

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем**

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Сергій ЖУК
«__» червня 2024 р.

**Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою
«Радіотехнічні комп'ютеризовані системи»
спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
на тему: «Алгоритм самоорганізації мобільних мереж на основі Self-
Organizing Networks (SON)»**

Виконав:
студент IV курсу, групи РС-01

Ляшенко Олександр Русланович

Прізвище, ім'я та по батькові


підпис

Керівник:

к.т.н., доц. Піддубний Володимир Олексійович

Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я та по батькові


підпис

Рецензент:

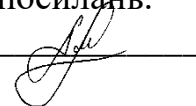
ст.викл. Нікітчук Артем Валерійович

Посада, науковий ступінь, вчене звання, Прізвище, ім'я та по батькові

підпис

Засвідчую, що у цій дипломній роботі
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____



Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет
Кафедра радіотехнічних систем

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – **172 «Телекомунікації та радіотехніка»**

Освітня програма «**Радіотехнічні комп'ютеризовані системи**»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій ЖУК

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Ляшенко Олександр Руслановичу

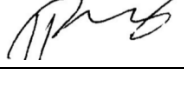
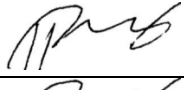

1. Тема роботи «Алгоритм самоорганізації мобільних мереж на основі Self-Organizing Networks (SON)», керівник роботи Піддубний Володимир Олексійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «29» травня 2024р. №2178-с
2. Термін подання студентом роботи 14 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Інформаційні матеріали щодо систем мобільного зв'язку та архітектури мереж LTE/NR, технічна документація та специфікація 3GPP, архітектура самоорганізованих мереж SON
4. Зміст пояснювальної записки: 1. Вступ. 2. Опис сучасних мобільних технологій та зони їх впливу. 3. Концепції самоорганізованих мереж SON. 4. Розгляд аспектів практичних застосувань. 5. Розробка алгоритму. 6. Висновки по роботі.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (із зазначенням плакатів, презентацій тощо): 1. Результати проведених досліджень. 2. Алгоритм самоорганізації мобільної мережі. 3. Інші матеріали (слайди), які необхідні матеріали для презентації результатів роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технічний	Горохов О. С., ст. викладач, Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій		

7. Дата видачі завдання 21 квітня 2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд та аналіз технічної літератури та джерел за тематикою самоорганізації SON	21.04 – 25.04	
2	Розгляд наявної проблематики у забезпеченні централізованого управління для забезпечення оптимізації радіомережі	25.04 – 01.05	
3	Огляд концепції самоорганізованих мереж SON, архітектури та функцій	01.05 – 07.05	
4	Розробка алгоритму оптимізації функціонування мобільної мережі з використанням SON	07.05 – 21.05	
5	Опис аспектів практичних застосувань та розгляд варіантів використання SON і пов'язаних з ними функцій	21.05 – 27.05	
6	Написання пояснювальної записки та підготовка презентації	27.05 – 05.06	

Студент

Олександр ЛЯШЕНКО

Керівник

Володимир ПІДДУБНИЙ

АНОТАЦІЯ

Обсяг пояснювальної записки дипломної роботи становить 69 сторінок, які включають в себе 3 розділи, 25 ілюстрацій і 41 бібліографічне найменування за переліком джерел посилань.

Актуальність теми: Автоматизація мобільних мереж загалом стає дедалі необхідною не лише з економічного, але й з фізичного погляду – велика кількість рішень і дій, які необхідно виконувати в технічних середовищах, стають все складнішими для традиційного керування. Збільшення попиту на користування рухомим зв'язком призвело до збільшення мережевого трафіку і, відповідно, мережевих елементів, якими потрібно якісно керувати. Вищезазначене вказує на те, що концепція самоорганізованих мереж (SON) має переваги у порівнянні з традиційними мережами внаслідок автоматизації процесів.

Мета дослідження: Проведення аналізу основних концепцій самоорганізованих мобільних мереж у їх ефективності забезпечення оптимізації радіомережі та сформуванню узагальненого алгоритму оптимізації функціонування мобільної мережі з використанням SON й розглянути аспекти практичних застосувань шляхом впровадження основних функцій SON.

Об'єкт дослідження: процеси самоорганізації мобільної мережі.

Предмет дослідження: методи та технології застосування основних функцій SON в мобільній мережі.

Галузь використання: мобільна мережа.

