

Не містить відомостей, заборонених до відкритого публікування

Студент _____

Керівник _____

Харківський національний університет радіоелектроніки
Факультет Інфокомунікацій
(повна назва)
Кафедра Інфокомунікаційної інженерії імені В.В. Поповського
(повна назва)
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
(код і назва спеціальності)
Тип програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)
Освітня програма Телекомунікаційні системи та мережі
(повна назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«___» _____ 20___ р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Безрученко Олексію Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Методика планування мережі абонентського доступу WCDMA HSDPA»

Затверджена наказом університету від «10» березня 2021 р. № 343 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 24 травня 2021 р.

3. Вихідні данні до роботи: SOM метод, контролюючі петлі радіомережі, мережа WCDMA HSDPA

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі:

1. Архітектура побудови системи мобільного зв'язку

2. Концептуальні основи планування мережі WCDMA

3. Планування мережі WCDMA та її оптимізація

4. Методика розрахунку параметрів мобільної мережі зв'язку CDMA 2000

5. Новітній метод планування та оптимізації WCDMA HSDPA

6. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій: Слайди у форматі PowerPoint (назва роботи, мета роботи, мережа абонентського доступу WCDMA, еволюція планування мереж, контролюючі петлі, процес планування мережі, методи оптимізації, порівняння методів оптимізації, висновки.

7. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		(підпис)	(дата)
Основна частина	Доцент Москалець Микола Вадимович		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання	15.02.2021	Виконано
2	Збір матеріалів для дослідження	28.02.2021	Виконано
3	Розробка 1 розділу	19.03.2021	Виконано
4	Розробка 2 розділу	03.04.2021	Виконано
5	Розробка 3 розділу	15.04.2021	Виконано
6	Розробка 4 розділу	27.04.2021	Виконано
7	Розробка 5 розділу	16.05.2021	Виконано

Дата видачі завдання 15 березня 2021 р.

Студент _____

(підпис)

Керівник роботи _____

(підпис)

доц. Москалець М.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 84 с., 17 рис., 11 табл., 26 джерел.

МЕРЕЖА WCDMA, ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ, КОНТРОЛЮЮЧІ ПЕТЛІ РАДІОМЕРЕЖІ, ЦИКЛ ЯКОСТІ, МЕТОД SOM

Об'єкт дослідження – мережа абонентського доступу WCDMA, протокол передачі даних мобільного зв'язку HSDPA.

Мета роботи – освітлення інструментів і методів, що дозволяють підтримувати визначення розмірів і планування мультисервісних радіомереж для WCDMA.

У цій роботі представлений процес планування та оптимізації радіомережі для WCDMA (режим FDD), як визначено 3GPP. Ця робота складається з трьох частин: моделювання і інструменти для планування радіомережі, процес передопераційного управління мережею і оптимізація майбутньої мережі.

Результати роботи можуть бути використані, при проектуванні нових або модернізації існуючих мереж стільникового зв'язку.

THE ABSTRACT

Explanatory note: 84 p., 17 fig., 11 table, 26 sources.

WCDMA NETWORK, NETWORK PLANNING, RADIO NETWORK MONITORING LOOPS, QUALITY CYCLE, SOM METHOD

The object of research is the WCDMA subscriber access network, the HSDPA mobile data transmission protocol

The aim of the work is to highlight tools and methods that allow you to support the sizing and planning of multiservice radio networks for WCDMA.

This article presents the process of planning and optimizing a radio network for WCDMA (FDD mode) as defined by 3GPP. This work consists of three parts: modeling and tools for radio network planning, the process of preoperative network management, and optimization of the future network.

The results of the work can be used in the design of new or modernization of existing cellular communication networks.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	7
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	9
ВСТУП	12
1 АРХІТЕКТУРА ПОБУДОВИ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ	13
1.1 Передумови створення системи мобільного зв'язку з кодовим розподілом каналів	13
1.2 Еволюція систем CDMA.....	15
1.2.1 Порівняльний аналіз cdma2000 і WCDMA	16
1.3 Ведення в планування та оптимізацію радіомереж для WCDMA	17
1.4 Еволюція планування радіомереж.....	19
2 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ планування радіомережі WCDMA..	23
2.1 Контролюючі петлі радіомережі.....	24
2.2 Процес планування радіомережі.....	27
2.3 Визначення розмірів.....	29
2.4 Вплив конфігурації розташування на продуктивність радіомережі	29
3 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ CDMA 2000	31
3.1 Визначення кількості активних абонентів, які можуть працювати в одному секторі кожного стільника в прямому каналі	31
3.2 Визначення числа абонентських станцій, що одночасно обслуговуються базовою станцією в зворотному каналі	37
3.3 Розрахунок числа абонентів, що одночасно обслуговуються в одному секторі стільника	38
3.4 Розрахунок допустимого навантаження в секторах базової станції	39
3.5 Розрахунок числа абонентів обслуговуваних однією базовою станцією	40
3.6 Розрахунок числа базових станцій базових станцій.....	40
3.7 Розрахунок радіуса стільника	41

3.8	Розрахунок потужності передавача базової станції	41
4	ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ W-CDMA-HSDPA	43
5	НОВІТНІЙ МЕТОД планування та оптимізації WCDMA HSDPA ...	52
5.1	Цикл якості мережі.....	52
5.2	Компромiс між потужністю і якістю та функція витрат.....	55
5.3	SOM для планування мережі абонентського доступу.....	58
5.4	Алгоритм SOM	59
5.5	SOM в мережевому аналізі	61
5.6	Стандартний аналіз мережі WCDMA	71
5.7	Зручність використання аналізу на основі SOM.....	75
5.8	Масштабованість методу SOM	77
5.9	Використання кластеризації в оптимізації метода аналізу.....	78
	ВИСНОВКИ.....	81
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- AMPS – Advanced Mobile Phone System (Вдосконалена система мобільного зв'язку);
- BCCH – Broadcast Control Channel (Широкомовний канал управління);
- BER – Bit Error Rate (Частота бітових помилок);
- BS – Base Station (Базова станція);
- BSS – Base SubSystem (Базова підсистема);
- BSC – Base Station Controller (Контролер базової станції);
- CDMA – Code Division Multiple Access (Множинний доступ з кодовим розділенням каналів)
- CF – Cost Function (Функція Витрат);
- CM – Configuration Management (Управління конфігурацією);
- COST – European COoperation in the field of Scientific and Technical research (Європейська співпраця в галузі науково-технічних досліджень);
- CRMS – Common Resource Management Server (Сервер управління загальними ресурсами);
- D-AMPS – Digital AMPS (Цифровий AMPS);
- DL – DownLink (Низхідний канал зв'язку);
- EDGE – Enhanced Data Rate for GSM Evolution (Підвищена швидкість передачі даних для еволюції GSM);
- FCC – Federal Communications Commission (Федеральна комісія по зв'язку);
- FDD – Frequency Division Duplex (Дуплекс з частотним поділом);
- FDMA – Frequency Division Multiple Access (Множинний доступ з частотним поділом);
- GPRS – General Packet Radio Service (Загальна служба пакетного радіозв'язку);
- GSM – Global System for Mobile communication (Глобальна система мобільного зв'язку);
- HV – Horizontal-Vertical (Горизонталь-Вертикаль);
- ID – IDentification (Ідентифікація);
- IP – Internet Protocol (Інтернет-протокол);

- IPBTS – IP Base Transceiver Station (Базова приймальна станція IP);
- ITRM – IP Transport Resource Manager (Диспетчер транспортних ресурсів IP);
- ITU – International Telecommunication Union (Міжнародний союз електрозв'язку);
- JTACS – Japan TACS (Японський TACS);
- KPI – Key Performance Indicator (Ключовий показник ефективності);
- MS – Mobile Station (Мобільна станція);
- NW – NetWork (Мережа);
- NE – Network Element (Мережевий елемент);
- NMS – Network Management System (Система управління мережею);
- NMT – Nordic Mobile Telephone (Скандинавський мобільний телефон);
- NRT – Non Real Time (Не в реальному часі);
- NTT – Nippon Telegraph and Telephone (Японський телеграф і телефон);
- OPEX – OPerating EXpenditure (Операційні витрати);
- P-CPICH – Primary Common PIlot CHannel (Основний загальний пілотний канал);
- PCS – Personal Communications System (Система персональних комунікацій);
- PDC – Pacific Digital Cellular (Тихоокеанський цифровий стільниковий зв'язок);
- PI – Performance Indicator (Показник ефективності);
- PS – Performance Spectrum (Спектр продуктивності);
- QoS – Quality of Service (Якість обслуговування);
- RAN – Radio Access Network (Мережа радіодоступу);
- RL – Radio Link (Радіозв'язок);
- RLB – Radio Link Budget (Бюджет радіозв'язку);
- RN – Radio Network (Радіомережа);
- RNC – Radio Network Controller (Контролер радіомережі);
- RRM – Radio Resource Management (Управління радіоресурсами);
- RT – Real Time (У реальному часі);
- SDCCH – Standalone Dedicated Control CHannel (Автономний виділений канал управління);

- SHO – Soft HandOver (М'яка передача);
- SIR – Signal to Interference Ratio (Відношення сигнал/перешкода);
- SOM – Self Organising Map (Самоорганізована карта);
- TACS – Total Access Communication System (Система зв'язку загального доступу);
- TCH – Traffic CHannel (Канал трафіку);
- TDMA – Time Division Multiple Access (Множинний доступ з поділом за часом);
- TPC – Transmit Power Control (Управління потужністю передачі);
- Tx – Transmit (Передача);
- UL – UpLink (Висхідна лінія зв'язку);
- n_p – число одночасно обслуговуваних (активних) абонентських терміналів в прямому частотному каналі;
- n – число одночасно обслуговуваних абонентських терміналів у зворотному частотному каналі;
- $n_{\text{БС}}$ – кількість абонентів, що обслуговуються однією БС;
- БАД – бездротовий абонентський доступ;
- $N_{\text{БС}}$ – кількість БС, необхідна для обслуговування абонентів мережі БАД;
- R – радіус стільника.

ВСТУП

Розвиток телекомунікацій досягнув того рівня, за яким неминуче повинні піти якісні зміни у підходах до побудови телекомунікаційних мереж. У результаті розвитку інформаційних технологій з'явився ринок нових інфокомунікаційних послуг, що відображає процеси формування інформаційного суспільства. Реалізація цих послуг пов'язана з використанням принципів розподіленої обробки інформації, застосуванням ширококутового доступу до високопродуктивної пакетної телекомунікаційної мережі і мультимедійного термінального устаткування.

Добре оформлений план мережі повинен враховувати вимоги до охоплення і пропускну здатності розглянутої області, але також бути досить гнучким.

У WCDMA вимоги до охоплення та пропускну здатності не можуть розглядатися незалежно, вони повинні плануватися одночасно з належними керівними принципами.

У цій кваліфікаційній роботі представлений процес планування та оптимізації радіомережі для WCDMA (режим FDD), як визначено 3GPP. Ця робота складається з трьох частин: моделювання та інструменти для планування радіомережі, процес передопераційного управління мережею та оптимізація майбутньої мережі.

Показано, що алгоритм нейронної мережі, який називається самоорганізована карта (SOM) разом з традиційним методом кластеризації, таким як k-середніх, може ефективно використовуватися для спрощення і фокусування мережевого аналізу. Показано, що ці алгоритми допомагають візуалізувати та групувати клітини з аналогічною поведінкою. Таким чином легше розрізнити різні стани мережі. Це дозволяє швидше і ефективніше виконувати пошук несправностей і оптимізацію параметрів комірок. Представлений методи застосовні для різних мережевих технологій радіодоступу.

Кваліфікаційна робота присвячена розробкам питань що до методика планування мережі абонентського доступу WCDMA HSDPA.

1 АРХІТЕКТУРА ПОБУДОВИ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ WCDMA

1.1 Передумови створення системи мобільного зв'язку з кодовим розподілом каналів

Історія мобільного зв'язку почалася з експериментів перших піонерів у цій галузі. Дослідження Герца в кінці 1800-го століття надихнули Марконі на пошук ринку для нового товару (майбутнього). Потреби у зв'язку під час Першої та Другої світових війн також сприяли появі стільникового радіо, особливо з точки зору використання все більш високих частот. Перші комерційні системи були симплексними, і оператор повинен був зробити виклик. У разі виклику з мобільного телефону клієнту доводилося вручну шукати канал. Bell Laboratories вперше представила клітинну концепцію, відому сьогодні[1]. У грудні 1971 року вони продемонстрували, як можна сконструювати клітинну систему.

Перша діюча стільникова система в світі була створена в Токіо, Японія, в 1979 році. Мережа управлялася компанією NTT. Система використовувала 600 дуплексних каналів в діапазоні 800 МГц з поділом каналів 25 кГц. Іншою аналоговою системою в Японії була JTACS. В Японії було усвідомлено, що з точки зору користувача для забезпечення можливостей роумінгу необхідний єдиний повітряний інтерфейс. У 1989 році уряд ініціював дослідження в галузі розвитку, а в 1991 році була розроблена нова цифрова система: був впроваджений Тихоокеанський Цифровий стільниковий зв'язок (PDC).

У 1981 році, на два роки пізніше, ніж в Японії, клітинна ера досягла Європи. Скандинавський мобільний телефон в діапазоні 450 МГц (система NMT-450) почав працювати в Скандинавії. Система зв'язку загального доступу (TACS) була запущена в Сполученому Королівстві в 1982 році, а розширена TACS була розгорнута в 1985 році. Згодом у Німеччині вересню 1985 року була введена стільникова система C-450. Таким чином, в кінці 1980-х років Європа була оснащена декількома різними системами стільникового зв'язку, які не могли взаємодіяти. До кінця 1980-х років стало ясно, що стільникові системи першого покоління застарівають. Технологія інтегральних схем зробила цифровий зв'язок

не тільки практичною, але і більш економічною, ніж аналогова технологія. На початку 1990-х років у всьому світі почали розгортатися стільникові системи другого покоління (цифрові). Європа очолила цей процес, впровадивши GSM (глобальну систему мобільного зв'язку). Метою GSM було забезпечення єдиного уніфікованого стандарту в Європі. Це дозволило б забезпечити безперебійне мовне обслуговування по всій Європі з точки зору міжнародного роумінгу.

Ситуація в Сполучених Штатах була дещо іншою, ніж у Європі. Аналогові системи першого покоління підтримувалися стандартом Advanced Mobile Phone System (AMPS), доступним для громадськості з 1983 року. Під час клітинної еволюції в Сполучених Штатах цифровий світ був розділений на три частини. Першою цифровою системою, введеною в 1991 році, була IS-54 (північноамериканський цифровий стільниковий зв'язок TDMA), а нова версія, що підтримує додаткові послуги (IS-136), була введена в 1996 році. IS - 95 (cdmaOne) був представлений в 1993 році. Обидва ці стандарти працюють в тому ж діапазоні, що і підсилювачі. У той же час FCC виставила на аукціон новий блок спектра в діапазоні 1900 МГц. Це відкрило вихід GSM1900 (PCS) на ринок США.

За останнє десятиліття світ телекомунікацій різко змінився з різних технічних і політичних причин. Широке поширення цифрових технологій в телекомунікаціях призвело до радикальних змін в послугах і мережах. Роумінгу в Японії, роумінгу в Європі або роумінгу в Сполучених Штатах вже недостатньо. Глобалізація робить свій вплив і на світ стільникового зв'язку. На додаток до цього поточного сильного прагнення до бездротового доступу в Інтернет через мобільні термінали виникли потреби в універсальному стандарті, універсальному стандарті мобільного зв'язку, 3G.

Мережі третього покоління розробляються шляхом інтеграції функцій мереж на основі телекомунікацій та Інтернет-протоколу (IP). Мережі на основі IP, спочатку призначені для підтримки передачі даних, почали передавати потокові сигнали, такі як голосовий / звуковий трафік, хоча і з обмеженою якістю голосу і затримками, які було важко контролювати. Коментарі та прогнози, що стосуються бездротового ширококутового зв'язку та послуг бездротового Інтернету, культивують бачення необмежених послуг і додатків, які будуть доступні споживачеві "в будь-якому місці і в будь-який час". Споживачі очікують, що вони будуть переглядати веб-сторінки, перевіряти електронну пошту, завантажувати

файли, здійснювати відеоконференції в режимі реального часу і виконувати безліч інших завдань по бездротовому зв'язку. Споживач очікує єдиного інтерфейсу користувача, який забезпечить доступ до бездротового зв'язку, будь це покупки в торговому центрі, очікування в аеропорту, прогулянки по місту, робота в офісі або поїздка по шосе.

Нове покоління - це не тільки революційна технологія радіодоступу, і можна стверджувати, що прагнення до нового технічного рішення не є єдиною мотивацією для 3G. Ці вимоги також обумовлені зростанням вимог клієнтів, новим баченням бізнесу і новими пріоритетами в житті.

1.2 Еволюція систем CDMA

Отже перша фаза впровадження системи cdma2000 (версії cdma2000-1x) початково розглядалася як етап еволюції стільникової системи cdmaOne (комерційний варіант найменування стандарту TIA IS-95 (Interim Standard), перекладається як «тимчасовий стандарт» Асоціації телекомунікаційної промисловості).

Передбачуваними напрямками подальшої еволюції системи є впровадження нових, більш ефективних методів цифрової обробки сигналів і розробка багаточастотних радіоінтерфейсів технології CDMA.

Перехід від cdma2000 LX базової версії IS - 2000 до cdma2000 lx EV-DO практично ознаменував поділ системних завдань на передачу голосового трафіку і високошвидкісну передачу даних. Подальші удосконалення поширювалися виключно на сегмент передачі даних. Черговий реліз стандарту TIA / EIA / IS-856, відомий як cdma2000 lx EV-DV Rev.C (Evolution Data & Voice або TIA / EIA / IS-856-C), знову передбачає інтегрування двох функцій (основна ідея полягає в наданні двонаправлених послуг з передачі даних і голосу в одному радіоканалі одночасно).

За своїми можливостями і характеристиками система TIA IS-95 не відноситься до 3G, проте короткий розгляд її архітектури і технічних особливостей будуть корисні для викладу і сприйняття відомостей про системи cdma2000.

В архітектуру радіоінтерфейсу cdma2000 EV-DV RevC включений прямий канал передачі пакетних даних F-PDCH (Forward Packet data Channel), єдиний алгоритм адаптивного управління кодовим і енергетичним ресурсом системи і нова схема HARQ. Як і в попередніх релізах, передбачено використання адаптивних методів модуляції і кодування, тимчасове мультиплексування і додатково - застосування технології CDM (Code Division Multiplexing).

Канал F-PDCH містить від 1 до 28 CDM субканалів, кожен, з яких розширюється по спектру 32-елементною функцією Уолша. У каналі F-PDCH застосовується турбо код зі швидкістю 1/5 і такі види модуляції, як QPSK, 8-PSK і 16-QAM. Ресурс каналу використовується переважно для того, щоб розвантажити систему в моменти пікового трафіку. Він виділяється пріоритетним користувачам в залежності від обсягу і якості затребуваних тими послуг. Для підвищення гнучкості управління пакетним трафіком і кодовим ресурсом системи розмір фрейма зменшений до 1.25, 2.5 і 5 мс.

1.2.1 Порівняльний аналіз cdma2000 і WCDMA

Існувала конкурентна боротьба, яка розгорнулася на етапі гармонізації проектів cdma2000 і WCDMA, протистояння між компаніями Ericsson і Qualcomm закінчилося. Прийняте в кінці 1999 р компромісне рішення відкрило дорогу до 3-го покоління відразу двом технологіям. Північноамериканський проект cdma2000 остаточно доопрацьовується в рамках стандарту IMT-MS (варіант MS-CDMA), а роботи по WCDMA і UTRA розділилися на два напрямки. Перший стандарт IMT-DS базується на технічних рішеннях WCDMA FDD і UTRA FDD (для парних смуг частот), а другий IMT-TC (для непарних смуг частот) заснований на технічних рішеннях Європейського проекту UTRA TDD і китайського проекту TD-SCDMA.

Ключова відмінність cdma2000 і WCDMA, яка стало предметом гострої полеміки, різні чіпові швидкості 3,6884 і 3,84 Мчип/с. Вибір чіпової швидкості в проекті cdma2000 зроблений з умови забезпечення зворотної сумісності з cdmaOne (3x1,2288 Мчип/с) і можливості використання на перехідному етапі до IMT-2000 двухрежимних терміналів типу cdma2000/cdmaOne. На відміну від cdmaOne, що розробляється в Європі і Японії стандарт WCDMA не переслідує цілей забезпечення сумісності з існуючими мережами зв'язку, хоча закладені в

ньому рішення базуються на використанні єдиних базових мереж GSM MAP, ANSI-41 і IP-мереж. Для поділу сигналів базових станцій в cdma2000 використовуються короткі коди довжиною 215 з різними циклічними зрушеннями, що вимагає їх взаємної синхронізації. Асинхронний принцип побудови мережі WCDMA робить її незалежною від зовнішнього джерела синхронізації. Така можливість забезпечується за рахунок використання різних кодів Голда (для поділу базових станцій). Початкова синхронізація мобільних станцій в системі cdma2000 забезпечується за загальним пілот-сигналом, що випромінюється кожною базовою станцією. Так як всі БС в мережі синхронні, то ніякої додаткової синхронізації не буде потрібно. Після захоплення пілот-сигналу мобільна станція визначає всі параметри, необхідні для когерентної демодуляції сигналу і забезпечення хендовера.

