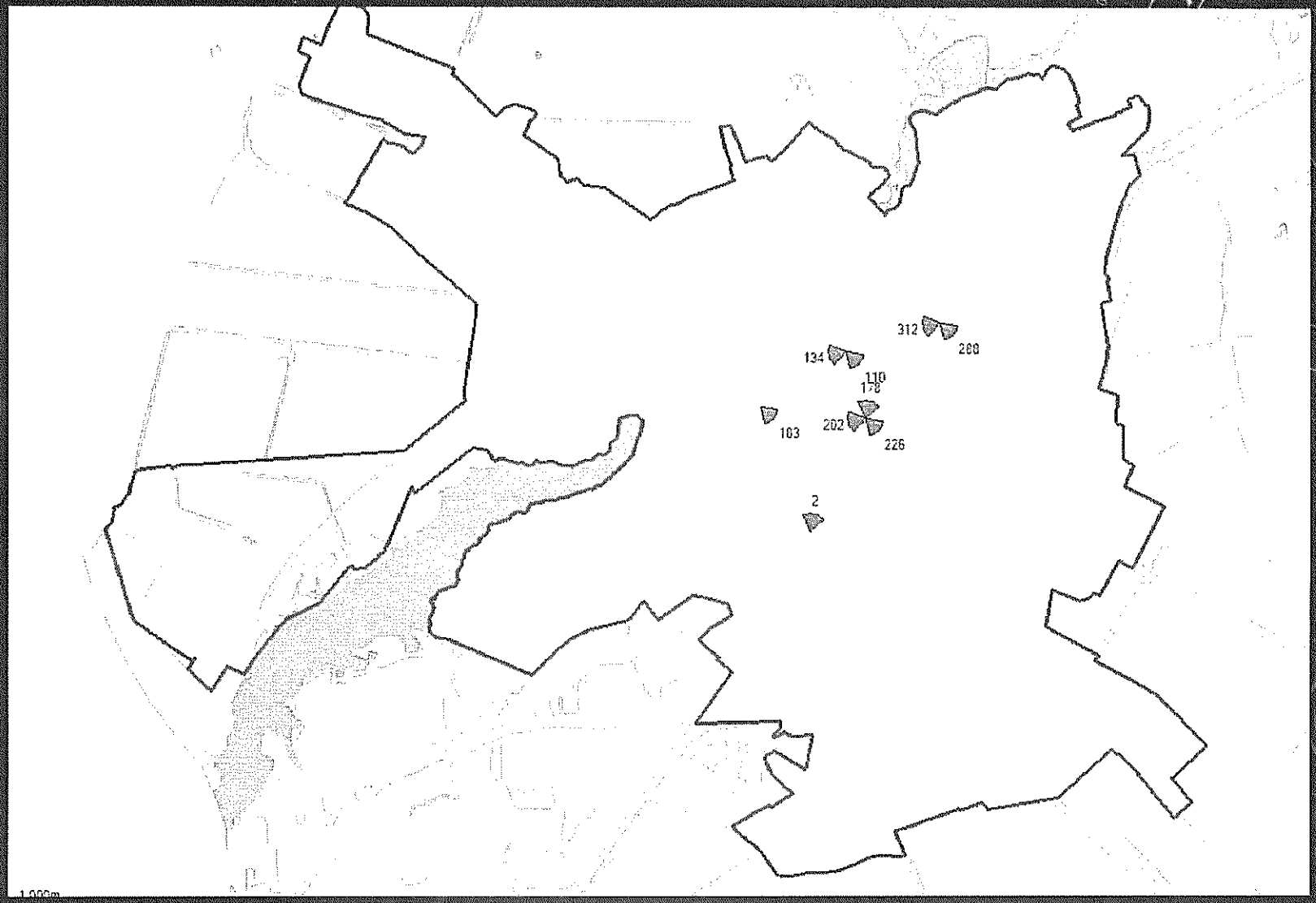
Частотний план для GSM band 3



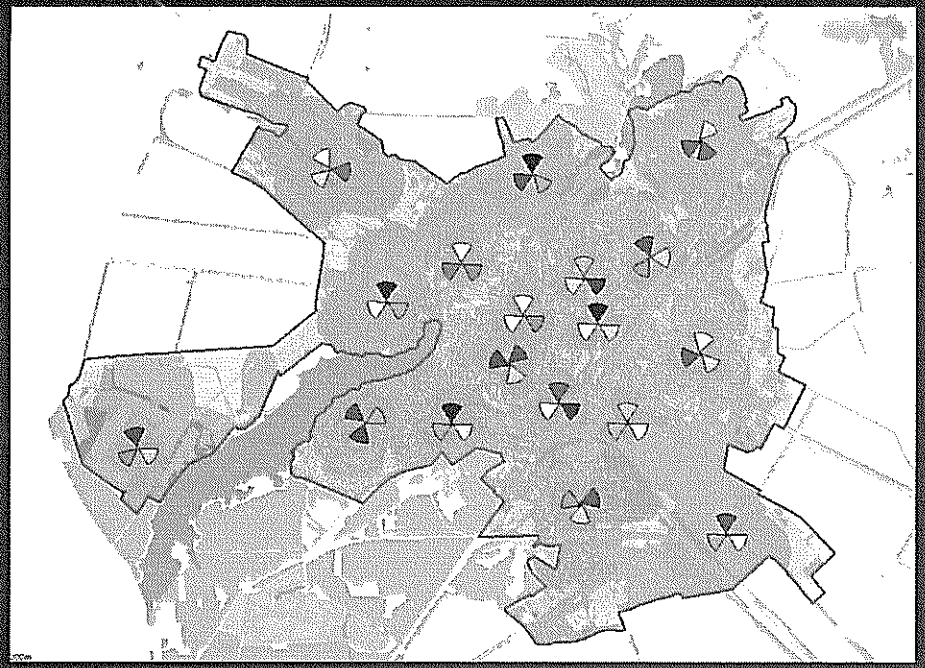
PCI план для LTE band 8

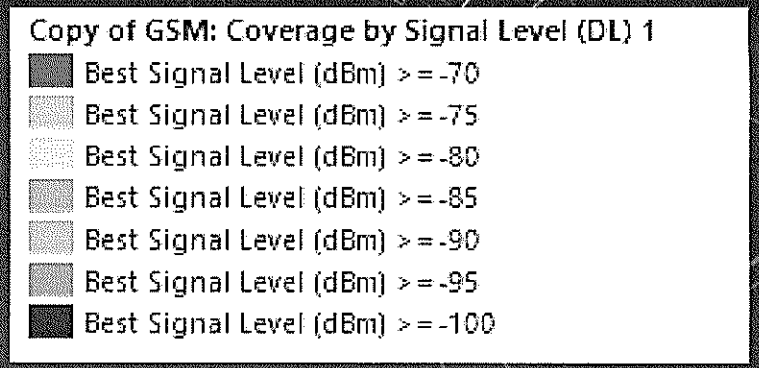


PCI план для LTE band 3

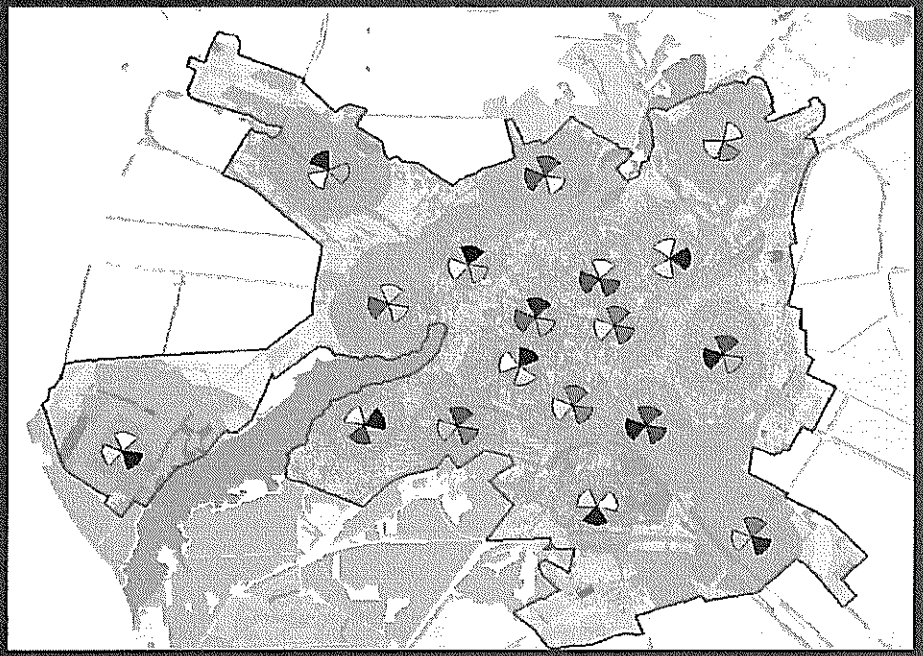


PCI план для LTE band 7

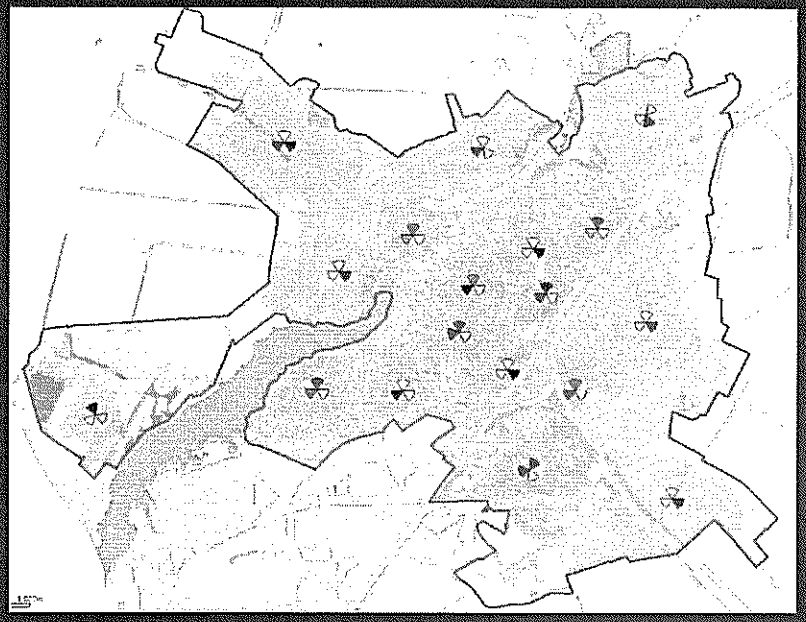




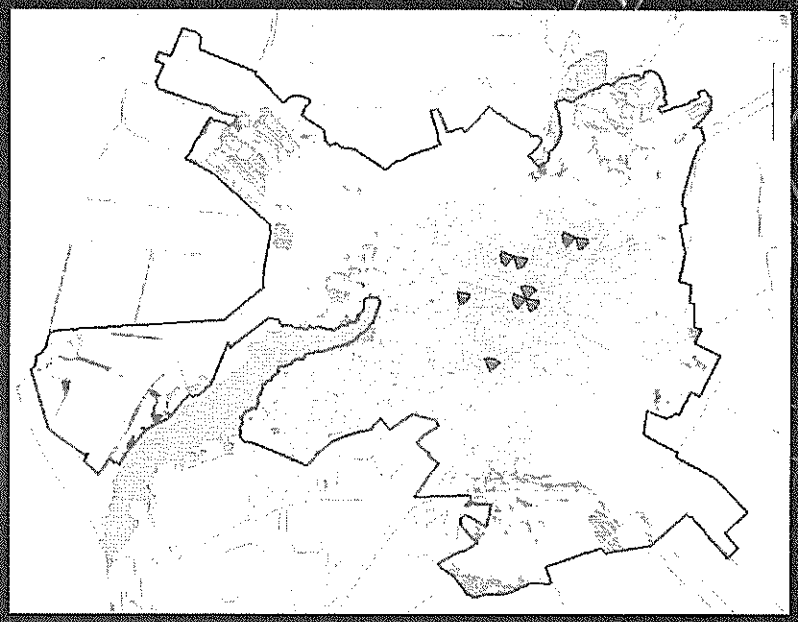
Рівень сигналу GSM band 8



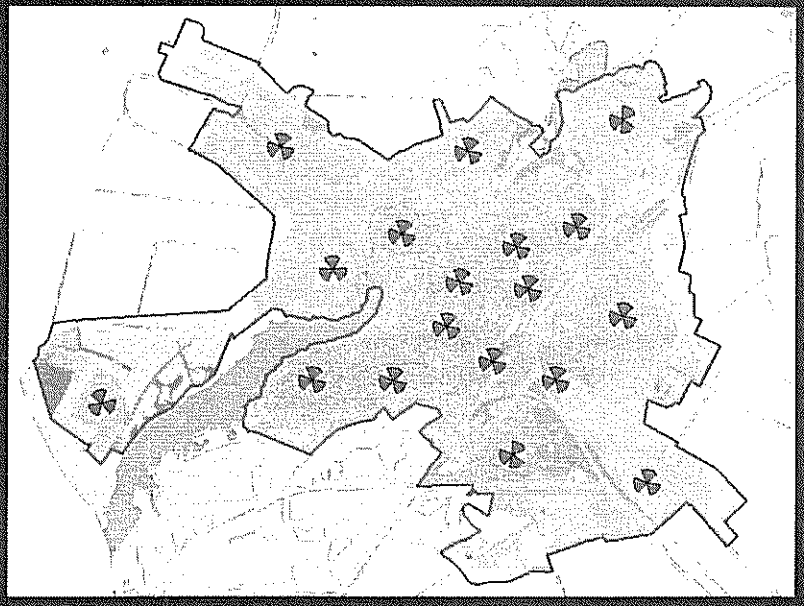
Рівень сигналу GSM band 3



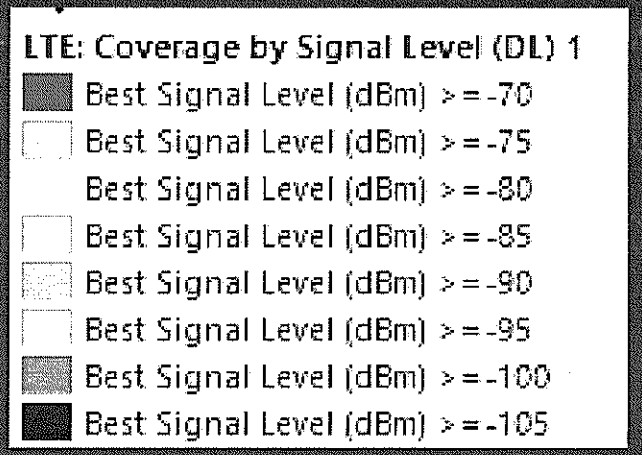
Рівень сигналу LTE band 8



Рівень сигналу LTE band 7



Рівень сигналу LTE band 3





Мапа швидкості у LTE band 7



Мапа швидкості у LTE band 3

LTE: Coverage by Throughput (DL) 2

- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=120 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=115 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=110 