Ключові слова: МОБІЛЬНІ МЕРЕЖІ, САМООРГАНІЗОВАНІ МЕРЕЖІ SON, САМОКОНФІГУРАЦІЯ, САМООПТИМІЗАЦІЯ, САМОВІДНОВЛЕННЯ

ANNOTATION

The volume of the explanatory note of the thesis is 69 pages, which includes 3 chapters, 25 illustrations, and 41 bibliographic references.

Relevance of the topic: Automation of mobile networks in general is becoming increasingly necessary not only from an economic but also from a physical point of view – many decisions and actions that need to be performed in technical environments are becoming increasingly difficult to manage traditionally. Increased demand for mobile communications has led to an increase in network traffic and, consequently, network elements that need to be managed efficiently. The above indicates that the concept of Self-Organized Networks (SON) has advantages over traditional networks due to process automation.

The purpose of the study: To study the basic concepts of self-organized mobile networks in their effectiveness in ensuring radio network optimization and to form a generalized algorithm for optimizing the functioning of a mobile network using SON and to consider aspects of practical applications by implementing the main functions of SON.

Object of study: processes of self-organization of mobile networks.

Subject of research: methods and technologies for applying the main functions of SON in a mobile network.

Field of application: mobile network.

Keywords: MOBILE NETWORKS, SELF-ORGANIZED NETWORKS SON, SELF-CONFIGURATION, SELF-OPTIMIZATION, SELF-HEALING

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	3
ВСТУП.....	5
1 ОПИС СУЧАСНИХ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗОНИ ЇХ ВПЛИВУ .	6
1.1 Мережа радіодоступу RAN.....	8
1.1.1 Обладнання радіомережі стандартів LTE / NR.....	8
1.1.2 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN).....	12
1.2 Фактори впливу на бездротовий зв'язок	16
1.2.1 Управління перешкодами в мережі радіодоступу (RAN).....	16
1.2.2 Збільшення навантаження на Базові Станції	18
1.2.3 Енергоефективність в нічні години	19
1.2.4 Зменшення вкладених ресурсів для керування мережею	20
1.3 Висновки за розділом	21
2 КОНЦЕПЦІЇ САМООРГАНІЗОВАНИХ МЕРЕЖ SON	22
2.1 Постачальники та продукти рішень для SON	22
2.1.1 P.I. Works (uSON).....	24
2.1.2 INNOVILE (INTELLIGENT SON).....	25
2.2 Основні функції SON.....	26
2.2.1 Самоконфігурація (Self-configuration).....	27
2.2.1.2 Динамічна конфігурація.....	30
2.2.2 Самооптимізація (Self-optimization)	32
2.2.3 Самовідновлення (Self-healing).....	33
2.3 Архітектура SON	35
2.3.1 Централізований SON.....	35
2.3.2 Розповсюджений SON (Distributed SON).....	37
2.3.3 Гібрид SON (Hybrid SON)	38
2.4 Automatic Neighbor Relation (ANR)	39
2.4.1 Процедура ANR в 5G	42
2.5 Висновки за розділом	43
3 АСПЕКТИ ПРАКТИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ	44
3.1 Узагальнений алгоритм самоорганізації.....	44
3.2 Зменшення впливу завад	46
3.3 Оптимізація покриття та ємності.....	48

3.4 Оптимізація балансування навантаження мобільності (MLB).....	52
3.4.1 Режими роботи в MLB і моделювання оптимізації	54
3.5 Надійна оптимізація мобільності (MRO)	56
3.6 Енергозбереження.....	58
3.6.1 Вимкнення стільників	59
3.7 Висновки за розділом	63
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	65

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
ACS	Auto-Connection Server
AMF	Access Management Function
ANR	Automatic Neighbour Relation
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BOOTP	Bootstrap Protocol
CCO	Coverage and Capacity Optimization
CDMA	Code Division Multiple Access
CMBD	Configuration Management Database
CN	Core Network
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DRC	Dynamic Radio Configuration
EMS	Element Management System
eNB	E-UTRAN NodeB
EPC	Evolved packet core
GSM	Global System for Mobile Communications
HSPA	High Speed Packet Access
ICIC	Inter Cell Interference Coordination
IP	Internet Protocol
ITU	The International Telecommunication Union
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine-to-Machine
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MLB	Mobility Load Balancing
MME	Mobility Management Entity
MRO	Mobility Robustness Optimization
MS	Mobile Station
NBAP	Node B Application Part
NCGI	NR Cell Global Identity