Процедура початкового пошуку в системі WCDMA більш складна, так як здійснюється в три етапи. Однак з точки зору швидкодії вона володіє перевагою, тому що на кожному етапі область невизначеності порівняно невелика. Час встановлення початкової синхронізації в cdma2000 дещо вищий через велику апріорну невизначеність.

Між розглянутими технологіями є і багато спільного. Перш за все, для збільшення пропускної здатності в них використовується мультикодова передача, що дозволяє виділити одному користувачеві відразу кілька каналів. Обидва стандарти передбачають динамічне управління потужністю в прямому і зворотньому каналах зв'язку, хоча в проекті WCDMA використовується більш швидкодіюча схема управління потужністю. Підвищення завадостійкості забезпечується за рахунок рознесення на передачі, використання згорткових і турбо-кодів та ін.

1.3 Ведення в планування та оптимізацію радіомереж для WCDMA

При переході від мереж 2G до мереж 3G виник ряд нових проблем, багато з яких пов'язані з проектуванням і плануванням справжніх мультисервісних радіомереж, а деякі з них - з конкретними аспектами базової технології радіодоступу WCDMA.

Перш ніж більш детально розглянути, що насправді стало новим (і

відмінним) у плануванні та оптимізації радіомереж WCDMA, корисно узагальнити деякі з визначальних характеристик мультисервісних радіомереж 3G у порівнянні з порередніми.

Можна охарактеризувати радіодоступ 3G наступними атрибутами:

1. Високорозвинений радіоінтерфейс, що забезпечує більшу гнучкість при передачі і мультиплексуванні великого набору голосових і, зокрема, послуг передачі даних. Крім того, пропускна здатність варіюється від низької до дуже високої швидкості передачі даних, в кінцевому рахунку до 2 Мбіт/с;

2. Покриття стільникового зв'язку та наявність послуг для декількох служб з різними вимогами до QoS. Через великі відмінності в результуючих бюджетах радіозв'язку більше не можуть бути отримані єдині схеми покриття і пропускної здатності, як це практикується в сучасних радіомережах тільки для передачі голосу. Вимоги до трафіку та цільові показники QoS повинні бути різними між різними службами;

3. Великий набір складних функцій і добре продуманий рівень радіозв'язку. Прикладами цього є: різні схеми кодування радіолінії / адаптації пропускної здатності; підтримка передових концепцій підвищення продуктивності антен, таких як рознесення передачі BS, або включення схем придушення перешкод.

4. Ефективні механізми усереднення перешкод і надійності для роботи в середовищі з сильно обмеженими перешкодами. Робота з високою спектральною ефективністю зажадає хорошого домінування стільників за рахунок правильного вибору місця розташування об'єкта, ширини променя антени, нахилу, орієнтації і т. д.

5. Широке використання сучасних технологій щодо забезпечення пропускної здатності пакетних даних, тобто тимчасово невикористана ємність радіоресурсів повинна надаватися з'єднанням пакетних даних гнучким і справедливим чином.

6. Для того щоб забезпечити в кінцевому рахунку високу пропускну здатність радіозв'язку, мережі 3G повинні пропонувати ефективні засоби для багаторівневої роботи мережі. Крім того, потрібна безшовна взаємодія 3G та 4G.

7. Ще одним дуже важливим аспектом є можливість спільного розміщення 3G - стільників з існуючими й розташованими 2G, що знижує витрати

і накладні витрати при придбанні та обслуговуванні місця. Однак спільне розміщення 2G-3G піднімає ряд питань, які повинен враховувати планувальник радіомережі.

У цьому вступі WCDMA була коротко розглянута. Підсумовуючи перераховані проблеми, можна побачити, що існують деякі елементи і, безумовно, багато деталей, які постачальник мережі повинен враховувати при плануванні та оптимізації мереж WCDMA[2].

Загальні проблеми, з якими доводиться стикатися при плануванні мереж 3G, засновані на тому факті, що багато питань взаємопов'язані і повинні розглядатися одночасно:

- планування означає не тільки відповідність поточному стану і вимогам, а й відповідність обраного рішення майбутнім вимогам в сенсі прийняттого шляху розвитку. Крім того, механізми управління мережею повинні підтримувати процеси операторів і вказувати не тільки області, де покриття/пропускна здатність є вузьким місцем, а й визначати області, в яких нові послуги можуть бути впроваджені в рамках існуючої інфраструктури;

- невизначена оцінка зростання трафіку. Виникає не тільки питання про загальний обсяг трафіку, але і питання про майбутній розподіл послуг і потреби. Аналіз тенденцій може бути використаний з існуючими послугами, але впровадження нової послуги може призвести до абсолютно нового поєднання попиту на послуги.

Всі системи CDMA мають взаємозв'язок між пропускною здатністю і охопленням, а отже, і якістю. Отже, саме планування мережі має бути засноване не тільки на оцінці поширення, але і на ситуації перешкод в мережі. В ідеалі вибір розташування буде здійснюватися на основі аналізу мережі із запланованим навантаженням і портфелем трафіку/послуг.

1.4 Еволюція планування радіомереж

Планування ґрунтувалося на шестикутному підході, і були перераховані його слабкі сторони:

- щільність руху не може вважатися однорідною;
- поширення радіосигналу не можна вважати рівномірним;

- розташування базових станцій не може бути вибрано довільно;
- область трафіку зазвичай має межу, яку слід враховувати.

Можна відзначити, що планування радіомережі та її розвиток у часі можуть бути легко зіставлені з розвитком технологій доступу та вимогами, встановленими ними. Перші аналогові мережі планувалися з урахуванням низьких вимог до пропускну здатності. Планування радіомережі ґрунтувалося виключно на охопленні. Місця розташування були високими, щоб підтримувати низьку щільність цих місць, використовувалися всеспрямовані антени[9]. Така модель поширення широко використовувалася для розрахунку покриття при плануванні макроклітинної мережі. На основі вимірювань, проведених у Токіо на частотах до 1920 МГц ці вимірювання були пристосовані до математичної моделі м.Хата[10]. У вихідній моделі втрати на шляху були розраховані шляхом обчислення емпіричного коефіцієнта корекції загасання для міських районів в залежності від відстані між базовою станцією і мобільною станцією і частоти. Цей фактор був доданий до втрати вільного місця. Результат був скоригований з урахуванням коефіцієнтів для антени базової станції і висоти антени мобільної станції. Додаткові поправочні коефіцієнти були передбачені для орієнтації на вулиці, в передмістях, на відкритих майданчиках і на нерівній місцевості. Формули Хата дійсні, коли несуча частота становить від 150 до 1000 МГц, висота базової станції - від 30 до 200 м, висота мобільної станції - від 1 до 10 м, а відстань - від 1 до 20 км. Висота антени базової станції повинна бути вище рівня даху будівель, прилеглих до базової станції. Таким чином, модель пропонується використовувати в дослідженнях поширення макрокомірок. Вихідні дані, на основі яких була розроблена модель, були усереднені на інтервалі 20 м, що є свого роду мінімальним просторовим дозволом моделі. Через обмеження смуги частот оригінальна модель була адаптована COST-231, в результаті чого модель COST-231-Хата має діапазон 1,5-2,0 ГГц, який можна застосувати також до радіомереж третього покоління[11].

З доступних моделей поширення найбільш часто згадується модель Окумура-Хата. Тому він став еталоном, з яким порівнюються інші моделі. Діапазон зручності використання з різними типами землекористування і рельєфу, а також для різних параметрів мережі зробив модель Окумура-Хата дуже корисною в багатьох різних дослідженнях поширення.

З плином часу, разом з розвитком систем 2G, щільність комірок ставала все вище через зростаючі вимоги до пропускнуої здатності. Крім того, початкове припущення про те, що клієнти стільникового зв'язку в основному будуть автомобільними, виявилось невірним. Таким чином, максимальні рівні потужності ТХ призначеного для користувача обладнання були знижені як мінімум на 10дБ, у зв'язку з чим необхідно збалансувати бюджети радіозв'язку. Все це змусило стільникові мережі відмовитися від всенаправленої структури і призвело до введення поділу стільників, тобто одине місце розташування складалося з трьох секторів замість одного. У зв'язку зі збільшеними вимогами до спектральної ефективності механізм управління перешкодами став більш важливим. На додаток до секторизації також був введений нахил антени в якості механізму зменшення перешкод. Крім того, модель макроцелюлярного поширення вже не була достатньо точною; для підтримки планування мікроелементів необхідні нові моделі.

Вальфіш-Ікегамі - ще одна модель, на яку часто посилаються. Ця модель заснована на припущенні, що передана хвиля поширюється по дахах в процесі багаторазової дифракції. Будівлі на лінії між передавачем і приймачем характеризуються як дифрагуючі напівекрани з рівним поділом висоти і дальності. Хоча модель Вальфіша-Ікегамі вважається моделлю мікроелементів, її слід використовувати дуже обережно, коли антена передавача знаходиться нижче дахів навколишніх будівель.

Моделювання розповсюдження було важливим питанням для виконання частотного плану. Розподіл частот, незалежно від фактичного методу розподілу, ґрунтується на прогнозованих даних поширення, і тому виникла необхідність у все більш точному моделюванні поширення. Прикладами більш точних моделей є моделі, засновані на трасуванні променів. За допомогою трасування променів було застосовано 2D і 3D-моделювання. Напруженість поля в приміщенні розраховується з використанням втрат в стіні ([дБ]) і внутрішніх втрат ([дБ/м]). Додаткової інформації про внутрішні конструкції будівель не потрібно. Моделювання було зіставлено з вимірюваними даними, і результати досить точні.

Пізніше були впроваджені методи планування частоти GSM на основі звітів про вимірювання мобільних станцій. Можливості, що надаються мобільними звітами в GSM і WCDMA, повинні більшою мірою використовуватися в процесі

управління мережею (планування, оптимізація та інтеграція цих двох).

На додаток до розробки моделі розповсюдження було відзначено, що зростаючі потреби в пропускній здатності можуть бути задоволені тільки при більш точному плануванні частоти. Призначення частот разом з плануванням і оптимізацією списку сусідніх стільників (для цілей передачі) були основними питаннями при плануванні мереж GSM. У випадку GSM була введена стрибкоподібна перебудова частоти для подальшого підвищення ефективності спектра.

Передбачення поширення має обмежену точність через те, що середовище поширення дуже важко моделювати і, таким чином, генерувати загальну модель, яка застосовується в декількох стільниках, за своєю природою має обмежену точність. Це особливо застосовується, коли необхідно враховувати характеристики загасання (як швидкого, так і повільного). Останні заходи з управління радіомережею зосереджені на оптимізації плану із замкнутим контуром. Первісна планована конфігурація (напів)автоматично налаштовується на основі статистики, зібраної в живій мережі.

Новим напрямком в дослідженнях планування радіомереж є синтез планів, тобто автоматичне формування місця розташування базової станції в залежності від виведення функції витрат[12].

У стільникових мережах управління використанням мережі вимагає такої функціональності, яка може використовувати виміряну інформацію зворотного зв'язку і правильно реагувати на основі цього. Тому вкрай важливо, щоб етап планування був тісно інтегрований з іншими функціями управління мережею і системою управління мережею. Це особливо важливо у випадку WCDMA, у зв'язку з тим, що буде безліч послуг, тобто диференціація клієнтів, що встановлює багатовимірну матрицю вимог QoS.

2 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ОСНОВИ ПЛАНУВАННЯ РАДІОМЕРЕЖІ WCDMA

Стратегії планування та оптимізації повинні підкріплюватися реалістичними бізнес-планами як з точки зору майбутніх оцінок попиту на послуги, так і з точки зору потреб в інвестиціях в мережеву інфраструктуру. Вимоги до мережевої інфраструктури можуть бути досягнуті за допомогою інструментів визначення розмірів системи, здатних оцінювати як радіодоступи, так і основні компоненти мережі. Знайшовши привабливий бізнес-кейс, розгортання системи має передавати ретельне планування мережі. Інструмент планування мережі повинен бути здатний точно моделювати поведінку системи при завантаженні з очікуваним профілем трафіку. На етапі експлуатації ефективні вимірювальні петлі зворотного зв'язку є основою ефективної роботи мережі.

Класи трафіку 3G і пріоритети користувачів, а також сама технологія радіодоступу формують дві найбільш значні проблеми при розгортанні системи третього покоління на основі WCDMA. У випадку мереж 3G завдання операторів полягає в тому, щоб знайти розумний з точки зору витрат компроміс між пропускнуою здатністю і покриттям і при цьому надавати конкурентоспроможні послуги. Крім того, система управління мережею повинна не тільки виявляти брак потужностей в поточній мережі, але і визначати, де є потенціал для впровадження послуг передачі даних там, де їх в даний час немає.

Зараз будуть перераховані деякі питання, що мають відношення до планування 3G:

- впровадження декількох сервісів;
- вимоги до QoS;
- моделювання розподілу трафіку (наприклад, гарячі точки трафіку);
- вплив мобільності на планування;
- ієрархічні структури стільників та інші спеціальні типи стільників.

2.1 Контролюючі петлі радіомережі

При наданні послуг 3G управління частиною доступу може бути розділене на три рівні. Ці рівні управління зображені на рис. 2.1. Цей цикл може бути поміщений на один рівень з циклом оптимізації рівня статистичної мережі. Передопераційний режим включає в себе дії, що виконуються за допомогою автономного інструменту планування / симулятора. Основні вдосконалення або впровадження нових послуг плануються з використанням вимірних довгострокових даних про продуктивність існуючої мережі. Планування передопераційного режиму забезпечує перші значення для ітерації продуктивності, виконуваної за допомогою циклу статистичної оптимізації. Найвищий рівень управління на рис. 2.1 призначений для статистичної оптимізації не в реальному часі і налаштування продуктивності радіомережі на основі статистичних даних. Це робиться всередині системи управління мережею, поруч з управлінням конфігурацією і управлінням продуктивністю (тобто вимірами з мережі). Цикл також дозволяє автоматизувати процес усунення неполадок, коли збої в продуктивності можуть бути швидко виправлені шляхом передачі інформації про звіти в механізм оптимізації та управління конфігурацією між модулями NMS. Несправності та відстежувані дані про продуктивність можуть бути легко передані "Оптимізатору" для подальшого аналізу, перевірки та вирішення проблем.

Передопераційний режим можна далі розділити на дві фази: початкове планування (визначення розмірів) і детальне планування радіомережі. Цикл статистичної оптимізації не в реальному часі заснований на наборі довгострокових вимірювань з мережі. Вимірювання об'єднуються з функцією витрат, і, крім того, оптимізується висновок функції витрат. Оптимізація здійснюється шляхом налаштування параметрів конфігурації.

Два нижніх рівня на рис.2.1 складаються з контурів зворотного зв'язку в реальному часі в базовій станції, контролері радіомережі (RNC), контролері базової станції (BSC) або сервері управління загальними ресурсами (CRMS). Головною відмінністю в цих двох циклах реального часу є час, необхідний для прийняття рішення.

- повільний цикл оптимізації в реальному часі забезпечує динамічне

управління взаємодією систем, саморегулювання параметрів радіомережі (наприклад, порогів навантаження) і т.д. залежно від функціонального поділу функцій управління мережею цей цикл може бути поміщений у фактичні елементи мережі або може бути розміщений в системі управління мережею. Основною перевагою використання NMS є можливість використання статистичних даних, що охоплюють всю область мережі;

– швидкі петлі управління в реальному часі пов'язані з швидким регулюванням потужності, швидким контролем перевантаження, адаптацією каналів і розподілом каналів. Важливо відзначити, що цей цикл впливає на процес планування радіомережі з точки зору моделювання управління потужністю і поведінки передачі і т. д.

Цикли реального часу також називаються алгоритмами управління радіоресурсами (RRM). RRM складається з набору алгоритмів контролю допуску, контролю потужності, контролю передачі і т.д. і відповідає за забезпечення розумної роботи мережі. Це досягається за рахунок надання наборів параметрів за замовчуванням для управління робочою точкою мережі з точки зору компромісу між вартістю покриття пропускну здатності(капітальні витрати, операційні витрати).

Тобто, це означає, що оператор повинен приймати бізнес-рішення, пов'язані з якістю обслуговування QoS, наприклад, він пропонує високу якість із зменшеною пропускну здатністю або прагне до дорогої інфраструктури, але високому покриттю також для користувачів з високою швидкістю передачі даних і т. Д. Швидкі петлі зворотного зв'язку в елементах мережі радіодоступу можна розглядати як адаптивний RRM.

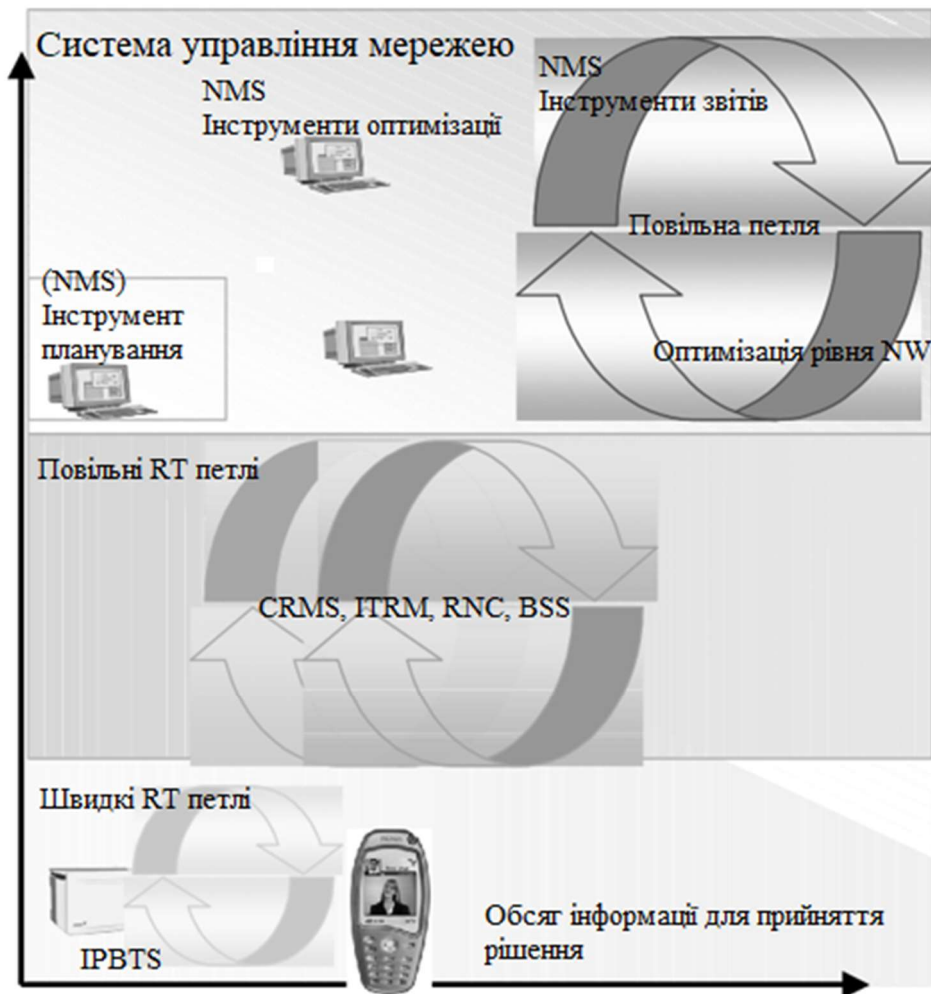


Рисунок 2.1 – Ієрархія в циклах оптимізації в мережі. На цьому рисунку передопераційний цикл об'єднаний з циклом статистичної оптимізації NMS

Цикл статистичної оптимізації необхідний для зміни меж, що контролюють RRM, щоб робоча точка мережі була оптимальною з точки зору пропускної здатності і якості. Компроміс між потужністю і якістю і взаємодія оптимізації і RRM проілюстровані на рис.2.2.

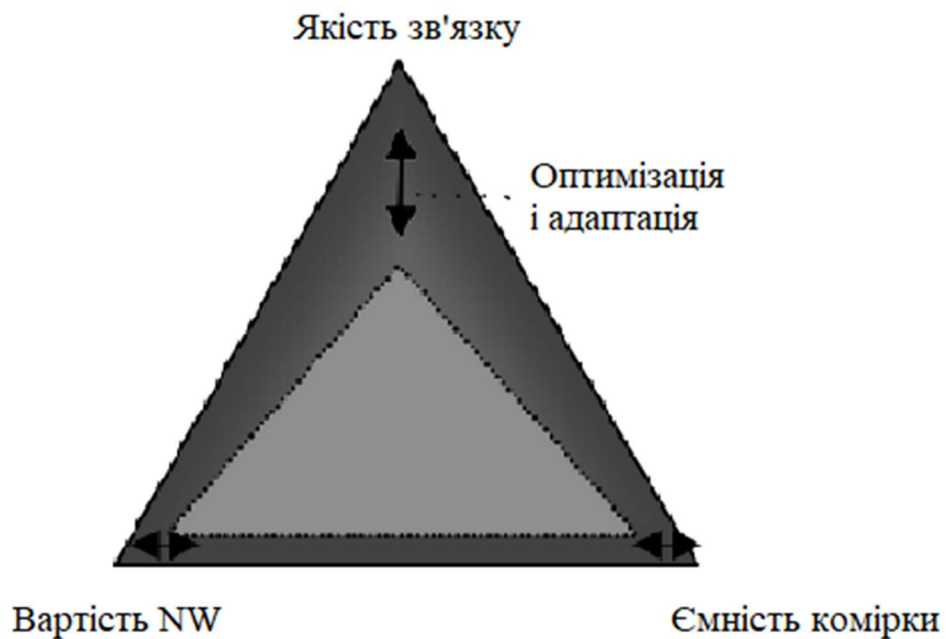


Рисунок 2.2 – Управління компромісом між потенціалом і якістю. RRM забезпечує верхні межі для зовнішнього трикутника; оптимізація змінює форму внутрішнього трикутника для підтримки стратегії операторів

2.2 Процес планування радіомережі

У рекомендаціях щодо планування для cdmaOne, таких як [13], основна увага приділяється лише одному випадку технічного обслуговування, компроміс між потужністю та охопленням чітко не представлений. Процес планування для мультисервісних мереж CDMA, ніде в літературі не зустрічається в якості повного опису процесу, що об'єднує аспекти пропускної здатності, якості та охоплення.