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=105 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=100 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=95 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=90 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=85 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=80 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=75 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=70 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=65 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=60 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=55 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=50 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=45 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=40 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=35 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=30 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=25 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=20 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=15 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=10 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=5 000
- Peak RLC Channel Throughput (DL) (kbps) >=500

ВИСНОВКИ

При виконані дипломної роботи були розглянуті питання планування мережі, розібранно з чого состоїть планування мережі і які методи планування мережі існують. Пройшли ознайомлення та процес планування проектів стільникової мережі за допомогою програмного забезпечення Atoll і використовуючи ці знання спланована мобільна мережа для невеликого міста Фастів.

Ця робота буде ще довгий час актуальний так як планування мережі це основа на якій стоїть стільниковий зв'язок. Без планування неможливо швидко та ефективно будувати та розвивати мобільну мережу.

В частності таке програмне забезпечення, як Atoll є сучасним інстрементом планування який хоплює безліч великих та маленьких деталей, які знадобляться при плануванні мережі стільникового зв'язку, яка постійно підтримується та оновлюється під сучасні виклики та технології. І без якої або її аналога, не існує жодного оператора в цивілізованих країнах.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

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: Володимир ГЛАДИШЕВ

Назва: Метод проектування мереж мобільного зв'язку на основі програмного забезпечення Atoll

Координатор: Лариса ДАКОВА

Підрозділ: ННІТ

Коефіцієнт подібності 1:11

Коефіцієнт подібності 2:2.3

Тривога: 1

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*