NMM	Network Monitoring Mode
NMS	Network Management System
NRT	Neighbor Relation Table
OAM	Operation and Management
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
OSS	Operations and Support System
PCI	Physical Cell Identity
PLMN	Public Land Mobile Network
PRACH	Physical Random Access Channel
PRB	Physical Resource Block
PSS	Primary Synchronization Signal
PSTN	Public Switched Telephone Network
QoS	Quality of service
RAN	Radio access network
REM	Radio Environment Monitoring
RLF	Radio Link Failures
RNC	Radio Network Controller
RRM	Radio Resource Management
SINR	Signal Interference + Noise Ratio
SIR	The signal-to-interference ratio
SON	Self-Organizing network
SRNC	Serving Radio Network Controller
SSS	Secondary Synchronization Signal
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
UPE	User Plane Entity
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
W-CDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

ВСТУП

Телекомунікаційна галузь відіграє важливу роль у повсякденному житті, адже кінцевим користувачем є майже кожен українець. Завдяки розвитку бездротових технологій передачі даних, швидкість передачі інформації через мобільні пристрої збільшується. Відповідно, це призводить до появи нових технологій і стандартів для систем радіозв'язку. Телекомунікаційні компанії змушені переходити на сучасні технології, забезпечуючи при цьому функціонування попередніх технологій. Багато операторів мобільного зв'язку стикаються з викликом підтримання своїх операційних витрат на стабільному рівні, одночасно розширюючи свої можливості обслуговування та потужності обробки даних. Багато нових можливостей, таких як послуги машинно-машинної взаємодії (M2M), дуже чутливі до цінової політики й не можуть повністю розкрити свій потенціал, поки не будуть досягнуті певні цінові пороги. Для задоволення величезного попиту на передачу даних в бездротових мережах операторам необхідно провести значну модернізацію своїх мереж і максимально ефективно використовувати наявні ресурси. Своєю чергою, це призводить до того, що мережева інфраструктура в цілому стає досить складною та неоднорідною. Відповідно, оператори стикаються зі значними операційними проблемами з погляду робочих зусиль і вартості.

Один із наявних на сьогодні способів вигідно та ефективно здолати наявні виклики – це використовувати автоматизовані та автономні системи, такі як самоорганізовані мережі (SON – Self-Organizing network). SON – це технологія автоматизації, яка розроблена для того, щоб зробити планування, розгортання, експлуатацію, оптимізацію та відновлення мереж мобільного радіодоступу простішим і швидшим. Метою цієї роботи є аналіз ефективності наведеної технології у забезпеченні оптимізації радіомережі.

1 ОПИС СУЧАСНИХ МОБІЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЗОНИ ЇХ ВПЛИВУ

Сімейство технологій GSM/3GPP складається з GSM, UMTS і LTE. GSM (глобальна система мобільного зв'язку) – це мобільна технологія 2-го покоління (2G), яка забезпечує цифрову мережу з комутацією каналів, оптимізовану для повнодуплексної голосової телефонії. Також підтримується передача даних з комутацією каналів і пакетів. UMTS (універсальна мобільна телекомунікаційна система) – це мобільна технологія 3-го покоління (3G), яка базується на технології широкосмугового радіозв'язку з множинним доступом з кодовим розділенням каналів (W-CDMA) із кращою ефективністю використання спектру, ніж GSM. На сьогодні HSPA становить більшість широкосмугових мереж у всьому світі. LTE – заснований на радіотехнології множинного доступу з ортогональним частотним поділом каналів (OFDMA), що пропонує вищу пропускну здатність і менші затримки, ніж UMTS. Його мережева архітектура є простішою та базується на технології IP. LTE-Advanced, який є вдосконаленням LTE, був схвалений ITU як одна з двох технологій 4G, інша – WiMAX 2 [1]

5G – це найновіше покоління, яке зараз розгортається по всьому світу, що являє собою новий стандарт New Radio (NR) бездротового зв'язку для мобільних пристроїв та мереж. Він надає значно вищу швидкість передачі даних, нижчу затримку та більшу пропускну здатність порівняно з попередніми стандартами. Також 5G має значно меншу затримку передачі даних порівняно з попередніми поколіннями. Це особливо важливо для застосувань в реальному часі, таких як дзвінки по відео, віртуальна реальність та безпілотні пристрої.