Процес на етапі планування радіомережі показаний на рис. 2.3. Сам процес йде зверху вниз. Входи і виходи для кожної з фаз можна знайти в лівій і правій частинах рисунка. Тригерами для ітерації процесу можуть бути:

- продуктивність нижче встановлених цільових показників;
- зміна бізнес-стратегії;
- нові послуги;
- зміна пріоритетів обслуговування;

– зміна пріоритетів клієнтів і т. д.

Зміни, пов'язані з бізнес-стратегією, відображають налаштування вхідних параметрів.

Початкове планування (тобто визначення розмірів системи) забезпечує першу і найбільш швидко оцінку розміру мережі, а також відповідної ємності задіяних елементів. Це включає в себе як мережу радіодоступу, так і основну мережу.

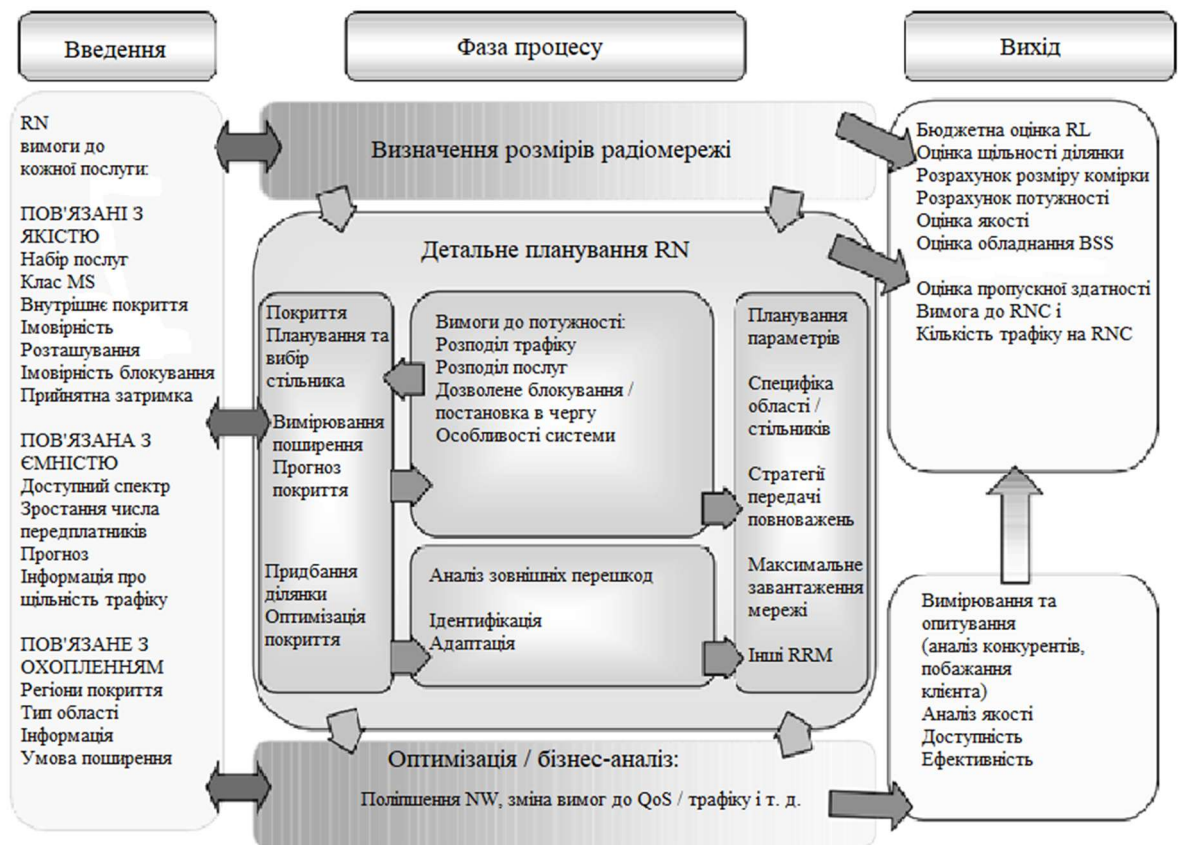


Рисунок 2.3 – Процес планування та оптимізації радіомережі. На вихідній стороні вимірювання з живої мережі можуть замінити оцінки, використовувані на етапі планування/визначення розмірів

На етапі детального планування розмірна щільність ділянки переноситься на цифрову карту з урахуванням фізичних обмежень, що виникають, наприклад, при придбанні ділянки. Аналіз WCDMA сам по собі є ітераційним процесом, вимоги до ємності враховуються як дискретні MSS в моделюванні WCDMA. На етапі детального планування виконується множинний аналіз, щоб перевірити, чи

дійсно виконані встановлені вимоги. На етапі планування засоби оптимізації можуть бути виконані шляхом контролю перешкод з точки зору правильної конфігурації антени, вибору місця розташування або нахилу антени. Крім того, продуктивність мережі може бути наближена до необхідних цілей з використанням, наприклад, підсилювача головки щогли (МНА) або схем рознесення.

У разі зміни бізнес-стратегії оператора, визначення розмірів і детальне планування можуть надати цінну інформацію, пов'язану з розширенням мережі. Вимірювана інформація про трафік може бути імпортована в інструмент планування, і ця інформація може бути додатково використана при перевірці пропускної здатності і можливостей покриття планованої мережі.

2.3 Визначення розмірів

Метою етапу визначення розмірів є оцінка необхідної щільності ділянки і конфігурації ділянки для області. Початкові заходи з планування RAN включають в себе RLB і аналіз покриття, оцінку пропускної здатності і, нарешті, оцінку кількості обладнання і вузлів базової станції, контролерів радіомережі (RNC), обладнання на різних інтерфейсах і основних мережевих елементів.

Визначення розмірів системи забезпечує першу швидку оцінку можливої конфігурації мережі. Це включає в себе як мережу радіодоступу, так і основну мережу. Визначення розмірів засноване на наборі вхідних параметрів, і наданий результат релевантний тільки для цього набору вхідних параметрів. Ці параметри включають інформацію про площу, трафік та QoS. Якість враховується з точки зору ймовірності блокування і покриття.

Розрахунок RLB виконується для кожної служби, і найжорсткіша вимога визначає максимально допустиму втрату ізотропного шляху.

2.4 Вплив конфігурації розташування на продуктивність радіомережі

У зв'язку з тим, що WCDMA повинна мати обмежену пропускну здатність, оптимізація з точки зору контролю перешкод вже на етапі планування має важливе значення. Також важливі засоби для підтримки швидкого виходу з

мережі. Вивчення [14], навіть якщо застосувати сильний інженерний підхід, що демонструє зручність використання МНА. Крім того, перевіряється вплив вибору антени на заводову ситуацію і, отже, пропускну здатність.

У мережах WCDMA покриття, як правило, обмежене висхідною лінією зв'язку, хоча низька потужність передачі базової станції в поєднанні з асиметричними службами передачі даних може призвести до обмеженого покриття низхідної лінії зв'язку. Пропускна здатність може бути обмежена як висхідною, так і низхідною лінією зв'язку в залежності від запланованого рівня завантаження висхідної лінії зв'язку, потужності передачі базової станції, завантаженості мережі трафіком і продуктивності базової станції і мобільних терміналів. Існує кілька способів підвищення пропускну здатності мережі WCDMA або продуктивності покриття. До них відносяться:

- секторизація;
- використання ретрансляторів;
- використання ієрархічних структур стільників;
- використання оптимізованої конфігурації розгортання[15];
- використання різноманітності передачі;
- використання формування променя.

3 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ МОБІЛЬНОЇ МЕРЕЖІ ЗВ'ЯЗКУ СТАНДАРТУ CDMA 2000

3.1 Визначення кількості активних абонентів, які можуть працювати в одному секторі кожного стільника в прямому каналі

Методика розрахунку числа обслуговуваних абонентів, які можуть працювати в одному секторі кожного стільника, наведена в роботі [13]

Істотною особливістю систем стільникового зв'язку є наявність внутрішньосистемних перешкод. Ці перешкоди виникають в прямому каналі (БС-АС) за рахунок прийому абонентською станцією крім корисного сигналу від базової станції «робочої» зони обслуговування сигналів від базових станцій сусідніх зон обслуговування (секторів або сот). У зворотному каналі (АС-БС) ці перешкоди виникають на вході приймача БС, куди надходить багато сигналів від АС, з якої здійснюється сеанс зв'язку по одному з каналів, сигнали від інших АС, що знаходяться в зоні обслуговування цієї БС.

Розглянемо стільникову мережу рухомого зв'язку, зображену на рис. 3.1. [13]. Дана схема передбачає варіант, при якому кількість базових станцій і їх взаємне розташування виробляє максимально можливий вплив на приймач АС.

Розглянута модель передбачає, що АС розташована на краю зони обслуговування і знаходиться на однаковій відстані від трьох найближчих БС. Рівні сигналів, прийнятих від цих БС, випадкові, і АС, проводячи відповідні вимірювання, встановлює зв'язок з тією БС, чий рівень сигналу виявляється найбільшим. Перешкоди на вході приймача АС виникають від двох найближчих БС, трьох БС, розташованих на відстані $2R$ і шести БС, розташованих на відстані i -й. Перешкоди, що виникають від БС, розташованих на більшій відстані, можна не враховувати через їх незначний внесок в сумарний рівень перешкод. В умовах міської забудови рівень сигналів від цих БС убуває пропорційно четвертого ступеня відстані між АС і БС. Слід зазначити, що при використанні ДНА $\varphi = 120^\circ$ кількість заважаючих БС розташованих на відстані $2R$ дорівнює шести,

Показане на рис. 3.1 АС на межі зони обслуговування є найгіршим з точки впливу заважають сигналів сусідніх БС.

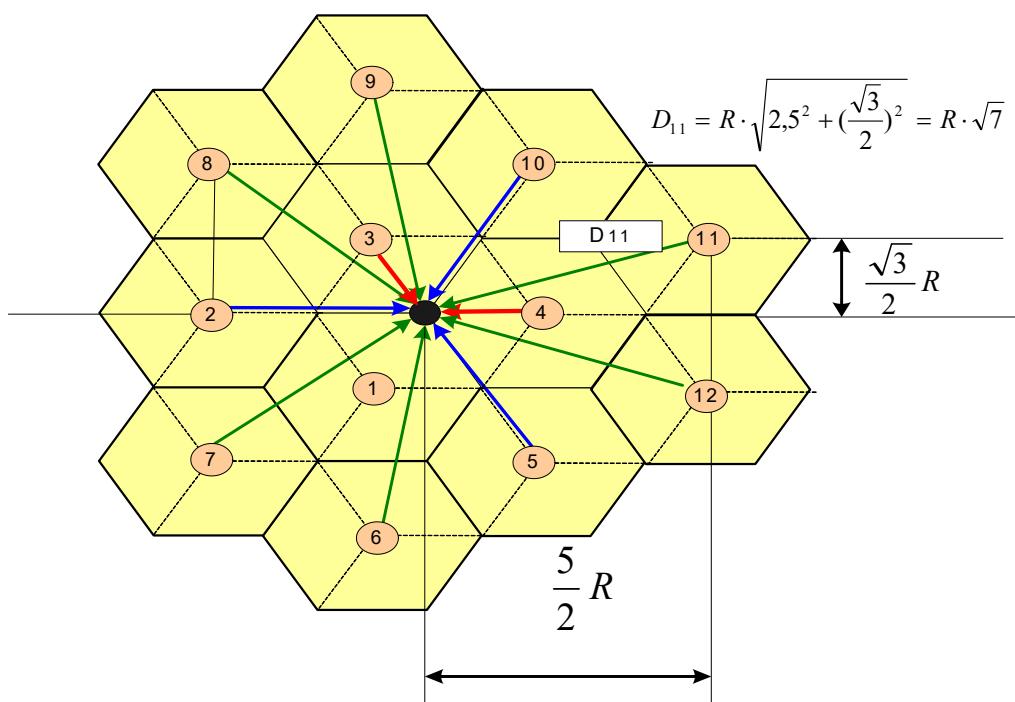


Рисунок 3.1 – Вплив заважаючих сигналів сусідніх БС при місцезнаходженні АС на кордоні зони

Слід зазначити, що БС випромінює не тільки абонентські сигнали, частина потужності її передавача приблизно рівна 20% витрачається на передачу пілот-сигналу.

При визначенні повної потужності сигналу, випромінюваної кожної БС, необхідно врахувати, що по-перше, n_0 мобільних станцій, які одночасно можуть працювати в зоні її обслуговування розподілені в ній випадковим чином, а по-друге, що протягом пауз мови сигнали на відповідну БС не передаються. Інтервал зазвичай приймають рівним $\alpha = 3/8$ від тривалості розмови.

Повна потужність сигналу, випромінювана антеною БС, визначається співвідношенням

$$P_t = \frac{1,09\alpha}{1-\lambda} \left(\frac{n_0}{2} \right) P_R \quad (3.1)$$

де n_0 – кількість одночасно працюючих АС;

P_R – потужність сигналу, випромінюваного БС на одну АС;

λ – потужність передавача, що витрачається на пілот-сигнал.

Вищенаведена формула справедлива для випадку, коли застосовується автоматичне регулювання потужності випромінювання БС. В іншому випадку випромінювана потужність практично в два рази більше [13]:

$$P_t = \frac{1,09\alpha P_R n_0}{1-\lambda} \quad (3.2)$$

На трасі поширення сигналу від БС до АС уздовж траси протяжністю R відбувається його ослаблення за законом:

$$L(R_i) = \frac{k}{R^n} 10^{0,1x} \quad (3.3)$$

де R – відстань між БС і АС;

k – деякий коефіцієнт, що залежить від частоти передачі, висоти антени БС і т. д.

n – параметр загасання радіохвиль. Його величина коливається в межах 2...5. У теоретичних розрахунках величину приймають рівною 4;

x – випадкова величина, що моделює флуктуації коефіцієнта ослаблення сигналу.

На практиці такі флуктуації підпорядковуються логарифмічно нормальному закону [13] і тому можна вважати, що x – випадкова гауссова величина, що має середнє значення $\bar{x} = 0$ і середнє квадратичне відхилення $\sigma = \sqrt{x^2}$. Таким чином, потужність перешкоди, що приходить на вхід приймача АС від i – й БС, що знаходиться від нього на відстані визначається співвідношенням:

$$P_i = P_t L(R_i) = \left(\frac{k P_t}{R_i^n} \right) 10^{0,1x} \quad (3.4)$$

Сумарна потужність перешкод від всіх заважають БС, показаних на рис. 3.1 становить:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=2}^{12} P_i = \frac{k P_t}{R^n} \left[10^{0,1x_2} + 10^{0,1x_3} + \frac{M+1}{2^{n+1}} \sum_{i=4}^6 10^{0,1x_i} + \frac{1}{\sqrt{7^n}} \sum_{i=7}^{12} 10^{0,1x_i} \right] \quad (3.5)$$

Вищенаведене співвідношення справедливо для випадків різних типів антен. Для ненаправлених $M=1$, для спрямованих трьохсекторних антен $M=3$. Формула також передбачає, що максимальний сигнал АС приймає від першої БС. Оскільки ослаблення сигналів, що приходять від тих перших БС, залежить від x_i ($i=1,2,3$), потужність корисного сигналу, що діє на вході АС:

$$P_S = \frac{kP_R}{R^n} 10^{0,1x_S} \quad (3.6)$$

де $x_S = \max(x_1, x_2, x_3)$.

Отже, з урахуванням (3.5) і (3.6) можна записати відношення сигнал/перешкода на вході приймача АС має вигляд:

$$\rho = \frac{1-\lambda}{\alpha n_0} \cdot \frac{10^{0,1x_S}}{\left[10^{0,1x_2} + 10^{0,1x_3} + \frac{M+1}{2^{n+1}} \sum_{i=4}^6 10^{0,1x_i} + \frac{1}{\sqrt{7}^n} \sum_{i=7}^{12} 10^{0,1x_i}\right]}. \quad (3.7)$$

Для спрощення аналізу припустимо що найближчі до МС базові станції створюють на вході МС, вельми близькі за рівнем сигнали, тоді (3.7) приймає вигляд:

$$\rho = \frac{1-\lambda}{\alpha n_0} \cdot \left(2 + \left[\frac{M+1}{2^{n+1}} \sum_{i=4}^6 10^{0,1x_i} + \frac{1}{\sqrt{7}^n} \sum_{i=7}^{12} 10^{0,1x_i}\right] 10^{-0,1x_S}\right). \quad (3.8)$$

Для подальшого аналізу необхідно визначити розподіл величини:

$$V_0 = \left[\frac{M+1}{2^{n+1}} \sum_{i=4}^6 10^{0,1x_i} + \frac{1}{\sqrt{7}^n} \sum_{i=7}^{12} 10^{0,1x_i}\right] 10^{-0,1x_S} = V_1 \cdot V_2. \quad (3.9)$$

Строго вирішити це завдання складно. Наближені методи дозволяють апроксимувати даний розподіл логнормальким законом, тобто.

$$V_1 = \exp(m_1 + z_1), \quad (3.10)$$

де z_1 – гауссова випадкова величина, що має нульове середнє значення

У [13] показано, що

$$m_1 = \ln \left(\frac{\xi_1 \exp(\gamma^2 \sigma^2 / 2)}{\sqrt{(1-\xi_2) + \xi_2 \exp(\gamma^2 \sigma^2)}} \right), \quad (3.11)$$

$$\sigma_1^2 = \ln[(1 - \xi_2) + \xi_2 \exp(\gamma^2 \sigma^2)],$$

де

$$\xi_1 = [3(M + 1)^2 \cdot 2^{-2(n+1)} + 6 \cdot 7^{-n}] \cdot [3(M + 1)^2 \cdot 2^{-(n+1)} + 6 \cdot 7^{-n/2}]^{-2}$$

$$\xi_2 = 3(M + 1)^2 \cdot 2^{-(n+1)} + 6 \cdot 7^{-n/2}$$

$$\gamma = 0,1 \ln 10 = 0,23;$$

σ – середнє квадратичне відхилення флуктуації сигналу. Розподіл $V_2 = 10^{-0,1x_s}$ також апроксимується логнормальним законом:

$$V_2 = \exp(m_2 + z_2) = 10^{0,1x_s} = \exp(-\gamma x_s) \quad (3.12)$$

тобто $m_2 + z_2 = -\gamma x_s$, де z_2 – гауссова випадкова величина з нульовим середнім і дисперсією σ_2 . Як показано в [13]

$$m_2 = \frac{3\gamma}{2\sqrt{\pi}} \sigma;$$

$$\sigma_2^2 = \left[1 - \frac{9-2\sqrt{3}}{4\pi} \right] \cdot \gamma^2 \sigma^2 \quad (3.13)$$

Прийняті апроксимації розподілів V_1 та V_2 призводять до того, що розподіл V_0 в (3.8) теж логнормально:

$$V_0 = \exp(m_0 + z_0), \quad (3.14)$$

де z_0 – гауссова випадкова величина, середнє значення якої дорівнює нулю. Значення m_0 і дисперсія σ величини z_0 визначаються співвідношеннями [13]:

$$m_0 = (m_1 - m_2) \quad (3.15)$$

Так як V_0 апроксимовано логнормальним законом, умова:

$$\rho \leq \frac{[(1-\lambda)/\alpha \cdot n_0]}{\exp(m_0 + k_\tau \sigma_0)}. \quad (3.17)$$

Виконується в P_τ відсотках часу, якщо P_τ та k_τ пов'язані співвідношенням:

$$\rho_\tau = 100 \int_{k_\tau}^{\infty} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \frac{dt}{\sqrt{2\pi}}. \quad (3.18)$$

У системах 3-го покоління, побудованих на базі CDMA, відношення сигнал/перешкода на вході приймача і на його виході (на вході вирішального пристрою, в якому визначається знак переданого інформаційного символу) пов'язані співвідношенням:

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{B_{inf}}{B_r} \right) \quad (3.19)$$

де ρ – відношення сигнал/перешкода на вході приймача;

ρ_0 – відношення сигнал/перешкода на виході приймача;

B_r – чіпова швидкість (біт/с);

B_{inf} – швидкість передачі інформації (біт/с).

Зіставивши (3.17) і (3.19), отримаємо рівняння, що визначає допустиме число абонентів, які можуть працювати в одному секторі кожного стільника, при заданій якості прийому сигналів будь АС (визначаємому ρ_0) і заданої надійності прийому (визначаємому P_τ).

$$n_0 = 2 \cdot \frac{1-\lambda}{\alpha \rho_0} \cdot \frac{B_r/B_{inf}}{(2 + \exp(m_0 + k_\tau \sigma_0))} \quad (3.20)$$

Множення на 2 в (3.20) необхідно для обліку регулювання потужності. Зазвичай прийнятним в CDMA вважається якість прийому інформації, при якому

ймовірність помилкового прийому одного інформаційного символу становить 10^{-3} , що забезпечується при $\rho_0 = 5(7)$ дБ [13].

Необхідно відзначити, що ці співвідношення справедливі для прямого каналу. Пропускна здатність зворотного каналу не залежить від числа сусідніх БС, а залежить від числа одночасно працюючих АС.

3.2 Визначення числа абонентських станцій, що одночасно обслуговуються базовою станцією в зворотному каналі

У зворотному каналі для сигналу, що приходить від будь АС на вхід приймача БС, перешкодою є сигнали, що приходять від інших АС. У прямому каналі джерелом перешкод на вході приймача ас є сигнали від віддалених БС. Таким чином, оцінка пропускної здатності БС полягає в аналізі впливу на неї внутрішньосистемних перешкод як у зворотному каналі, так і в прямому.

У першому випадку, якщо число одночасно працюють АС позначити буквою n_0 , то для сигналу, що приходить на вхід приймача БС від кожної АС, перешкодою будуть сигнали від інших $n_0 - 1$ абонентська станція. Отже, справедливі такі залежності:

$$N_{ВП} = \frac{\gamma \cdot (n_0 - 1) P_C}{F} \text{ та } N = N_{СП} + N_{ВП} \quad (3.21)$$

де γ – коефіцієнт, що характеризує взаємнокореляційні властивості сигналів;

$N_{СП}$ – спектральна щільність потужності власних перешкод;

$N_{ВП}$ – спектральна щільність потужності взаємних перешкод;

F – смуга частот, займана системою зв'язку (Гц);

P_C – рівень потужності сигналу, випромінюваного передавачем однієї АС.

Відомо, що відношення сигнал-шум на вході приймача БС в системах CDMA визначається співвідношенням:

$$\rho = \frac{P_C T}{N}, \quad (3.22)$$

де T – тривалість одного елемента широкопasmового сигналу.

Використовуючи (3.21) і (3.22), в результаті перетворень отримаємо:

$$\rho = \frac{P_{CT}}{N} = \frac{P_{CT}}{N_{СП} + N_{ВП}} = \frac{P_{CT} \cdot 1/N_{СП}}{\left(N_{СП} + \frac{\gamma \cdot (n_0 - 1) P_C}{F}\right) \cdot \frac{T \cdot 1/N_{СП}}{T}} = \frac{\rho_{СП}}{1 + \frac{\gamma \cdot (n_0 - 1) \rho_{СП}}{B}} \quad (3.23)$$

Звідси:

$$n_0 = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{B}{\rho} - \frac{B}{\rho_{СП}} \right) + 1, \quad (3.24)$$

де $\rho_{СП}$ – відношення сигнал-власна перешкода на вході приймача БС;

B – база широкопasmового сигналу;

На практиці $\rho_{СП} \gg \rho$ тож (3.24) перетвориться до виду:

$$n_0 = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{B}{\rho} \right) + 1 \quad (3.25)$$

3.3 Розрахунок числа абонентів, що одночасно обслуговуються в одному секторі стільника

Розрахунок числа абонентів доцільно виконувати за формулою (3.20). Для заданого значення $P_a = 10\%$ використовуючи таблицю знаходимо, що $k_r = 1,28$ [14].

Значення m_0 обчислюємо за формулою (3.15)

Значення δ_0 обчислюємо за формулою (3.16)

Зробимо розрахунок параметра m_0 :

$$\begin{aligned} m_1 &= \ln \left(\frac{0,5 \cdot \exp(0,23^2 \cdot 8^2 + 2)}{\sqrt{(1-0,2) + 0,2 \cdot \exp(0,23^2 \cdot 8^2)}} \right) = 0,048. \\ m_2 &= 0,195 \cdot 8 = 1,57; \\ m_0 &= 0,048 - 1,56 = -1,509. \end{aligned}$$

Зробимо розрахунок параметра δ_0 :

$$\delta_1^2 = \ln[(1 - 0,2) + 0,2 \cdot \exp(0,23^2 \cdot 8^2)] = 1,903.$$

$$\delta_2^2 = 0,03 \cdot 8^2 = 1,92.$$

$$\delta_0 = \sqrt{1,903 + 1,92} = 1,955.$$

Зробимо розрахунок параметра n_0 :

$$n_0 = 2 \cdot \frac{1-0,2}{0,375 \cdot 5} \cdot \frac{1228,8 \div 9,6}{2 + \exp(-1,512 + 1,28 \cdot 1,955)} = 23 \text{ (аб.)}.$$

3.4 Розрахунок допустимого навантаження в секторах базової станції

Розрахунок обчислюється за формулою (3.26) [13]:

$$A = \begin{cases} n_0 \left[1 - \sqrt{1 - (p_a \sqrt{\pi n_0 / 2})^{1/m n_0}} \right] & \text{для } p_0 \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} \\ n_0 + \sqrt{\frac{\pi}{2} + 2n_0 \ln(\pi n_0 / 2)} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} & \text{для } p_0 \geq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} \end{cases} \quad (3.26)$$

де n_0 – кількість абонентських станцій, які можуть одночасно працювати в зоні базової станції.

P_0 – допустима ймовірність блокування виклику n - параметр загасання.

$$\sqrt{\frac{2}{\pi n_0}} = \sqrt{\frac{2}{3,14 \cdot 23}} = 0,167$$

Оскільки $p_0 \leq \sqrt{\frac{2}{\pi n_0}}$ ($0,1 < 0,167$), допустиме телефонне навантаження в одному секторі кожного стільника дорівнює:

$$A = 23 \left[1 - \sqrt{1 - \left(0,1 \sqrt{3,14 \cdot 23 / 2} \right)^{1/(23 \cdot 4)}} \right] = 21,3 \text{ Ерл.}$$

3.5 Розрахунок числа абонентів обслуговуваних однією базовою станцією

Число абонентів, що обслуговуються однією базовою станцією, визначається формулою (3.27):

$$N_{\text{бс}} = M \left] \frac{A}{\beta} \right[, \quad (3.27)$$

$\left] X \right[$ – ціла частина числа X ;

A – Допустиме телефонне навантаження в секторі кожного стільника, Ерл;

β – телефонне навантаження, створюване одним абонентом.

Підставимо числові значення, в формулу (3.27) отримаємо:

$$N_{\text{бс}} = 3 \left] \frac{21,3}{0,025} \right[= 2556 \text{аб.}$$

3.6 Розрахунок числа базових станцій базових станцій

Число базових станцій базових станцій для обслуговування необхідної кількості абонентів визначається за формулою (3.28):

$$K = \left] \frac{N_a}{N_{\text{бс}}} \right[+ 1, \quad (3.28)$$

де N_a – число абонентів, що обслуговуються в мережі абонентського доступу;

$N_{\text{бс}}$ – число абонентів, що обслуговуються однією базовою станцією;

$\left] X \right[$ – ціла частина числа X . Підставивши значення в формулу (3.28) отримаємо:

$$K = \left] \frac{30000}{2556} \right[+ 1 = 12.$$

3.7 Розрахунок радіуса стільника

Радіус стільника визначається виразом (3.29):

$$R_0 = \sqrt{\frac{S}{\pi K}}, \quad (3.29)$$

де S – площа території, що обслуговується, км²;

K – кількість базових станцій, необхідних для обслуговування заданого числа абонентів.

Підставивши значення у вираз (3.29) отримаємо:

$$R_0 = \sqrt{\frac{350}{3,14 \cdot 12}} = 2,9 \text{ км.}$$

3.8 Розрахунок потужності передавача базової станції

Що випромінюється на одну абонентську станцію. Згідно моделі Хати [13] потужність, що припадає на одного абонента визначається співвідношенням (3.30):

$$P_R = [69,55 + P_{AC} + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{BC} - \alpha - G_{BC} + (44,9 - 6,55 \lg h_{BC}) \lg R + k_r \sigma_2], \quad (3.30)$$

де $\alpha = 3,2[\lg(11,75h_{AC})]^2 - 4,97$ дБ; $\alpha = 0,65$;

P_{AC} – чутливість приймача мобільної станції, дБВт;

f – частота, на якій здійснюється передача сигналів в мережі, МГц,

R – радіус стільника, км;

G_{BC} – коефіцієнт посилення антени базової станції, дБ;

h_{BC} – висота підвісу антени БС, м;

h_{AC} – висота підвісу антени АС, м;

$\sigma_2 = 0,173 \sigma = 1,39$ дБ, $k_r = 1,28$.

Підставимо числові дані в формулу (3.30) отримаємо:

$$P_R = [69,55 + P_{AC} + 26,16 \lg f - 13,82 \lg h_{BC} - \alpha - G_{BC} + (44,9 - 6,55 \lg h_{BC}) \lg R + k_r \sigma_2]$$

$$P_R = 69,55 - 135 + 26,16 \lg 2100 + 13,82 \lg 35 - 0,65 - 12 + (44,9 - 6,55 \lg 35) \lg 2,9 + 1,28 \cdot 1,39 = \\ = -4,45 \text{ дБВт} = 359 \text{ мВт.}$$

Останній член виразу (3.30) визначає запас забезпечення заданої надійності. Цей запас в системах CDMA виявляється менше, ніж в інших системах, так як АС здійснює вибір тієї БС, яка забезпечує найбільший рівень прийнятого сигналу.

Повна потужність сигналу, що випромінюється антеною БС вказана у формулі (3.1):

$$P_t = \frac{1,09\alpha}{1-\lambda} \left(\frac{n_0}{2}\right) P_R$$

З урахуванням регулюванням потужності отримаємо формулу (3.2):

$$P_t = \frac{1,09\alpha P_R n_0}{1-\lambda}$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$P_t = \frac{1,09 \cdot 0,375 \cdot 0,359 \cdot 23}{1-0,2} = 4,22 \text{ Вт.}$$

В результаті проведення розрахунків отримано:

- для обслуговування міського масиву, що налічує 30000 абонентів, розміщених на площі $S = 350 \text{ км}^2$, достатньо мати 12 базових станцій кожна з яких може обслуговувати до 2556 абонентів;
- радіус соти, що обслуговується кожною базовою станцією становить 2,9 км;
- потужність передавача базової станції, яка припадає на одного абонента становить 359 мВт;
- повна потужність сигналу, що випромінюється однією з антен базової станції з урахуванням відсутності регулювання потужності на базовій станції дорівнює 4,22 Вт.

4 ОСОБЛИВОСТІ ПЛАНУВАННЯ МЕРЕЖІ W-CDMA-HSDPA

На відміну від розглянутого раніше CDMA2000 мережа W-CDMA-HSDPA працює в загальній дуплексній смузі частот, використовує потужності ресурсів базових станцій і забезпечує одночасно передачу низькошвидкісного і високошвидкісного трафіку. Завантаження низькошвидкісного сегмента WCDMA R'99 буде визначальною, тому що передача мови є "тотальною" послугою в будь-якій комерційній мережі мобільного зв'язку. Таким чином, мова йде про планування високошвидкісного сегмента на виділеному кодовому і потужнісному ресурсах.

У сегменті HSDPA використовується класичний множинний доступ з кодовим поділом каналів "вгору" і "вниз", в той час як в CDMA2000 1x EV-DO на лінії "вниз" застосовується метод колективного доступу з тимчасовим поділом каналів (тимчасове мультиплексування поверх кодового поділу каналів) і в будь-який момент часу забезпечується передача повної потужності базової станції єдиному мережевому користувачеві. Таким чином, з'являється можливість передачі даних користувача зі швидкістю, що досягає пікової величини 2,4 Мбіт/с, за рахунок максимально можливого співвідношення "сигнал/шум" на вході приймача терміналу доступу.

Необхідно відзначити, що технології HSDPA і EV-DO, відрізняючись один від одного, мають ряд схожих рішень. Наприклад, при передачі даних використовується адаптивна модуляція і кодування, дискретна зміна швидкості передачі даних в залежності від умов зв'язку, підтримується асиметричність потоків передачі даних в каналах "вгору" і "вниз", забезпечується сталість потужності випромінювання базової станції через заміну швидкого регулювання потужності адаптивним вибором схем модуляції і кодування спільно з процедурою швидкого запиту повторень пакетів переданих даних і ін.

При плануванні високошвидкісного сегмента, виходячи з завантаження сегмента WCDMA R'99, слід визначити число кодів, необхідних для протоколу HSDPA. Відомо, що для підвищення швидкості передачі одному абоненту може бути виділено кілька кодів (каналів), максимально до 15. Необхідно конфігурувати кодовий ресурс, який в загальному випадку може складатися з 1-15

кодів з коефіцієнтом розширення $SF = 16$. Для цього необхідно задатися піковою швидкістю передачі даних і визначити число кодів, виділених для протоколу HSDPA.

Наприклад, якщо задатися піковою швидкістю передачі даних 3,6 Мбіт/с, то буде потрібно 5 кодів з $SF = 16$. Крім п'яти кодів з $SF = 16$, складових в даному випадку кодовий ресурс протоколу HSDPA, для його функціонування необхідні "супроводжуючі" канали управління, зокрема:

- HS-SCCH-високошвидкісний загальний канал управління, який необхідний для передачі службової інформації протоколу HSDPA. За час пакета TTI тільки один користувач може отримувати Службову Інформацію по одному каналу HS-SCCH. У загальному випадку кількість каналів HS-SCCH можливо змінювати від 1 до 5 з фіксованим коефіцієнтом розширення $SF = 128$;

- HS-DPCCH - виділений фізичний канал управління з коефіцієнтом розширення $SF = 256$. По ньому передається інформація про стан каналу (Channel Quality Indicator, CQI) і прийом відповідної інформації, необхідної для протоколу автоматичного запиту на повторення передачі (Hybrid Automatic Repeat Request, HARQ);

- A-DPCH (Associated Dedicated Control Channel) – приєднаний виділений канал управління з коефіцієнтом розширення $SF = 256$, в якому передаються команди управління потужністю каналу HS-DPCCH.

Канали управління протоколом HSDPA займають загальний кодовий ресурс мережі W-CDMA-HSDPA. Якщо абоненту на момент запиту не дістанеться ресурсів в пулі кодів HSDPA, він буде поставлений в чергу і почне передачу після звільнення ресурсів іншими абонентами.

Питання про розподіл потужності базової станції між різними каналами радіоінтерфейсу є одним з важливих при плануванні радіомережі, при цьому 20% потужності відводиться для службових каналів, а залишилася потужність розподіляється між сегментами WCDMA R'99 і HSDPA. Очевидно, що потужність, що припадає на сегмент HSDPA, залежить від завантаження сегмента WCDMA R'99. Потужність, необхідна для обслуговування одного абонента, залежить від його розташування в зоні обслуговування базової станції, від розподілу і кількості активних користувачів межах соти, їх віддаленості від інших базових станцій мережі та ін. Сумарна потужність сигналів всіх каналів обмежена

максимальною потужністю передавача базової станції. Чим нижче швидкість передачі даних, тим менше ваговий коефіцієнт при лінійному додаванні потужності сигналів на виході передавача.

Зробимо попередню оцінку параметрів радіомережі W-CDMA-HSDPA при різному розподілі потужності базової станції між сегментами мережі. При визначенні максимальних втрат на трасі L необхідно враховувати виграш за рахунок м'якого хендовера G_{CHO} , запаси на управління потужністю B , запаси на швидкі B_{fist} і повільні B_{slow} завмирання, а також (при необхідності) втрати на проникнення в будівлю $B_{build} = 15$ дБ і при роботі абонента в автомобілі B_{auto} дБ, тобто формула має вигляд (4.1).

$$L_{max} = P_{uzl} - P_{RX} + G_{SHO} - B - B_{fist} - B_{slow} - B_{build} - B_{auto}. \quad (4.1)$$

Треба зауважити, що в каналах "вниз" для сегмента HSDPA відсутнє управління потужністю і м'який хендовер. Послідовність і приклади розрахунків бюджету втрат в каналах "вгору" (UL) і "вниз" (DL) представлені в табл. 4.1 - 4.4 при типовій конфігурації абонентського і базового обладнання (Номінальна потужність передавача абонентської станції становить 24 дБм).

Таблица 4.1 – Последовательность расчета бюджета потерь в канале «вгору»

Параметр	Обозначение
Мощность ПРД, дБм	P_{TX}
Коэффициент усиления антенны ПРД, дБи	G_{0TX}
Потери в кабеле ПРД, дБ	B_{kTX}
Излучаемая мощность, дБм	$P_{изл} = P_{TX} + G_{0TX} - B_{kTX}$
Коэффициент усиления антенны ПРМ, дБи	G_{0RX}
Потери в кабеле ПРМ, дБ	B_{kRX}
Тепловой шум, дБм	$P_{т.ш.} = 10 \lg(kT_0W)$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ — постоянная Больцмана; $T_0 = 290 \text{ К} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $W = 3,84 \text{ МГц}$ — полоса пропускания ПРМ
Коэффициент шума, дБ	$K_{ш}$
Мощность шума ПРМ, дБм	$P_{шRX} = P_{т.ш.} + K_{ш}$
Запас на медленные замирания, дБ	B_{slow}
Максимальные потери на трассе, дБ	$L_{max} = P_{изл} - P_{RX} + G_{SHO} - B - B_{fast} - B_{slow}$
Требуемое отношение "сигнал/помеха", дБ	$\frac{E_b}{N_0}$
Выигрыш при обработке сигнала, дБ	$PG = 10 \lg(3840 / 64)$
Чувствительность ПРМ, дБм	$P_{RX} = P_{шRX} + NR + \frac{E_b}{N_0} - PG - G_{0RX} + B_{kRX}$
Выигрыш за счет хэндовера, дБ	G_{SHO}
Запас на управление мощностью, дБ	B
Запас на быстрые замирания, дБ	B_{fast}

Таблиця 4.2 – Послідовність розрахунку бюджету втрат в каналі «вниз»

Параметр	Обозначение
Загрузка сети	η_{DL}
Мощность ПРД, Вт	$P'_{TX} = 20(1 - \eta_{DL})$
Мощность передатчика, дБм	$P_{TX} = 10 \lg P'_{TX} + 30$
Коэффициент усиления антенны ПРД, дБи	G_{OTX}
Потери в кабеле ПРД, дБ	B_{kTX}
Излучаемая мощность, дБм	$P_{изл} = P_{TX} + G_{OTX} - B_{kTX}$
Коэффициент усиления антенны ПРМ, дБи	G_{ORX}
Потери в кабеле ПРМ, дБ	B_{kRX}
Тепловой шум, дБм	$P_{т.ш.} = 10 \lg(kT_0W)$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ — постоянная Больцмана; $T_0 = 290 \text{ К} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $W = 3,84 \text{ МГц}$ — полоса пропускания ПРМ
Коэффициент шума, дБ	$K_{ш}$
Мощность шума ПРМ, дБм	$P_{шRX} = P_{т.ш.} + K_{ш}$
Интерференция шума, дБ	$NR = -10 \lg(1 - \eta_{DL})$
Требуемое отношение "сигнал/помеха", дБ	$\frac{E_b}{N_0}$
Выигрыш при обработке сигнала, дБ	$PG = 10 \lg(16)$
Чувствительность ПРМ, дБм	$P_{RX} = P_{шRX} + NR + \frac{E_b}{N_0} - PG - G_{ORX} + B_{kRX}$
Выигрыш за счет хэндовера, дБ	G_{SHO}

Приклад розрахунку бюджету втрат, потужності передавача базової станції і допустимого числа абонентів в стільнику для випадку, коли основний вид трафіку – CS 12,2 (мова з комутацією каналів, швидкість передачі мови 12,2 Кбіт/с), наведені в [17]. З урахуванням забезпечення 80% покриття в 90% сот визначені

допустимі втрати сигналу, які дорівнюють 142,8 дБ, і канална ємність базових станцій. Канальна ємність базової станції склала 52 канали. При цьому загальна канална ємність базової станції з урахуванням 25% запасу каналної ємності під хендовер склала 68 каналів.