Кількість параметрів, які необхідно налаштовувати в елементах мережі, значно збільшилась при переході від одного покоління технології до наступного. У порівнянні з GSM, UMTS має значно більше параметрів, а LTE та NR – ще більше.

За даними шведської технологічної компанії Ericsson, довгострокове зростання трафіку зумовлене як збільшенням кількості підписок на смартфонах, так і зростанням середнього обсягу даних на одну підписку, головним чином завдяки збільшенню перегляду відеоінформації. На рис. 1 показано загальний глобальний місячний мережевий трафік даних з третього кварталу 2016 року до третього кварталу 2023 року разом із річним відсотковим зростанням трафіку даних мобільної мережі [2]. Квартальне зростання трафіку даних мобільної мережі між 2 кварталом 2023 року та 3 кварталом 2023 року становило близько 7 відсотків. Загальний місячний глобальний трафік даних мобільної мережі сягнув 143 EB (Ексабайт). Ці дані змушують мобільних операторів збільшувати пропускну здатність мережі, щоб задовольнити попит абонентів. Однак доступність спектру не зростає з такою ж швидкістю, як трафік.

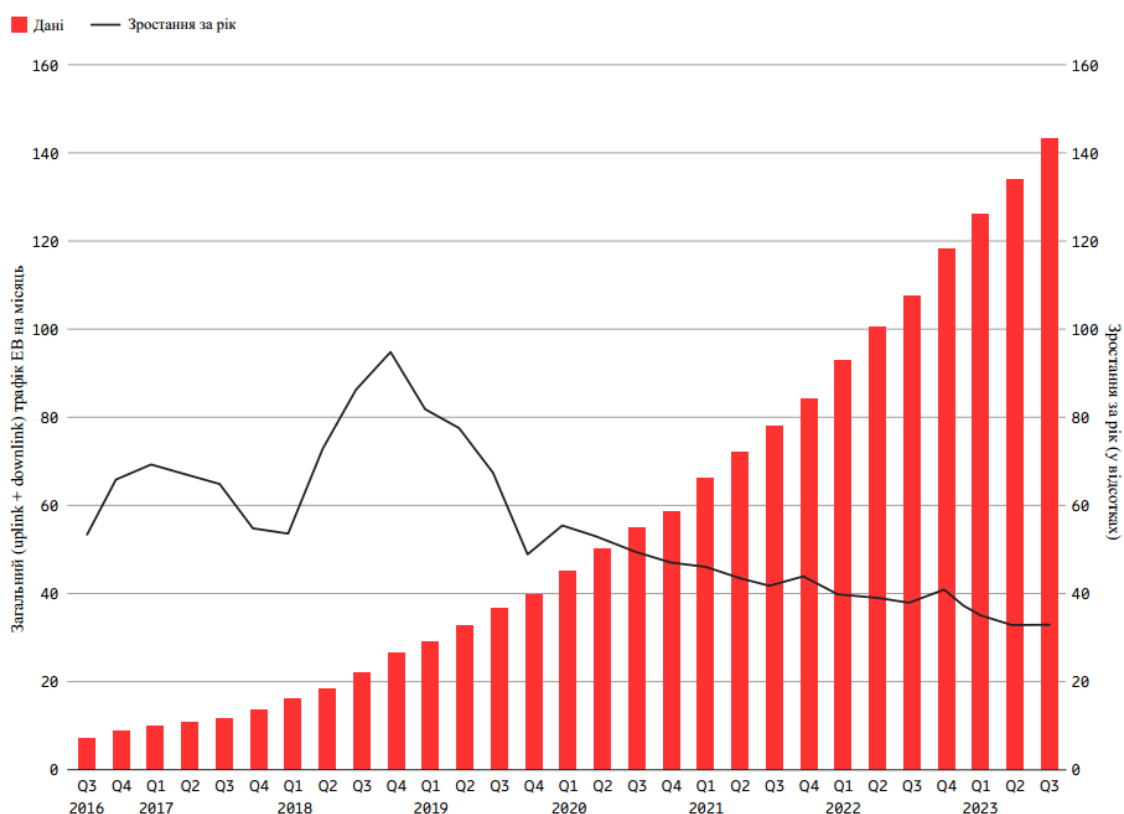


Рисунок 1 – Глобальний трафік даних мобільної мережі та річне зростання (EB на місяць) [2]

Оператори мобільного зв'язку, у своїх зусиллях збільшити спектральну ефективність і пропускну здатність своїх мереж, стикаються з високими

рівнями перешкод. Ефективне реально-часове управління цими перешкодами має вирішальне значення для повного використання переваг технології LTE.