Таблиця 4.4 – Бюджет втрат у каналі "вниз"

Параметр	Обозначение
Загрузка сети	0,70
Мощность ПРД, Вт	6,00
Мощность передатчика, дБм	37,78
Коэффициент усиления антенны ПРД, дБи	18,00
Потери в кабеле ПРД, дБ	4,00
Излучаемая мощность, дБм	51,78
Коэффициент усиления антенны ПРМ, дБи	0,00
Потери в кабеле ПРМ, дБ	0,00
Тепловой шум, дБм	-108,20
Коэффициент шума, дБ	8,00
Мощность шума ПРМ, дБм	-100,20
Интерференция шума, дБ	5,23
Требуемое отношение "сигнал/помеха", дБ	5,00
Выигрыш при обработке сигнала, дБ	12,04
Чувствительность ПРМ, дБм	-102,01
Выигрыш за счет хэндовера, дБ	0,00
Запас на управление мощностью, дБ	0,00
Запас на быстрые замирания, дБ	3,00
Запас на медленные замирания, дБ	8,00
Максимальные потери на трассе, дБ	142,79

При розрахунку зон обслуговування базових станцій використовується модель COST 231-Nata. Ця модель є модифікованим варіантом моделі Okumura-Nata і може застосовуватися в діапазоні частот 2000 – 2200 МГц при розташуванні абонентської станції від базової станції в межах від сотень метрів до одиниць кілометрів при значеннях $H_{BS} = 30 \dots 200 \text{ м}$, $H_{MS} = 1 \dots 10 \text{ м}$. Відповідні формули для оцінки втрат в зоні обслуговування базової станції наведені в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Формули для оцінки втрат в зоні обслуговування базової станції

Описание зоны, дополнительные условия	Расчетное уравнение
В городе и пригороде с умеренной плотностью посадки деревьев	$L = 45,5 - 13,82 \lg H_{BS} + 35,4 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) H_{MS} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \lg R$
Центр столичного города	$L = 48,5 - 13,82 \lg H_{BS} + 35,4 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) H_{MS} + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \lg R$
Сельская местность — квазиоткрытая зона	$L = 9,56 - 13,82 \lg H_{BS} + 53,73 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) H_{MS} - 4,78(\lg F)^2 + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \lg R$
Сельская местность — открытая зона	$L = 4,56 - 13,82 \lg H_{BS} + 53,73 \lg F - (1,1 \lg F - 0,7) H_{MS} - 4,78(\lg F)^2 + (44,9 - 6,55 \lg H_{BS}) \lg R$

Тут: H_{BS} – висота підвісу базової станції, H_{MS} – висота підвісу мобільної станції, F – середня частота зв'язку.

Втрати в зоні обслуговування повинні бути менше значень, знайдених при розрахунку бюджету втрат. Для простоти розрахунків приймаємо $L = L_{max}$. Підставляючи в формули значення $H_{BS} = 30$ м, $H_{MS} = 1,5$ м та $F = 2100$ МГц отримуємо наступні вирази для розрахунку втрат (табл. 4.6).

Таблица 4.6 – Вирази для розрахунку втрат

Описание зоны, дополнительные условия	Расчетное уравнение
В городе и пригороде с умеренной плотностью посадки деревьев	$L_{max} = 139,4 + 35,7 \lg R \quad R = 10^{\frac{L_{max} - 139,4}{35,7}}$
Центр столичного города	$L_{max} = 142,4 + 35,7 \lg R \quad R = 10^{\frac{L_{max} - 142,4}{35,7}}$
Сельская местность — квазиоткрытая зона	$L_{max} = 111,6 + 35,7 \lg R \quad R = 10^{\frac{L_{max} - 111,6}{35,7}}$
Сельская местность — открытая зона	$L_{max} = 106,6 + 35,7 \lg R \quad R = 10^{\frac{L_{max} - 106,6}{35,7}}$

Оцінки радіусу зон обслуговування базової станції по лінії "вгору" і "вниз" наведені для міської морфоструктури при різному завантаженні сегмента WCDMA R'99 (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Оцінки радіусу зон обслуговування базової станції по лінії "вгору" і "вниз"

Завантаження сегмента WCDMA R'99, %	$P_{\max R'99}$, Вт	$P_{\max HSDPA}$, Вт	R_{UL} , км	R_{DL} , км
30	2,0	14,0	1,53	2,00
33	2,6	13,4	1,52	1,95
36	3,2	12,8	1,50	1,90
40	4,0	12,0	1,48	1,84
43	4,6	11,4	1,47	1,78
46	5,2	10,8	1,45	1,73
50	6,0	10,0	1,43	1,66
53	6,6	9,4	1,41	1,60
56	7,2	8,8	1,39	1,54
60	8,0	8,0	1,37	1,46
63	8,6	7,4	1,35	1,40
66	9,2	6,8	1,33	1,34
70	10,0	6,0	1,30	1,24
73	10,6	5,4	1,28	1,17
76	11,2	4,8	1,25	1,10
80	12,0	4,0	1,22	0,99

Аналіз даних табл. 4.7 показує, що зона обслуговування сегмента WCDMA R'99 при завантаженні менше 70% визначається каналом "вгору" (UL), а при завантаженні більше 70% – каналом "вниз" (DL). Оптимальним для планування сегмента HSDPA є завантаження мережі W-CDMA-HSDPA в межах 60-70%, тому що при коефіцієнті завантаження мережі 0,65–0,7 спостерігається енергобаланс в прямому і зворотному каналах.

Оцінимо при даному коефіцієнті завантаження мережі число одночасно обслуговуваних абонентів при допустимих втратах на трасі 142 дБ. В табл. 4.8 наведені дані про кількість одночасно обслуговуваних абонентів у разі їх

знаходження на межі стільники з радіусом 1,2 км при коефіцієнті навантаження на мережу W-CDMA–HSDPA Рівному 0,7.

Таблиця 4.8 – Кількості одночасно обслуговуваних абонентів у разі їх знаходження на кордоні стільники

Параметры	Обозначение				
	CS	PS64	PS128	PS256	PS384
Тип услуг					
Коэффициент усиления антенны UE, дБ	0	0	0	0	0
Потери в кабеле UE, дБ	0	0	0	0	0
Коэффициент шума, дБ	8	8	8	8	8
Требуемое отношение "сигнал/шум" на выходе приемника, дБ	5	5	5	5	5
Тепловой шум, дБм	-108,2	-108,2	-108,2	-108,2	-108,2
Выигрыш при обработке сигнала на приеме, дБ	24,9	17,8	14,8	11,8	10
Чувствительность приемника UE, дБм	-120,2	-113,9	-111	-108	-106,2
Интерференция шума, дБ	5,2	5,2	5,2	5,2	5,2
Выигрыш за счет хэндовера, дБ	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Минимальный уровень сигнала на ходе приемника UE, необходимый для демодуляции, дБм	-113,4	-107,3	-104,2	-101,2	-99,5
Запас на медленные замирания, дБ	8	8	8	8	8
Запас на быстрые замирания, дБ	3	3	3	3	3
Коэффициент усиления антенны NodeB, дБ	18	18	18	18	18
Потери в кабеле NodeB, дБ	4	4	4	4	4
Излучаемая мощность передатчика NodeB, дБм	28,5	34,7	37,8	40,8	42,5
Количество одновременно обслуживаемых абонентов	13	6	3	1	1

5 НОВІТНІЙ МЕТОД ПЛАНУВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ WCDMA HDSRA ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОЦЕДУР САМОРГАНІЗАЦІЇ

Мета цього розділу - представити підхід до циклу якості мережі та функції витрат при оптимізації майбутніх мереж

5.1 Цикл якості мережі

Впровадження стільникової системи третього покоління надало операторам безліч можливостей. Ще впровадження GPRS в мережі GSM змінило середовище роботи з комутацією каналів на комбінацію послуг в режимі реального часу і не в режимі реального часу. Класи трафіку 3G (розмовний, інтерактивний, потоковий, фоновий), механізми забезпечення QoS і можливість диференціації клієнтів, а також спільне управління і спільне використання трафіку між мережами утворюють складну систему для постачальників послуг і мережевих операторів. Щоб мати можливість повністю використовувати ресурси і зосередитися на наданні послуг, а не на усуненні неполадок, потрібні передові методи аналізу для оптимізації процесу. Високорівневий опис циклу оптимізації показано на рис. 5.1.

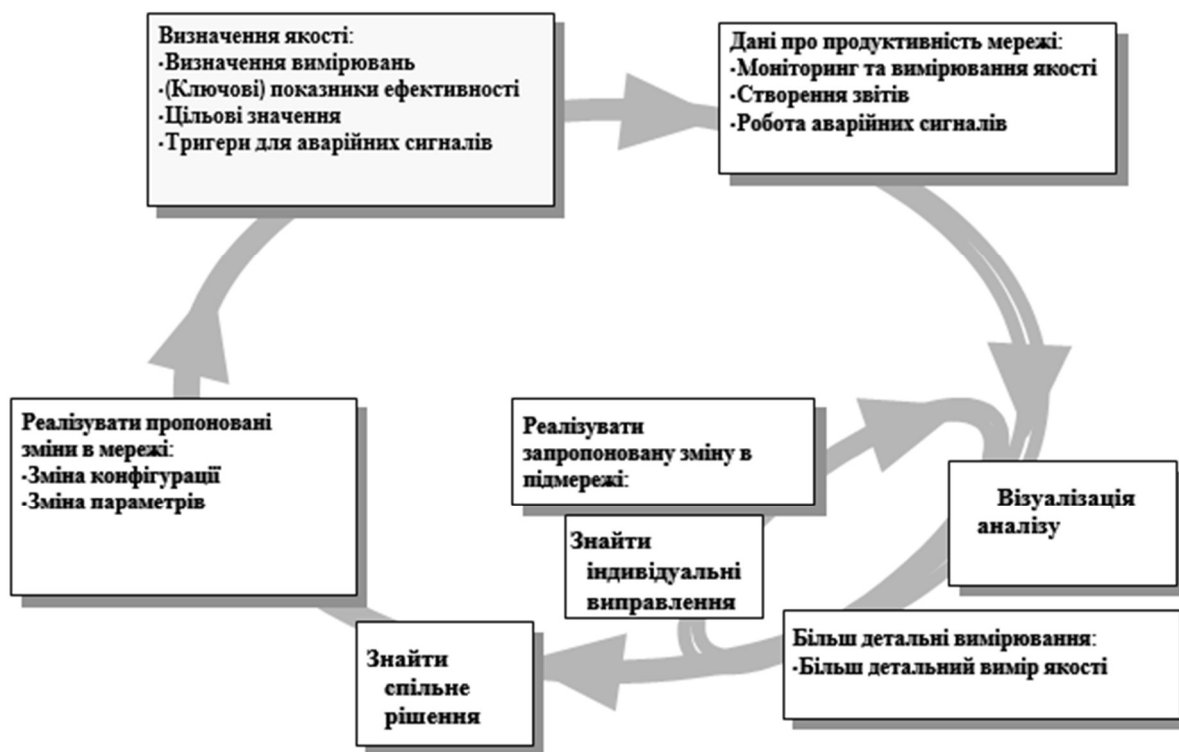


Рисунок 5.1 – Процес оптимізації з циклом якості мережі

Процес починається з визначення якості. Визначається загальна кінцева мета якості, і для кожного типу послуг визначаються критерії якості. Потім порогові значення встановлюються для кожного пов'язаного ключового показника ефективності (KPI). Важливо відзначити, що при встановленні цільових показників KPI оператор надає інструменти для управління компромісом між продуктивністю і якістю. Дані про продуктивність мережі можна збирати за допомогою управління мережею системи (NMS), тестами приводів, аналізаторами протоколів та/або скаргами клієнтів.

Інструменти мережевої звітності надають статистичну та попередньо проаналізовану інформацію про якість. На основі конфігурації мережі та стану мережі детально аналізується якість та ітеративно вносяться індивідуальні коригування шляхом вирішення окремих параметрів, що впливають на заявлену якість. Налаштування окремих параметрів або наборів параметрів виконується в ітераційному циклі до тих пір, поки не буде досягнуто якості. Нарешті, на додаток до налаштування окремих необхідно знайти спільне рішення. Після внесення виправлень у мережу цикл якості починається з самого початку.

Вибір даних для аналізу продуктивності складається з двох аспектів.

По-перше, дані вибираються на основі функціональної області (або її підмножини), тобто доступності, надійності, продуктивності і розподілу трафіку. Всі ці функціональні області націлені на те, щоб дати уявлення про якість, що сприймається кінцевим користувачем. Інший аспект - це мета аналізу. Для отримання загальної оцінки продуктивності мережі вибір лічильників та інших показників продуктивності відрізняється від тих, які можна було б вибрати для оптимізації або усунення неполадки[3].

Випадок оптимізації більш сфокусований і, отже, більш проблематичний, потрібні конкретні показники. Крім того, висхідна і низхідна лінії зв'язку часто аналізуються окремо. Після виконання оптимізації та змін, внесених до мережі, важливо перевірити функцію мети оптимізації, але не менше важливо отримати загальний розподіл продуктивності і порівняти його з випадком попередньої оптимізації. Це робиться для того, щоб уникнути явища, коли оптимізація покращує одну підмножину функціональної області, але різко знижує продуктивність інших.

Якщо ми звернемося до зворотного випадку: загальна інформація про продуктивність вказує на погіршення роботи у функціональній області. Щоб мати можливість вивести фактичну проблему і знайти її рішення, необхідно перейти від загального набору даних до більш сфокусованого.

Отже у зв'язку з тим, що на цей момент робота стільникових мереж сильно залежить від обслуговування, методом спрощення розгортання та підтримання є мережевий аналіз. У порівнянні з поточною ситуацією з наданням тільки голосових і простих послуг передачі даних з максимальними зусиллями, зміна завдань операторів відбулась суттєва. Завдання операторів полягає в тому, щоб відфільтрувати відповідну інформацію до рівня, який може бути легко оброблений. Крім того, набір даних повинен включати всі деталі, необхідні для забезпечення якості обслуговування. Весь процес від налаштування до кінця повинен бути включений. Продуктивність передачі і управління живленням також впливає на якість роботи кінцевих користувачів, і тому елементи, пов'язані з ними, включені в аналіз. Повна вигода і потенціал технології можуть бути використані, коли надається кілька послуг кінцевим користувачам, а якість, що

сприймається клієнтами, необхідно контролювати і оптимізувати. Ось чому потрібен метод циклу якості мережі[4].

5.2 Компроміс між потужністю і якістю та функція витрат

Роль оптимізації полягає в наданні автоматизованих або ручних засобів для підвищення продуктивності мережі. Крім того, завдання оптимізації полягає в тому, щоб зрозуміти і перевести взаємозв'язок між вимірною продуктивністю мережі і встановленими цілями QoS.

Визначення продуктивності у випадку 3G і більш сучасним 4G змінюється; це повинно бути компромісом між потужністю та якістю, а не традиційним підвищенням продуктивності.

За допомогою підходу статистичного циклу і функції витрат (CF) можна запропонувати автоматичне управління мережею на основі компромісу між охопленням і пропускнуою здатністю.

Новим аспектом у цій галузі є той факт, що мета автоналаштування не є найкращою якістю, як це традиційно визначено. У деяких випадках може виявитися, що злегка погіршена якість і можливість запропонувати більше трафіку більш вигідні для бізнесу операторів, ніж оптимізація, заснована на якості. Метою високого рівня також є інтеграція автоматизації WCDMA з іншими системами, такими як EDGE і WLAN.

Складне операційне середовище і управління компромісом між потужністю і якістю обслуговування встановлюють певні вимоги до системи, що забезпечує функції автоматичного налаштування. На рис. 5.1 представлено ієрархічне рішення з циклом статистичного зворотного зв'язку для оптимізації продуктивності двох швидких циклів RRM.

Для оператора важливо використовувати всі доступні ресурси для підвищення пропускнуої здатності і якості радіомережі, і для цього потрібна загальна функція управління. Ця функція управління забезпечує централізований контроль якості, який контролює підсистеми оптимізації та автоматизації. Крім того, необхідний механізм мінімізації функції витрат для забезпечення оптимальної потужності, продуктивності і доходів оператора. Після мінімізації функції витрат завдання системи управління мережею полягає в забезпеченні оптимальних параметрів конфігурації на мережевому рівні. Щоб гарантувати

оптимальну продуктивність мережі, оператор повинен мати гнучкі засоби для встановлення цільового показника QoS на основі ключових показників ефективності системи та/або функції витрат, отриманої з них. У середовищах з декількома радіозв'язками (GSM-WCDMA, WLAN) важливо мати можливість об'єднати ресурси мереж для оптимізації пропускної здатності та якості (включаючи аспекти покриття). Це також вимагає загальної функціональності управління на найвищому рівні ієрархії. В даний час виробники пропонують значення за замовчуванням для всіх параметрів. Вони не є оптимальними для всіх умов. Завдання оператора - оптимізувати кластер стільників мережі. Ця запропонована концепція зробить початкові налаштування параметрів менш важливими: наприклад, на початку роботи мережі контроль допуску і контроль передачі може працювати з дуже "вільними" обмеженнями, що допускають всіх користувачів в мережу. На основі поточної ситуації з QoS (KPI в системі управління мережею (NMS)) і з використанням заданих цільових показників QoS відповідні параметри можуть бути автоматично налаштовані. Після зміни параметра нова ситуація порівнюється з даними історії KPI, і "тестові" параметри приймаються, якщо зміна продуктивності QoS (або CF вимог до QoS) поліпшується.

Математичне формулювання задачі можна розглядати як знаходження такої комбінації параметрів конфігурації повітряного інтерфейсу, на основі якої ключові показники ефективності максимально наближені до бажаної області. По-перше, оператор встановлює вимоги до пропускної здатності для певних ключових показників продуктивності, що позначаються KPI_C . вимоги мають "req" в підіндексі. Відповідно, оператор встановлює вимоги до якості для певних KPI_Q . Потім витрати на якість і потужність можуть бути розраховані як в рівняннях (5.1) та (5.2).

$$QualityCost = \sum_{cells \in CLUSTER} \sum_i a_i * f(KPI_Q_i - KPI_Q_{i,req}) \quad (5.1)$$

$$CapacityCost = \sum_{cells \in CLUSTER} \sum_i \beta_i * f(KPI_C_i - KPI_C_{i,req}) \quad (5.2)$$

На рис. 3.2 показано приклад функції витрат KPI f . У цьому прикладі вартість значень KPI, що перевищують KPI_req , збільшується лінійно. Функції

витрат також можуть приймати інші форми.

Функція загальних витрат, що підлягає мінімізації, представлена в (5.3) та (5.4). Компроміс між потужністю та якістю може бути досягнутий за допомогою параметра W . мінімізація виконується шляхом налаштування параметрів конфігурації, див. рівняння (5.5). Значення КРІ також залежать від розподілу послуг, наприклад, залежно від розподілу послуг будуть досягнуті різні витрати і налаштування параметрів.

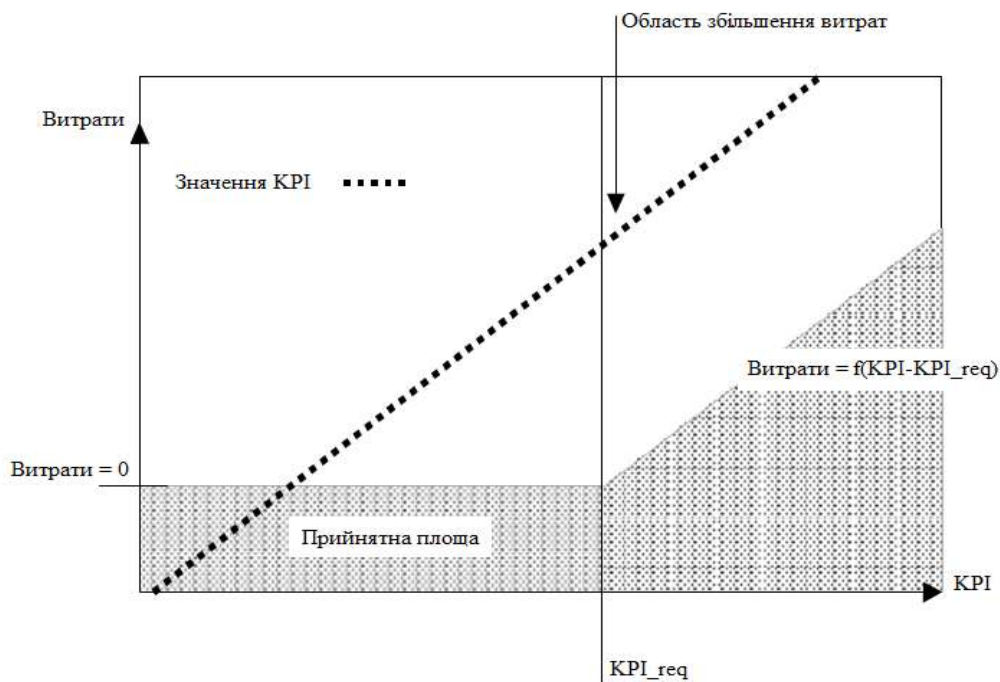


Рисунок 5.2 – Приклад функції витрат КРІ

$$KPI_{C_i} = f(\text{Configuration parameters, Service Distribution}) \quad (5.3)$$

$$KPI_{Q_i} = f(\text{Configuration parameters, Service Distribution}) \quad (5.4)$$

$$\text{Total COST} = W * \text{QualityCost} + (1 - W) * \text{CapacityCost} \quad (5.5)$$

Цей цикл оптимізації рівня NMS повинен взаємодіяти з конфігурацією мережі і даними вимірювань, як показано на рис. 5.3. Сховище даних являє собою інтерфейс для будь-якого вимірювання, виконуваного в мережі в будь-якому

мережевому елементі. Управління конфігурацією (CM) являє собою базу даних, в якій зібрані всі параметри конфігурації, що керують мережею.

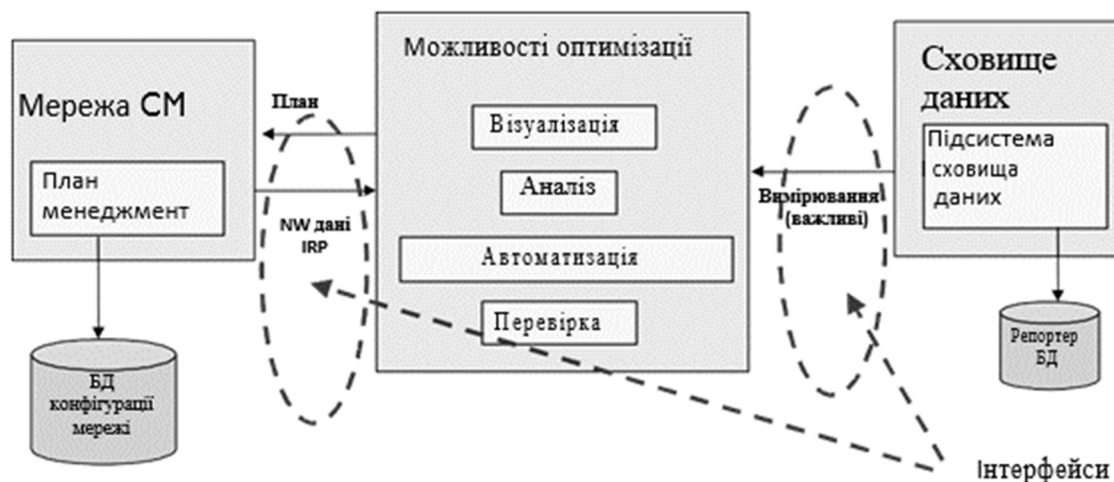


Рисунок 5.3 – Інтерфейси, необхідні для оптимізації (або автоматизації) всієї мережі на основі статистики мережі

5.3 SOM для планування мережі абонентського доступу

У цьому розділі представлено використання передових нейронних методів в аналізі майбутніх стільникових мереж WCDMA. Мотивацією для впровадження нейронного аналізу даних про продуктивність мережі є надання ефективних засобів для одночасної обробки декількох ключових показників ефективності. Крім того, ефективні методи аналізу скорочують зусилля щодо усунення неполадок, прискорюють цикл і, таким чином, підвищують коефіцієнт використання мережі. Причина такого вибору полягає в більш складних умовах поширення, ніж у випадку з макроклітинами, і, крім того, випадок, що складається з даних висхідної і низхідної ліній зв'язку, складніше аналізувати традиційними засобами. Цей тип комбінованого аналізу доречний при проведенні загального аналізу продуктивності мережі. Якби ситуація була більше пов'язана з усуненням неполадок, не слід у всіх випадках комбінувати вимірювання по висхідній і низхідній лінії зв'язку.

Самоорганізована карта (SOM) є широко використовуваним алгоритмом нейронної мережі. Він відображає багатовимірне різноманіття даних на

низькорозмірну, зазвичай двовимірну сітку або дисплей. SOM має кілька корисних функцій, які роблять його корисним інструментом для інтелектуального аналізу та дослідження даних. SOM слідує функції щільності ймовірності даних і, таким чином, є ефективним алгоритмом кластеризації і квантування. Однак найбільш важливою особливістю SOM в інтелектуальному аналізі даних є властивість візуалізації. Властивість збереження топології відображення som призводить до відображення, по суті візуалізує кластери в даних. Методи, засновані на SOM, були застосовані при аналізі технологічних даних, наприклад, в сталеливарній і лісовій промисловості.

5.4 Алгоритм SOM

Базовий SOM складається з регулярної сітки одиниць карти або нейронів. Вони з'єднуються з сусідніми блоками, використовуючи, наприклад, прямокутний або шестикутний сусідній ковпак. Кожна одиниця карти, позначена тут i , представлена вектором-прототипом m_i . Розмірність векторів прототипів дорівнює розміру вхідних даних. По-перше, вектори-прототипи ініціалізуються, наприклад, випадковими значеннями. Потім під час навчання значення векторів прототипів адаптуються відповідно до властивостей вхідних даних.

Навчання SOM ділиться на два чергуючихся етапи, зазвичай по тисячі разів кожен. По-перше, один вектор даних x з набору навчальних даних випадковим чином вибирається і відповідна одиниця найкращої відповідності (best-matching unit, BMU) c з визначається. Вектор-прототип BMU, що позначається m_c , це той, який знаходиться найближче до зразка даних. Іншими словами, він мінімізує евклідову відстань між x та m_c :

$$c = \arg \min_i \|x - m_i\| \quad . \quad (5.6)$$

На наступному кроці вектори-прототипи переможця і його сусідів переміщуються в напрямку вектора даних. Слід зазначити, що околиця визначається в термінах структури решітки, а не відповідно до відстанями між зразки даних і вектори-прототипи у вхідному просторі. Крок оновлення можна

виконати, застосувавши:

$$m_i(t+1) = m_i(t) + \alpha(t)h_c(t, i)[x(t) - m_i(t)] , \quad (5.7)$$

де $\alpha(t)$ - швидкість навчання,

$h_c(t, i)$ - функція сусідства алгоритму.

Останній член у квадратних дужках пропорційний градієнту квадрата відстані Евкліда $d(x, m_i) = \|x - m_i\|^2$.

Швидкість навчання $\alpha(t) \in [0, 1]$ зазвичай є монотонно спадною функцією часу. Хорошим кандидатом є $\alpha(t) = \alpha_0 (1 - t/T)$, де α_0 -початкове значення швидкості навчання, А Т-загальна кількість ітерацій навчання. Дуже часто використовується форма для функції околиці $h_c(t, i)$ - це гаусова форма, центрована на одиниці відображення переможця c :

$$h_c(t, i) = \exp\left(-\frac{\|r_i - r_c\|^2}{2\sigma(t)^2}\right) , \quad (5.8)$$

де RC -координати блоку-переможця c ,

r_i -координати довільної одиниці i на дискретній вихідній решітці карти,

$\sigma(t)$ - ширина околиці.

Необхідно, щоб $h_c(t, i) \rightarrow 0$ при $t \rightarrow \infty$ для збіжності алгоритму. Під час навчання швидкість навчання і ширина функції околиці зменшуються, як правило, лінійним чином. Карта сходиться до стаціонарного розподілу, яке апроксимує щільність даних.

Один крок алгоритму навчання SOM проілюстрований на рис. 1. Розмір SOM становить 16 одиниць, які були організовані в двовимірну сітку розміром 4 на 4 одиниці. Зразок даних позначається хрестиком; чорні кола-це значення векторів прототипів до, А сірі кола-після їх оновлення в напрямку зразка даних. Цей крок оновлення повторюється ітеративно в процесі навчання.

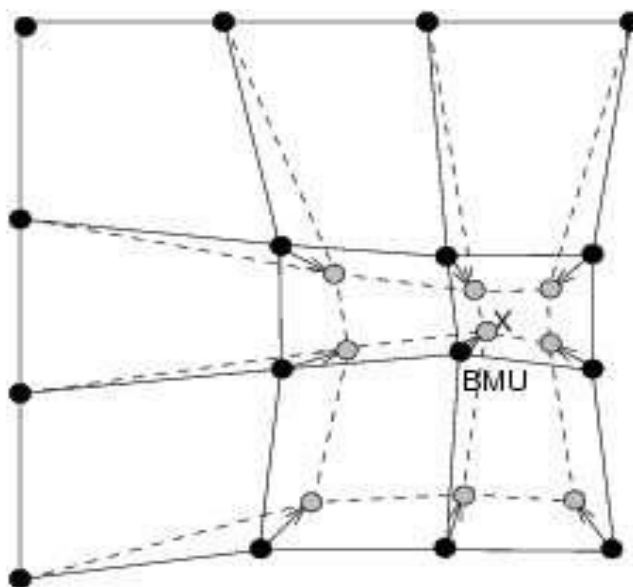


Рисунок 5.4 – Ілюстрація тренінгу SOM

5.5 SOM в мережевому аналізі

Патерн поведінки комірки в певний момент часу - це набір значень індикатора, які були записані в цей момент. У мережевому аналізі SOM можна використовувати для пошуку і демонстрації подібності між моделями поведінки клітин. Ці показники можуть включати, наприклад, будь-яку підмножину тих показників, які використовуються в традиційному аналізі мережі. Показники, які були використані в цьому дослідженні, наведені в табл. 5.2. Набір з n значень індикатора формує n -мірний вектор патерну. На етапі навчання набір цих векторів використовується для навчання SOM. Під час навчання SOM апроксимує розподіл векторів шаблонів в n -мірному просторі таким чином, що скрізь в просторі, де є вектори, також є вузли карти SOM. Вектор-прототип може бути ВМУ для декількох зразків даних, які майже схожі. SOM дає відображення вхідних даних зі збереженням топології. Вузли SOM, які є прямими сусідами в сітці SOM, притягуються один до одного. Таким чином, після завершення навчання більшість вузлів SOM, сусідніх один з одним в сітці, також розміщуються поруч один з одним у вхідному просторі. Тому моделі поведінки клітин, які були зіставлені з сусідніми

вузлами SOM, зазвичай схожі один на одного. Коли SOM візуалізується, аналогічно поводяться себе клітини можуть бути помічені близько один до одного.

У цьому розділі представлений нейронний метод класифікації мобільних клітин. Метод складається з наступних етапів: вибір мети, попередня обробка даних, кластерний аналіз та інтерпретація результатів.

Першим кроком у цьому процесі є визначення мети. Це включає в себе вибір географічного району, мережевих об'єктів (базові станції, контролери радіомережі, маршрутизатори і т.д.) і специфікацію завдання візуалізації. Вибір мережевих об'єктів і завдання візуалізації роблять сильний вплив на вибір вимірювань і ключових показників ефективності, що підлягають аналізу. Природно, кожен об'єкт в мережі має свої власні специфічні вимірювання. Завдання візуалізації може бути більш загальною або проблемно-орієнтованою. Загальний аналіз продуктивності вимагає іншого набору вимірювань, ніж у конкретному випадку усунення неполадок.

Методи нейронних мереж - це багатовимірні методи, які вивчають комбінацію змінних, тобто їх спільний розподіл. Перш ніж вони можуть бути застосовані до даних, дані повинні бути підготовлені для аналізу на етапі попередньої обробки. Основна мета етапу попередньої обробки полягає в тому, щоб гарантувати, що методи аналізу здатні витягувати правильну і необхідну інформацію з даних. Попередня обробка може відфільтрувати шум, вирішити проблему пропущених значень і збалансувати різні змінні і їх діапазони значень. Необхідні дії впливають з поточної потреби в інформації. Наприклад, в мережевому аналізі можна або цікавитися поганими комірками з аномальними значеннями індикаторів, щоб мати можливість їх виправити, або поведінкою кращої комірки, щоб скопіювати її конфігурацію в інші відповідні комірки.

Щоб отримати правильну інформацію з мережевих даних, використовувані змінні повинні бути збалансовані шляхом масштабування. Найбільш поширеним методом балансування є нормалізація дисперсії кожної змінної, що дорівнює одиниці. Після нормалізації розподіл даних може бути спотворено, якщо в даних є викиди. Якщо вивчається середня нормальна поведінка, звичайним рішенням є видалення викидів або заміна їх оціночними

нормальними або правильними значеннями. Якщо викиди несуть цікаву інформацію, наприклад, де вони можуть бути ознаками проблем у мережі, які шукають, можна зберегти викиди, але не допустити, щоб їх великі значення домінували в результатах аналізу. Це може бути зроблено за допомогою будь-якої функції перетворення, такої як $\tanh(x)$ (або $\log(x)$) перед нормалізацією параметрів. Така функція може зменшити ефект викидів і підкреслити правильні частини розподілу. Наприклад, функція \tanh підкреслює малі значення за рахунок великих значень.

Кластерний аналіз у загальному випадку - це групування однакових вибірок разом. Кластеризація також використовується для пошуку груп клітин з подібною поведінкою. Функції, що використовуються в кластеризації та класифікації мобільних стільників, обчислюються за допомогою методу, показаного на рис. 5.5. Вектори даних всіх стільників кластеризуються з використанням комбінації самоорганізуючої карти і алгоритму k-середніх. Спочатку SOM з M одиницями карти навчається з використанням векторів даних. Потім набір з M векторів кодової книги SOM групується в кілька різних чисел кластерів з використанням алгоритму k-середніх [18]. Процес кластеризації може бути повторений кілька разів для різних значень k, наприклад, 100 кластеризацій для кожного значення k, $2 \leq k \leq \sqrt{M}$. кластеризація k-середніх повинна виконуватися кілька разів для кожного k, оскільки алгоритм дає різні результати в залежності від ініціалізації. Найкраща кластеризація для кожного k мінімізує суму квадратів помилок. Необхідно перевірити кілька значень k, оскільки точна кількість кластерів невідома. Оптимальне значення k визначається з використанням деякого індексу достовірності кластеризації, такого як індекс Девіса-Булдіна. Такий індекс здатний вказати на найкращу кількість кластерів для поточного набору даних. У цьому алгоритмі SOM використовується для квантування даних і візуалізації кластерної структури в даних.

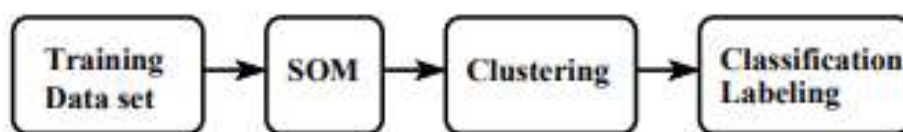


Рисунок 5.5 – Двофазна кластеризація з класифікацією

Для аналізу даних часових рядів або послідовності даних за певний період часу замість окремих точок даних обчислюється частота появи або кількість "звернень" в кожному кластері даних для даної послідовності даних. Вектор, що містить ці пропорції або "хіти" за деякий період часу, називається гістограмою хітів. Гістограма попадання клітини за певний період часу дає характеристику поведінки клітини і пізніше використовується для кластеризації клітин в групі з аналогічною поведінкою.

Кластеризація комірок виконується шляхом обробки гістограм клітинок, обчислених за послідовні періоди часу, з аналогічною комбінацією алгоритму кластеризації SOM і k середніх, як при добуванні об'єктів комірки (обчислення гістограми). Спочатку SOM навчається з використанням векторів гістограми кожної комірки. Потім вектори кодової книги SOM групуються в різну кількість кластерів. Нарешті, найкраща кластеризація вибирається відповідно до індексу Девіса-Булдіна. Тут слід зазначити, що вектори гістограми попадання розглядаються як вектори загальних ознак, а міра відстані, яка використовується в навчанні SOM, кластеризації SOM і оцінці індексу Девіса-Булдіна, є евклідовою мірою відстані.

Результати нейронного аналізу. Метод, описаний вище, був використаний для аналізу напрямку висхідної лінії зв'язку в сценарії мікроядерної мережі. Цей сценарій був обраний, оскільки він являє собою складне середовище з точки зору поширення. Крім того, високі вимоги до пропускної здатності служб передачі даних вимагають невеликого стільникового середовища. Радіомережі WCDMA, використані в цьому дослідженні, були заплановані для забезпечення обслуговування 64 Кбіт/с з імовірністю покриття 95% і з розумним (2%) блокуванням. Для оцінки втрат при поширенні використовувалася модель трасування променів [19]. Схема мережі включає в себе 46 всеспрямованих базових станцій. Обрана висота установки антени становила в середньому 10 метрів. Через відсутність вимірних даних з живих мереж в розширених випадках аналізу використовуються імітаційні дані, отримані за допомогою симулятора динамічної системи [20]. В ході моделювання був прийнятий профіль багатопробеневого каналу MCE від зовнішнього до внутрішнього каналу. Параметри мережі зібрані в табл. 5.1. Характеристики системи, використовувані при моделюванні, відповідають 3GPP.

Таблиця 5.1 – Вирази для розрахунку втрат

Швидкість чіпу	3,84 Мчип/с
Базова станція (БС)	37 дБм
Максимальна потужність передачі	
АС максимальна потужність передачі	21 дБм
МС мінімальна потужність передачі	-44 дБм
Швидкість АС	3 км / год
Антени БС	Omnі, 11,0 дБі
Антени АС	Omnі, 0,0 дБі
Модель поширення	Трасування променів, втрати в будівлі 12 дБ
Профіль каналу поширення	Відкрите повітря, до приміщення

Результати висхідної лінії зв'язку в мікроцелюлярному сценарії. Для аналізу напрямку висхідної лінії зв'язку в мікроцелюлярному сценарії були обрані три змінні. Вибрані змінні наведені в табл. 5.2. Значення частоти помилок кадрів попередньо обробляються з допомогою функції $y = \tanh(ax)$, оскільки вона відображає всі $x \geq 0$ в діапазон $[0, 1]$, і форма відображення може управлятися параметром a . Таким чином, користувач має можливість зосередитися на певному діапазоні значень частоти помилок кадрів висхідної лінії зв'язку (FER), визначених користувачем як цікаві, тим самим уникаючи можливого домінування нецікавих явищ в даних.

Таблиця 5.2 – Вирази для розрахунку втрат

nUsr	Number of users (Кількість користувачів)
ulANR	Uplink average noise raise (Середнє підвищення шуму висхідної лінії зв'язку)
ulFER	Uplink frame error rate (Частота помилок кадрів висхідної лінії зв'язку)

По-перше, структура даних була візуалізована за допомогою SOM з двовимірною гексагональною сіткою розміром 10x15. На рис. 5.6 показані компонентні площини SOM. Кожний компонент площини показує, які значення має одна змінна в різних частинах карти. Значення змінної вказується рівнем сірого, і його можна зчитувати з осі рівня сірого в правій частині відповідної компонентної площини. Наприклад, змінна nUsr має значення приблизно між [0, 8], Як видно з осі рівня сірого в правій частині компонентної площини, відповідної змінної nUsr. Високі значення nUsr представлені темно-сірими рівнями (як видно з осі рівнів сірого) і розташовані близько до нижнього правого кута і нижнього лівого кута карти. Аналогічно, у верхній частині карти представлені зразки даних, в яких значення nUsr значно нижче (представлені світло-сірими рівнями).

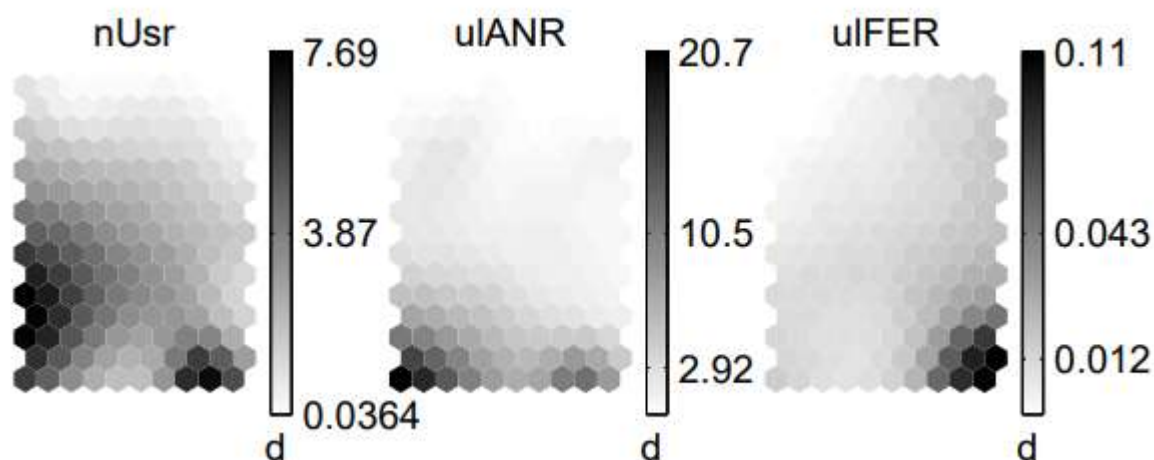


Рисунок 5.6 – Площина компонентів SOM

Як згадувалося раніше, вектори кодової книги SOM були кластеризовані з використанням алгоритму k-середніх, щоб отримати кластеризацію для набору даних. Властивості кожного кластера даних можуть бути проаналізовані за допомогою представлення компонентної площини, показаного на рис. 5.6 або використання набору автоматично згенерованих правил для пошуку кількісного опису кластерів даних. На рис. 5.7 показані кластеризовані SOM (а) і описові правила для відповідних кластерів (б). Карта складається з 7 кластерів, кожен з

яких показаний з використанням іншого рівня сірого. Крім того, одиниці карти позначаються відповідно до кластера, до якого належать одиниці карти. Праворуч Показані описові правила, які вказують тип вибірок даних в різних кластерах. З правил видно, що, наприклад, кластер даних 6 представляє зразки даних з неприпустимо високим $ulFER$. Тут слід зазначити, що автоматично згенеровані правила представляють ту ж інформацію, що і представлення компонентної площини, показане на рис. 5.6, хоча і в зовсім іншій формі.

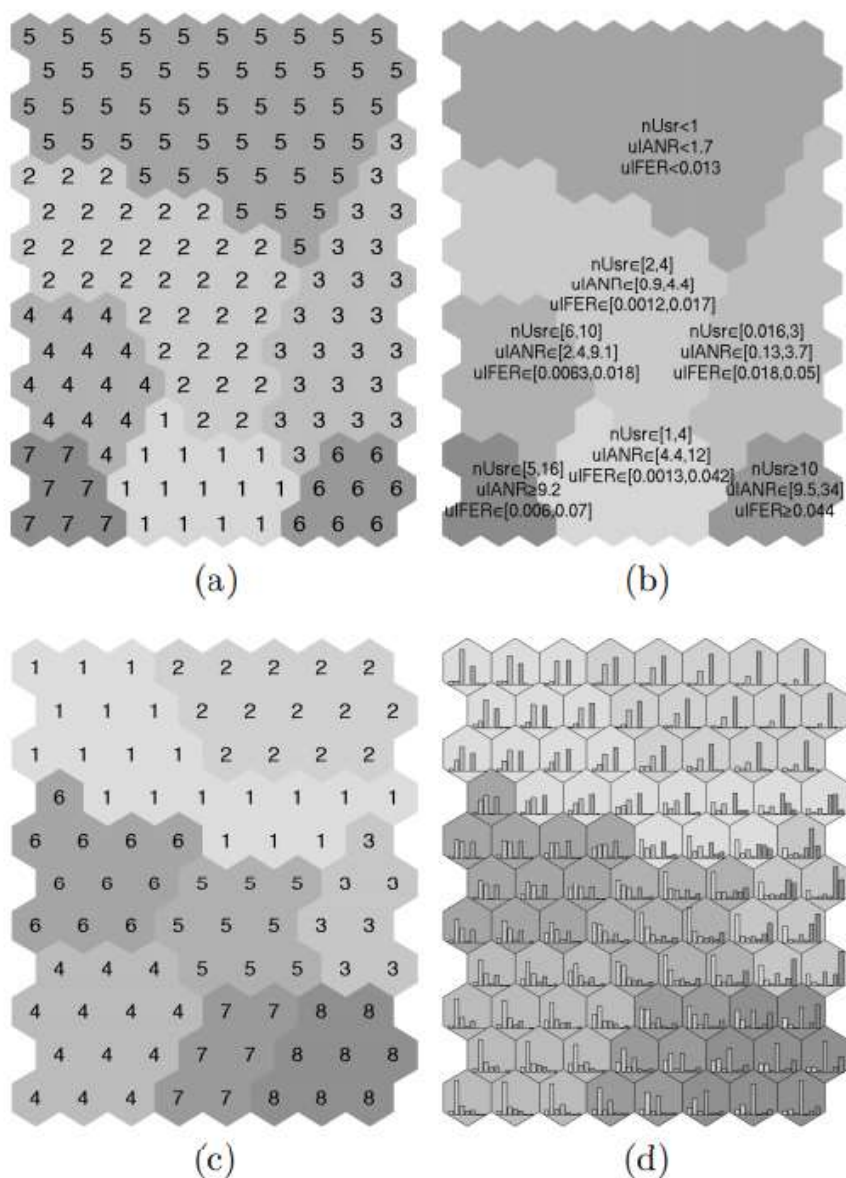


Рисунок 5.7 – (а) К - означає кластеризацію карти векторів даних, (b) правила з однією змінною для кластерів даних і (с-d) К - означає кластеризацію карти гістограм.

На рис. 5.7 Показані кластери карти гістограми (c) і прототипи гістограми, що зберігаються в кожному блоці карти карти гістограми (d). Карта гістограми складається з 8 поведінкових кластерів (поведінка, що характеризується гістограмою), кожен з яких позначений різним рівнем сірого. Одиниці карти, що описують поведінку клітини, позначаються відповідно до поведінкового кластера, до якого вони належать. З малюнка видно, що поведінковий кластер 3 на карті гістограми складається з векторів ознак, в яких більшість окремих вибірок даних розташовані в кластері даних 6. Оскільки кластер даних 6 представляв зразки даних з високим ulFER, поведінковий кластер 3 характеризує поведінку клітини як небажану. На рис. 5.7 показана класифікація мобільних стільників з використанням карти гістограми для даних про напрямок висхідної лінії зв'язку. Класифікація заснована на ознаках гістограми, які обчислюються з тимчасового вікна. З рисунка видно, що мобільний стільник 44 має проблеми з якістю через його класифікації в поведінковий кластер 3. Показані географічні місця розташування мобільних стільників і відповідні результати їх класифікації. Домінуючими поведінковими кластерами з точки зору кількості класифікованих базових станцій є 1, 2 і 6. Поведінкові кластери 1 і 2 описуються правилами для кластерів даних 3 і 5, а для поведінкового кластера 6 застосовуються правила для кластерів даних 2, 3 і 5. Типовим для цих поведінкових кластерів є відносно невелика кількість користувачів, хороша якість і низький рівень шуму висхідної лінії зв'язку. Поясненням низького числа користувачів є відносно невелика область домінування клітин, що характерно для мікроклітинних мереж. При порівнянні географічної площі клітин в поведінкових кластерах 1, 2 і 6 можна виявити високу кореляцію з завантаженням висхідної лінії зв'язку. (Рис. 5.8 (b) вироблено традиційним аналізом. Світлі області на рисунку вказують на низьке навантаження). Єдина клітина в області поганої продуктивності, тобто поведінковий кластер 3, описаний правилами для кластера даних 6 і 7, - це комірка 44. Характеристики цієї комірки -високе навантаження і велика кількість користувачів. Продуктивність цієї комірки погіршується, і, таким чином, можна зробити висновок, що стільник працює на межі своїх можливостей.

На рис. 5.9 показані траєкторії мобільних стільників 8, 14 і 44, які можуть бути використані для цілей моніторингу мобільних стільників. Комірка 8 була

обрана як приклад для демонстрації поведінки "середньої" комірки, яка з усіх боків оточена заважаючими стільниками. У порівнянні з ситуацією з коміркою 44, різниця полягає в тому, що ця комірка краще ізольована від навколишніх стільників, і, таким чином, продуктивність, як правило, краще. Клітина 44 оточена водними просторами, і заважаючі сигнали можуть вільно поширюватися. У той час як у випадку клітини 8 структура вуличного каньйону і будівлі ізолюють стільник 8 від джерел перешкод. Клітина 8 починається з поведінкового кластера 2, де майже всі виміряні точки даних в кластері 5 вказують на дуже низький рівень $ulANR$ і $ulFER$. Потім робоча точка переміщується в поведінковий кластер 6 через збільшення nU_{sr} і $ulANR$, оскільки кількість вибірок даних в кластерах даних 2 і 3 збільшилася. Поведінковий кластер 8 являє собою ще одне збільшення числа вибірок даних з числом користувачів до 6-10 і $ulANR$ між 2,4-9,1 дБ. Потім робоча точка відвідує поведінковий кластер 1 з вибірками даних в основному в кластерах даних 3 і 5, що, в свою чергу, вказує на роботу з невеликою кількістю користувачів. Зрештою робоча точка на карті гістограми повертається назад у поведінковий кластер 6. Поведінка в цій комірці в залежності від часу швидко змінюється, але кількість користувачів і завантаження сильно корелюють, і, таким чином, перешкоди від інших клітинах не домінують над завантаженням. Завантаження генерується трафіком в самій комірці 8, і, таким чином, ніяка ємність не витрачається даремно. Клітина 14 працює в основному в поведінкових кластерах 1 і 2 з майже всіма вибірками даних в кластерах даних 3 і 5. Як згадувалося раніше, ці кластери даних являють собою вибірки даних з низьким рівнем nU_{sr} і $ulANR$.

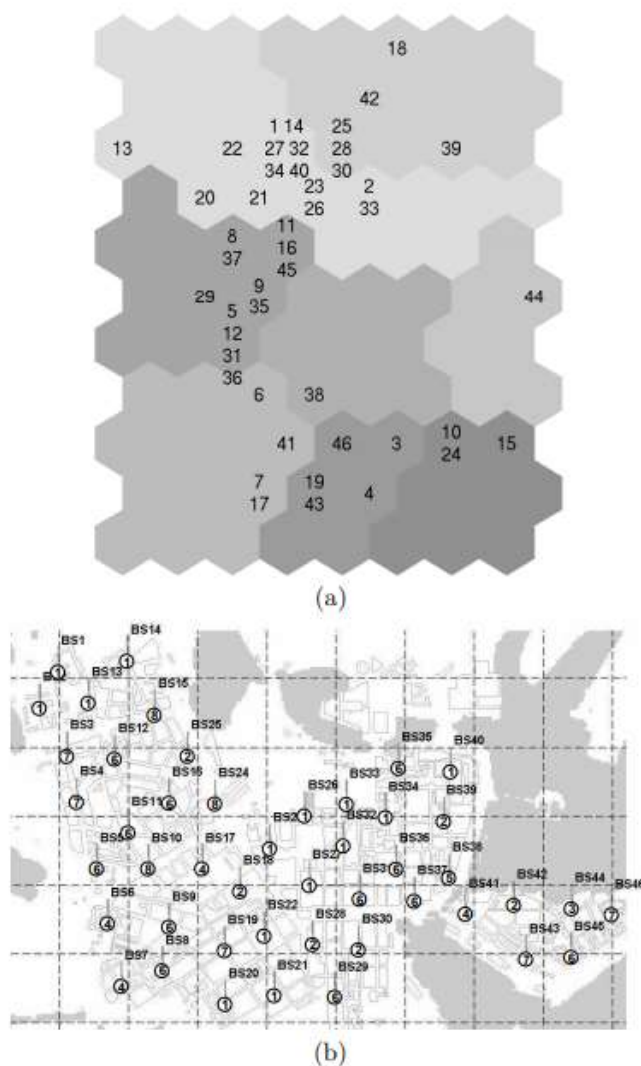


Рисунок 5.8 – (а) кластеризація мобільних осередків і (б) розташування класифікованих стільників

Поведінку клітини 14 можна пояснити географічним положенням цієї комірки. Вона знаходиться на краю аналізованої області і, таким чином, має менше сусідів, ніж інші комірки. Низький рівень взаємодії між осередками і невелика кількість користувачів пояснюють досить статичну поведінку цієї комірки. Розглянуті поведінкові кластери характеризуються як кластери з відносно низьким навантаженням і хорошою продуктивністю. Клітина 44, розташована на острові біля узбережжя міста, спочатку працює в поведінкових кластерах 7 і 8 з вибірками даних в кластерах даних 1, 2, 4 і 7. Це нижній лівий кут карти на рис. 5.7 (b), який представляє зразки даних з різними навантаженнями, але з низьким рівнем $ulFER$. Однак точка операції

переміщується в поведінковий кластер 3 через збільшення числа вибірок в кластері даних 6, тобто в кластері з найбільшими значеннями $ulFER$. Характерною особливістю цієї комірки є те, що завантаження коливається (як по висхідній, так і по низхідній лінії зв'язку) від помірної до високої, але кількість користувачів залишається незначною. Низька кількість користувачів і високе завантаження вказують на проблеми з перешкодами через перешкоди від інших осередків.

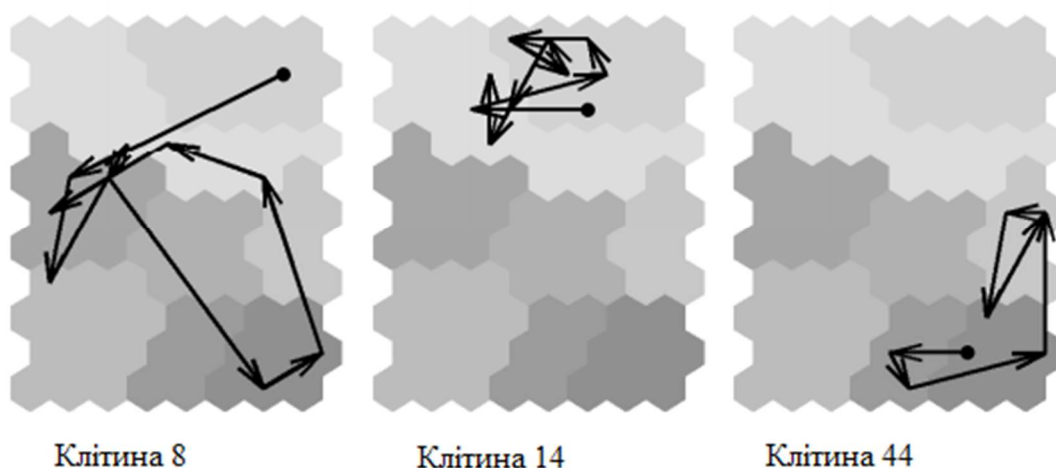


Рисунок 5.9 – Траєкторії клітин

На рис. 5.7 (b), осередки з проблемами інтерференції були ідентифіковані традиційними засобами. Ці клітини 3, 6, 7, 18, 24, 28, 42 і 43. При перевірці положення цих клітин на рис. 5.7 (a) видно, що вони домінуюче розташовані в поведінкових кластерах 2, 4 і 7. Поведінка в кластерах 4 і 7 досить схожа, оскільки вона характеризується відносно високим рівнем шуму, але помірною кількістю користувачів. Це відкриття підтверджує, що причиною є втручання інших клітин. Поведінковий кластер 2 характеризується низькою кількістю користувачів, і, таким чином, втручання інших осередків знову домінує у факторі навантаження.

5.6 Стандартний аналіз мережі WCDMA

Аналітичний підхід для даних про продуктивність мережі, представлених в

[21], коефіцієнт навантаження висхідної лінії зв'язку n_{UL} може бути розрахований як сума коефіцієнтів навантаження всіх n з'єднань висхідної лінії зв'язку в осередку. Вплив багатоклітинного середовища враховується шляхом множення випадку з однією коміркою на термін $(1 + i)$, де i -відношення інтерференції між іншими i власними осередками. Таким чином, завантаження для однієї послуги, фіксованої швидкості мобільної станції (МС), багатоклітинного випадку становить:

$$\eta_{UL} = N \frac{1}{1 + \frac{W}{\rho R}} (1 + i) \quad , \quad (5.9)$$

де R -використовувана швидкість передачі бітів,
 ρ -вимога до співвідношення сигнал / шум,
 W -швидкість чіпа WCDMA.

Традиційні результати аналізу для випадку мікрокомірки з використанням 5.9, два еталонних показника продуктивності осередку можуть бути розраховані на основі вхідних даних, а саме навантаження, викликаного користувачем, і кількості користувачів, яких може обслуговувати осередок: використовуване значення E_b/N_0 в цьому дослідженні становило 3,5 дБ. Під час моделювання навантаження було встановлено на 0,95. Часто цитоване значення I становить 55%. Теоретичні значення потужності представлені в табл 5.3. На додаток до цих аналітичних значень мережа була проаналізована за допомогою інструменту планування статичної радіомережі.

Таблиця 5.3 – Теоретичні значення ємності для мікро - і макроклітин

	Microcell	Macrocell
Number of users, upper bound	26	23
Loading/user, upper bound	0.03621	0.04063
Number of users, i included	16	14
Loading/user, i included	0.05613	0.06704

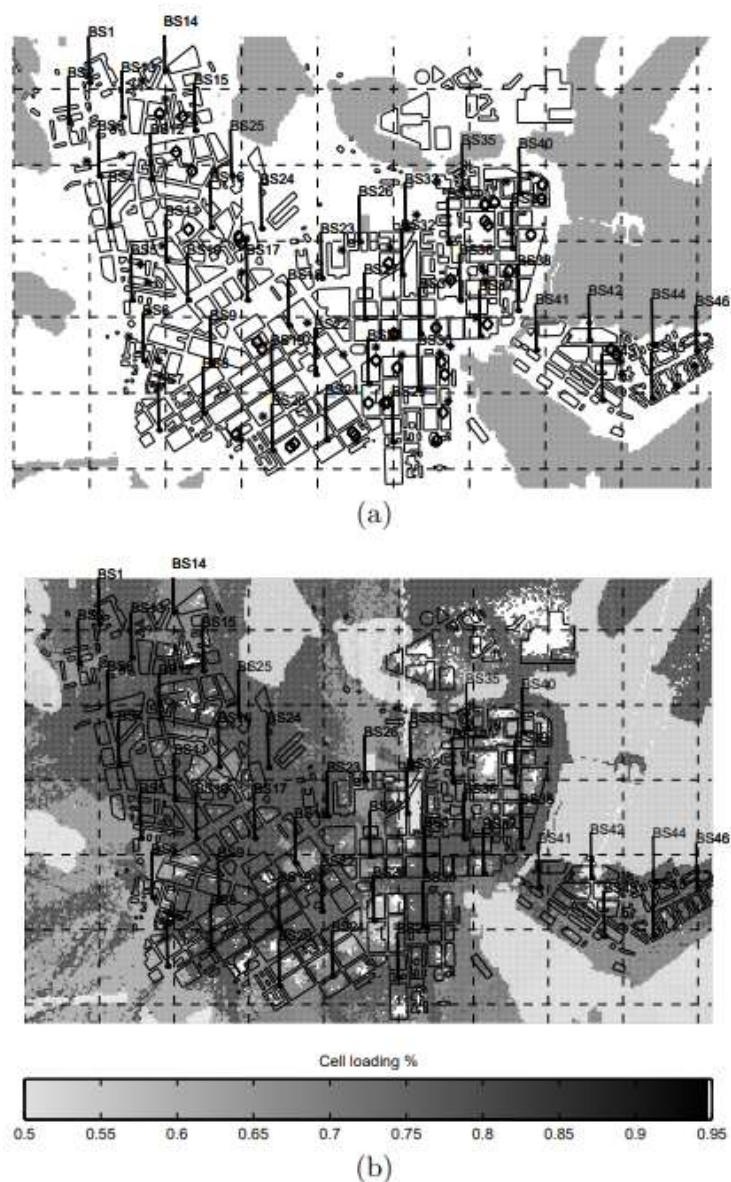


Рисунок 5.10 – (а) Використовуваний мережевий сценарій і (б) Завантаження висхідної лінії зв'язку. Відстань до ділянки становить 200 метрів. В (а) користувачі з проблемами потужності передачі позначаються \diamond і \star для висхідної і низхідної ліній зв'язку відповідно. В (б) чим світліше рівень сірого, тим нижче завантаження висхідної лінії зв'язку.

На рис. 5.10 (б) візуалізоване завантаження висхідної лінії зв'язку. Чим темніше рівень сірого, тим вище навантаження в осередку. На рис. 5.10 (а) показано розташування мобільних станцій, які страждають від відключення електроенергії. При порівнянні інформації про висхідні і низхідні лініях зв'язку

можна відзначити, що місця розташування, як правило, корелюють. Таким чином, продуктивність висхідної і низхідної ліній зв'язку добре збалансована. Коли перевіряється кореляція між завантаженням і кількістю користувачів висхідної лінії зв'язку, можна побачити, що ситуація не є простою. Як правило, контроль допуску обмежує кількість користувачів, якщо навантаження, викликане активними користувачами, висока. У цьому випадку завантаження, здається, не є причиною блокування. Блокування викликано відключенням живлення низхідній лінії зв'язку, тобто максимальною потужністю, дозволеною для одного окремого користувача. Це пояснення базується на тому, що такі сценарії часто обмежені спадним зв'язком. У табл. 5.4 наведені приклади результатів для випадку мікроелементів. Вибираються тільки деякі приклади осередків, осередки такі ж, як і в аналізі траєкторії SOM, тобто осередки 8, 14, 44.

Таблиця 5.4 – Приклад результатів традиційного аналізу

Ідентифікатор комірки	8	14	44
Графік BS TXP [W]	0,40	0,25	0,39
Завантаження	0,88	0,75	0,88
Інше відношення перешкод до власної комірки, i	0,16	0,13	0,15
Користувачі UL	22	18	22
Пропускна здатність UL [Кбіт / с]	1408	1152	1408

Всі вибрані мікроклітини мають відносно високе навантаження і значно низький i , в порівнянні з часто використовуваним значенням 55%. Це вказує на дуже хорошу ізоляцію клітин. Для всіх цих комірок завантаження на одного користувача становить 0,04, що дуже близько до значення верхньої межі. В цілому, всі мікроелементи мають добре контрольовану інтерференційну ситуацію, тільки 8 клітин з 46 мали i вище 55%. Ці клітини: 3, 6, 7, 18, 24, 28, 42, і 43. Для оцінки продуктивності висхідної лінії зв'язку була створена проста функція f , що поєднує аспекти контролю перешкод і пропускну здатності 5.10. Зважування для кожного елемента в функції витрат було однаковим.

$$P_{UL} = f(\text{Throughput}_{NORM}, i, \eta_{UL}) \quad (5.10)$$

де ThroughputNORM - це нормалізована пропускна здатність.

У нормалізації максимальна пропускна здатність була максимальним значенням у комірці. Відповідно до цієї класифікації 10% кращих клітин були клітинами 8, 9, 11, 25, 29 і 44.

Оцінка методу, заснованого на SOM. достовірність результатів SOM під час аналітичного аналізу для випадку висхідної лінії зв'язку мікроелементів найкращими показниками були клітини 8, 9, 11, 25, 29 і 44. При відображенні цих клітин на спектрі продуктивності рис. 5.8 (а) треба відзначити, що клітини 8, 9, 11 і 29 знаходяться в одному і тому ж поведінковому кластері (тобто 6). Клітина 25 знаходиться в поведінковому кластері 2 через те, що в якості прикордонної комірки (область домінування в основному на воді) у неї набагато менше користувачів, ніж у інших осередків. Традиційні засоби не здатні знайти проблеми з продуктивністю комірки 44. Як зазначалося раніше. Ця комірка працює на межі своїх можливостей. Аналогічні результати можна знайти в макроклітинному і мікроклітинному випадку, коли аналізуються як висхідна, так і низхідна лінія зв'язку. Як висновок можна сказати, що традиційні засоби підтримують висновки класифікації клітин, виконаної SOM.

5.7 Зручність використання аналізу на основі SOM

Поточні інструменти моніторингу та аналізу продуктивності мережі не здатні задовольнити потреби і вимоги мереж, орієнтованих на обслуговування. Причиною цього є збільшення числа вимірювань, які необхідно обробляти одночасно. Введення кожної нової послуги або класу послуг призведе до збільшення обсягу вимірювань, які оператор повинен збирати з елементів мережі. Рис 5.11 являє собою приклад типового виведення KPI. Кожне вимірювання представлено окремо, і кінцевий користувач несе відповідальність за кореляцію різних вимірювань. Крім того, існує також фізичне обмеження щодо того, скільки вимірювань можна візуалізувати одночасно. Кінцевий користувач несе відповідальність за об'єднання інформації з різних доменів.

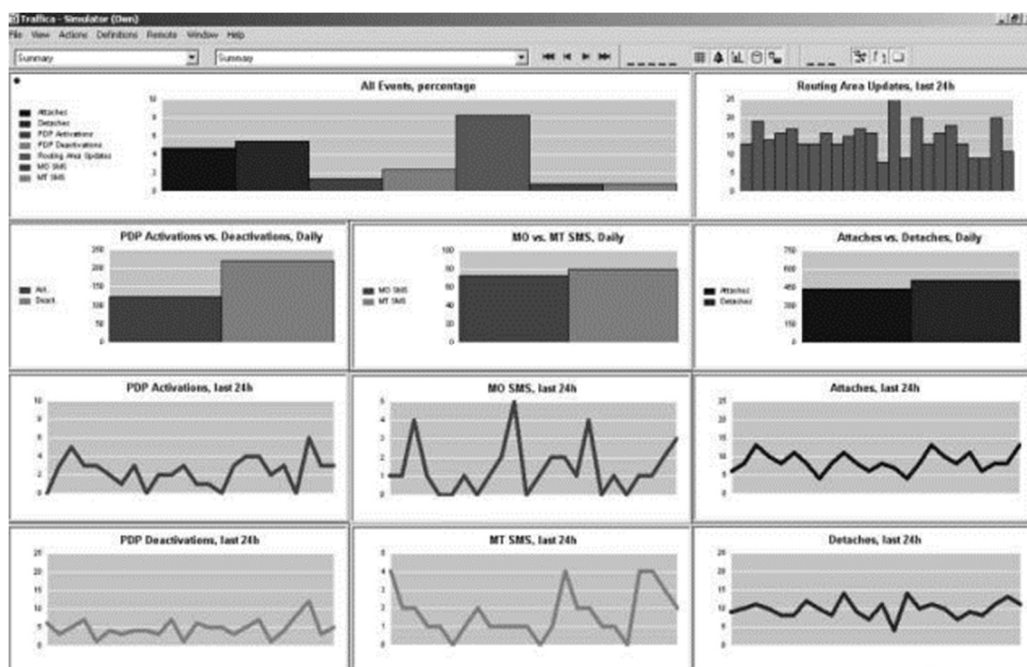


Рисунок 5.11 – Приклад візуалізації вимірювань в системі управління мережею. Для кожного вимірювання необхідно власне вікно

Сучасні методи сильно залежать від усереднення або кумуляції значень за більш тривалий період часу, найчастіше за один день. Значення ключових показників ефективності (KPI) аналізуються як миттєві знімки, що представляють один період. При такому підході губляться такі деталі, як форма розподілу значень KPI всередині періоду. Цей підхід можна вдосконалити, розділивши період на підперіоди і розраховавши середні значення або сукупні суми по ним. Це легко генерує обсяг даних настільки великий, що деталі зникають в них, і одночасний аналіз комбінацій KPI або продуктивності групи осередків стає ще складніше. На рис. 5.12 представлений приклад візуалізації KPI рівня системи управління мережею (NMS). Одні й ті ж ключові показники ефективності представлені з фільтрами хвилин, годин і середньодобових значень. Коли виявляється проблемний KPI і він додатково аналізується, може трапитися так, що фактична модель поведінки осередку і її розвиток взагалі не виявляються, але оператор в кінцевому підсумку оптимізує або фіксує тільки один аспект поведінки осередку. Це може призвести до неоптимальних рішень, які фактично порушують загальну якість клітини.

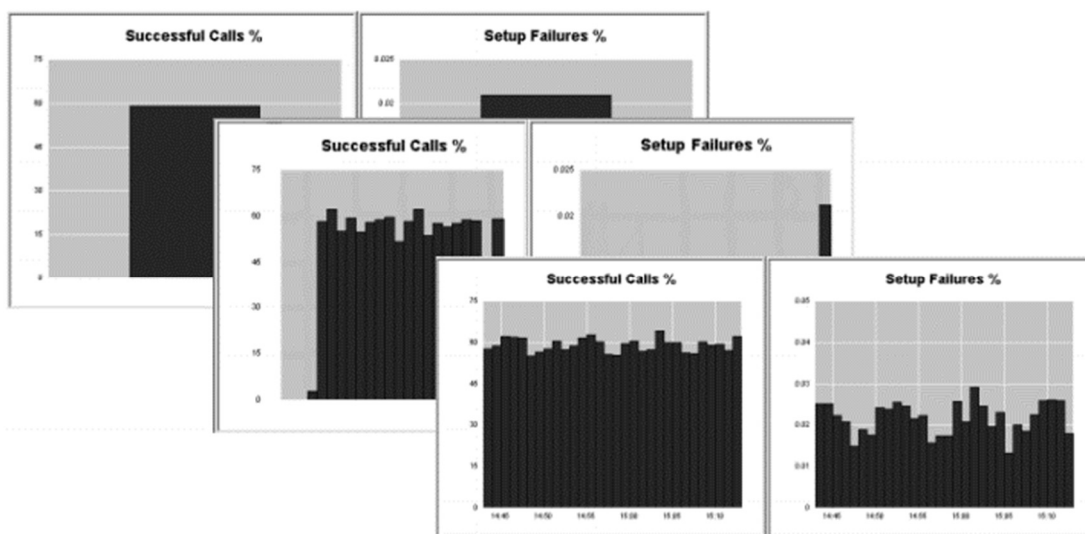


Рисунок 5.12 – Приклад вимірювання з NMS з різним тимчасовим дозволом. Для даних використовувався фільтр хвилин, годин і середньодобових значень.

Отримання якості, що випробується кінцевим користувачем (QoE) на основі виключно об'єктивних вимірювань вимагає досвіду та інструментів, таких як SOM. Метод SOM дуже наочний і може бути використаний для об'єднання різних типів інформації, таких як час і географія, з профілем поведінки клітин. Це відрізняється від традиційного аналізу, коли лише кілька ключових показників ефективності аналізуються окремо за один раз.

5.8 Масштабованість методу SOM

Як згадувалося раніше, продуктивність мережі в даний час обробляється шляхом візуалізації ключових показників ефективності окремо на екрані. В результаті кількість візуалізованих графіків збільшується в залежності від кількості сервісів, кількості елементів мережі і кількості ключових показників ефективності, використовуваних в аналізі. Таким чином, оптимізація загальної продуктивності за великим набором елементів мережі, що охоплює також всі найбільш важливі аспекти якості, вимагає аналізу великої кількості окремих графіків і об'єднання їх результатів для формування єдиної загальної картини поточного стану мережі. Однак кількість необхідних візуалізацій не збільшується так радикально в підході, заснованому на SOM. Наприклад, збільшення числа елементів мережі збільшує тільки число траєкторій осередків, як на рис. 5.9. Якщо

кількість служб або кількість мережевих вимірювань (змінних) збільшується, кількість візуалізацій компонентної площини, як показано на рис. 5.6 також збільшується. Якщо показана тільки найбільш описова комбінація правил однієї змінної для кожного кластера даних, кількість символічних правил в кластері даних збільшується з кількістю використовуваних змінних тільки в тому випадку, якщо новий набір змінних здатний розділити кластери даних краще, ніж старий набір змінних. Таким чином, кількість правил у кластері не обов'язково зростає з тією ж швидкістю, що і кількість змінних, що використовуються в аналізі. Метод, заснований на SOM, є більш масштабним по відношенню до змін в постановці завдання.

5.9 Використання кластеризації в оптимізації метода аналізу.

Представлений метод складається з двох різних фаз: кластеризація окремих точок даних, що складаються з декількох ключових показників ефективності, і кластеризація послідовностей цих точок даних. Перша фаза насправді є традиційним способом використання SOM. Він здатний показати, які типи комбінацій значень КРІ існують в цілому. Базова кластеризація може бути проаналізована додатково, щоб побачити, як середня поведінка клітин розвивалася протягом більш тривалого періоду часу. У випадку поведінкових кластерів метод враховує не тільки середню модель поведінки, засновану на всіх обраних ключових показниках ефективності, але і недавні зміни моделі поведінки. Роблячи це, метод SOM здатний виявити крах відмінної поведінки набагато раніше, ніж аналізуючи тільки середню поведінку. Кластери клітин, знайдені запропонованими методами, можуть бути використані в якості відправної точки для більш детального аналізу. Наприклад, на рис. 5.13 можна припустити, що нижній лівий кут SOM на верхньому малюнку вказує на клітини, які мають певний дефект. Ці комірки можуть бути автоматично обрані в якості цілей оптимізації. За ним можна провести більш детальний аналіз і, можливо, також запропонувати дії по їх виправленню. Можливість комбінувати результат, наданий SOM, і географічне розташування осередків має важливе значення для оператора. Інформація про географічне розташування може надати підтримку у вирішенні проблем. Кластери осередків також можна використовувати для

спрощення завдання підготовки та оптимізації параметрів.

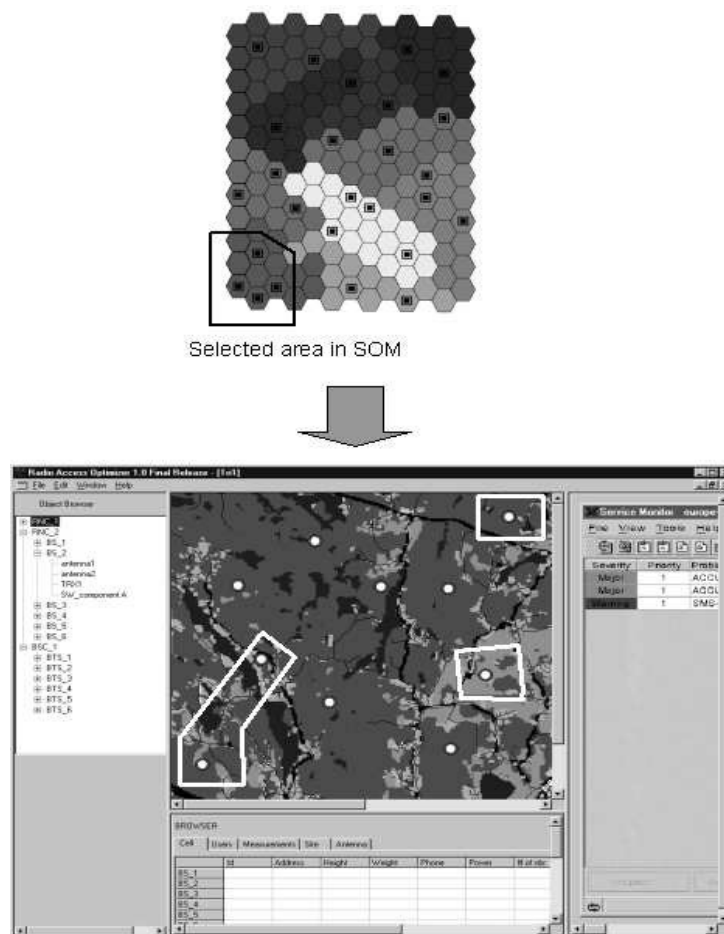


Рисунок 5.13 – Приклад використання кластерної інформації в процесі оптимізації. Вибір комірок для оптимізації/автоматичного налаштування

Комірки можуть бути згруповані на основі їх профілів трафіку і щільності, умов поширення, типів осередків, продуктивності функцій управління радіоресурсами і т.д. коли знайдені однорідні середні групи, всі осередки в одній групі можуть спільно використовувати набір значень параметрів конфігурації. Такий вид угруповання, заснований на декількох критеріях, є більш точним, і від цього вирає робота мережі: процес оптимізації значно спрощується, поліпшується і стає менш схильним до помилок і більш ефективним.

При поведінковій кластеризації зміна продуктивності з плином часу може бути показано на SOM, рис. 5.9. Метод фактично об'єднує два джерела інформації: зміна в часі і тип поведінки в кожен окремий момент часу. Цей тип

аналізу може бути виконаний з використанням даних, усереднених за різні періоди часу, від десятків секунд до днів. Можна, наприклад, стежити за рухом однієї комірки в SOM в години пікового трафіку, припускаючи, що мережі можуть досить часто повідомляти про продуктивність комірки.

Метод кластеризації послідовностей може бути застосований для відстеження дій по оптимізації, виконуваних в мережі. Коли конфігурація мережевого елемента змінюється, оператор зазвичай бажає побачити ефект зміни продуктивності. Цей метод можна використовувати, щоб показати, як змінені клітини змінюють свої місця на SOM. Таке поєднання інформації буде мати важливе значення для оптимізації радіомереж WCDMA. Складність радіомереж зростає, як і розміри самих мереж. Операторам потрібні кошти для швидкого аналізу змін в мережі, враховуючи велику кількість стільників, кілька сервісів з різними критеріями QoS і великий обсяг зібраних даних про продуктивність.

Вибір вхідних даних здійснюється на основі функціональної області. Для цілей кластеризації вимірювання, пов'язаних з доступністю, використовуються в якості вхідного простору для SOM. Створюються кластери, які виділяють простір. Поведінка кожної комірки тепер порівнюється зі спектром продуктивності і групується відповідно. Кожна клітинка в групі клітин поводить себе аналогічно, має схожі симптоми і, отже, повинна використовувати однакові значення параметрів конфігурації. Це значно спрощує і полегшує процес оптимізації. Замість того, щоб змусити мережу "просто працювати", швидкість використання може бути збільшена. Цей метод також знижує ймовірність людської помилки при налаштуванні параметрів і забезпеченні параметрів, завдяки тому, що частина цього процесу, наприклад вибір цільових стільників, може бути автоматизована.

ВИСНОВКИ

Основною мотивацією для цієї роботи було освітлення інструментів і методів, що дозволяють підтримувати визначення розмірів і планування мультисервісних радіомереж для WCDMA. Крім того, було потрібно звернути увагу на етап планування радіомережі для загальної продуктивності мережі. У зв'язку з тим, що продуктивність мережі дуже сильно залежить від фактичного трафіку і поведінки користувачів, очевидно, що стан радіомережі швидко змінюється. Це створює додаткові труднощі на етапі планування. Таким чином, важливо мати безпосередній зворотний зв'язок від операційної мережі (з точки зору вимірювання продуктивності) до функції оптимізації системи управління мережею.

Новою проблемою в цій роботі є моделювання впливу швидкого регулювання потужності в інструменті визначення розмірів і планування з точки зору збільшення потужності передачі і швидкого загасання запасу управління потужністю. Крім того, ситуація з м'якою передачею може бути врахована при оцінці продуктивності. Компромід між пропускнуою здатністю і якістю вбудований в системи CDMA, і він, з одного боку, надає операторам можливості, але також і проблеми при управлінні їх мережами.

У випадку мереж WCDMA та мультисервісного середовища важливо якнайшвидше перейти від автономного планування до статистичної оптимізації.

Для досягнення цієї мети необхідно розробити передові методи аналізу. Моделювання на основі SOM для етапу оптимізації майбутньої мережі може значно спростити задачу.

Багатовимірний простір продуктивності в майбутніх мережах стільникового зв'язку змушує традиційний процес планування зазнати деяких серйозних змін. Додаткові проблеми виникають через те, що у випадку WCDMA буде кілька служб, диференціація клієнтів (клієнти з різними пріоритетами) і кілька технологій радіодоступу, які будуть управлятися одночасно, оптимально, як один пул ресурсів. Все це дозволить перенести фокус щоденних завдань операторів з автономного планування на швидку оцінку продуктивності мережі, аналіз тенденцій і оптимізацію на основі мережевих вимірювань.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Безрученко, О. Ю. “Методика проєктирования мультисервисных сетей”. Матер. XXV міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті», - конференція «Перспективи розвитку інфокомунікацій та інформаційно-вимірювальних технологій». – 2021, Харків. Том 4.– С. 104 – 105.
2. Безрученко, О. Ю. “Аналіз методів спрощення розгортання мереж WCDMA”. Матер. междунар. студентської наукової конференції «Міждисциплінарні наукові дослідження та перспективи їх розвитку». – 7 травня 2021, Київ. Том 2.– С. 24–25.
3. Безрученко, О. Ю. “Оптимізація мережі WCDMA за допомогою цикла якості”. Матер. междунар. студентської наукової конференції «Міждисциплінарні наукові дослідження та перспективи їх розвитку». – 7 травня 2021, Київ. –Том 2.– С. 28–29.
4. Безрученко, О. Ю. “Оптимізація WCDMA за допомогою покрокового підходу”. Матер. междунар. студентської наукової конференції «Topscal issues of practice and science». – 18-21 травня 2021, Лондон. Том 1.– С. 709–711.
5. Поповський В.В., Сабурова С.О., Олійник В.Ф., Лосєв Ю.І., Агєєв Д.В. та ін., Математичні основи теорії телекомунікаційних систем / За загальною редакцією В.В.Поповського. – Х.: СМІТ, 2006. – 564 с.
6. Naors Y. Anad Alsaleem, Kashmoola M.A., Moskalets M. Analysis of the efficiency of spacetime access in the mobile communication systems based on an antenna array // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 6, Issue 9 (96). – P. 38–47.
7. Kashmoola M.A., Alsaleem M.Y.A., Alsaleem N., Moskalets M. Model of dynamics of the grouping states of radio electronic means in the problems of ensuring electromagnetic compatibility. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. №6/9 (102) P. 12-20.
8. Ahmed M.K., Aziz S.F., Alsaleem N.Y. A., Sielivanov K., Moskalets M. Method for determining the responses from a non-linear system using the volterra series // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 4/9 (106) 2020. P. 34-44.
9. Moskalets M., Kuzminich I. Methods of Femtocells Planning Using Methods of Packaging Optimization. 3rd International Scientific-Practical Conference

«Problems of Infocommunications. Science and Technology» (IEEE PIC S&T` 2016) (IEEE), Kharkiv, NURE, October 4-6, 2016. Харків, 2016. С. 211-213.

10. Тихвинский, В. О. Системы мобильной связи LTE : технологии и архитектура [Текст] / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук – М. : Эко-Трендз, 2010. – 284 с.

11. Конспект лекций по дисциплине “Системы связи с подвижными объектами” [Текст] / Упоряд. : М. Д. Плотников, М. В. Москалец – Харьков : ХНУРЭ, 2010. - 204 с.

12. Тихвинский, В. О. Сети UMTS : Архитектура, мобильность, сервисы [Текст] / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук– М. : Техносфера 2007. - 464 с.

13. Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukuda, "Field strength and its variability in the VHF and UHF land mobile service". *Review Electronic Communication Lab.*, 16, No. 9-10 1968, pp. 825-873.

14. M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-29, no. 3, August 1980, pp. 317-325.

15. "Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands," *COST 231, TD(91)73*, September 1991.

16. J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad (ed.), *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd. 2001, Chapter 10.

17. A. J. Viterbi, *CDMA Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995. p. 198.

18. J. Laiho-Steffens, A. Wacker, P. Aikio, "The impact of the radio network planning and site configuration on the WCDMA network capacity and Quality of Service," *IEEE VTS Proceedings of Vehicular Technology Conference 2000 spring*, Tokyo, Japan, May 2000, pp. 1006-1010.

19. J. Laiho, A. Wacker, T. Novosad (ed.), *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*, John Wiley & Sons Ltd. 2001, Chapter 7.

20. J. Laiho, K. Raivio, P. Lehtimäki, K. Hätönen, O. Simula, "Advanced Analysis Methods for 3G Cellular Networks", *Report A65, Publications in Computer and Information Science*, Helsinki University of Technology, 2002. Slightly modified version (split to Part I Methods and Part II Applicability of Methods) resubmitted to *IEEE Transactions on Wireless Communications* end 4/2002.

21. Багатоканальний електров'язок та телекомунікаційні технології [Текст]: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / Під заг. ред. В. В. Поповського. — Харків : ООО «Компанія СМІТ», 2006. — 596 с.

22. Громаков, Ю. А. Технологии определения местоположения в GSM и UMTS [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. А. Громаков, А. В. Северин, А. В. Шевцов - М. : Эко-Трендз, 2005. - 144 с. - ISBN 5-88405-076-3

23. B.S. Everitt, Cluster Analysis, Arnold, 1993.

24. J. Rajala, K. Sipilä, and K. Heiska, "Predicting in-building coverage for microcells and small macrocells," in IEEE Vehicular Technology Conference, 1999, vol. 1, pp. 180–184.

25. S. Hamalainen, H. Holma, and K. Sipilä, "Advanced WCDMA radio network simulator," in Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Osaka, Japan, September 12-15 1999, vol. 2, pp. 951–955.

26. J. Laiho, A. Wacker, and T. Novosad, Eds., Radio Network Planning and Optimisation for UMTS, John Wiley & Sons Ltd., 2001.