1.1 Мережа радіодоступу RAN

Мережа радіодоступу (RAN) є основним компонентом бездротової телекомунікаційної системи, яка з'єднує окремі пристрої з іншими частинами мережі через радіозв'язок. RAN з'єднує обладнання користувача, наприклад мобільний телефон, і забезпечує з'єднання з Core Network. RAN є основним компонентом бездротового зв'язку і розвивався протягом поколінь мобільних мереж, які ведуть до 5G. Мобільні станції – MS, які включають транспортні та портативні пристрої, складаються з обладнання, що призначене для забезпечення доступу абонентів до наявних телекомунікаційних мереж.

Термін «мережа радіодоступу (RAN)» використовується з початку розвитку стільникових технологій і розвивався через покоління мобільного зв'язку (від 1G до 5G). Компоненти RAN включають базову станцію та антени, які охоплюють певний регіон залежно від їх пропускнуої здатності, а також необхідні елементи базової мережі.

1.1.1 Обладнання радіомережі стандартів LTE / NR

Кожен стільник (найменша одиниця покриття в мережі) має базову станцію (БС), розташовану у центрі, яка забезпечує обслуговування всіх рухомих станцій (мобільних станцій) в межах свого стільника. Коли абонент переміщується з одного стільника в інший, відбувається передача його обслуговування від однієї базової станції до іншої [3].

Базові станції забезпечують мобільний зв'язок. Для роботи мобільних телефонів та інших мобільних пристроїв потрібна мережа базових станцій. Важливою частиною Базової Станції є антени, вони передають і приймають радіочастотні сигнали до та від мобільних телефонів поблизу базової станції.

Антени базових станцій зазвичай розміщуються на дахах, щоглах або на стінах будівель (Рис. 2). Інколи антени також встановлюють у торгових центрах, аеропортах, офісах та інших місцях, де наявно багато користувачів.

Також БС можуть швидко розгортати на автомобілях в місцях, де неможливе будівництво вежі. Це особливо актуально в умовах російсько-української війни, щоб швидко замінити пошкоджені об'єкти в прифронтових регіонах.

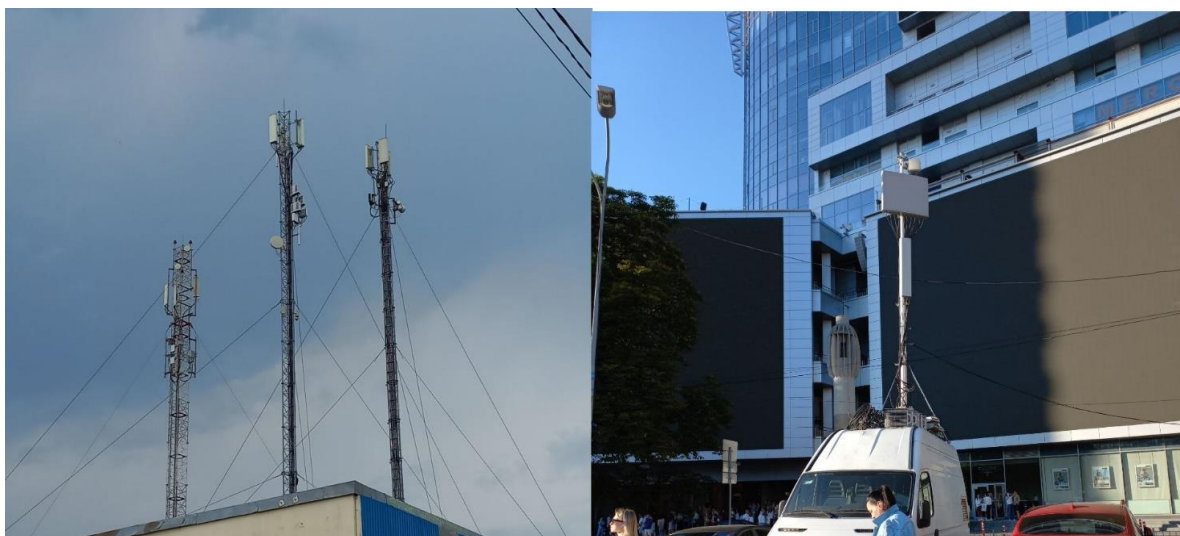


Рисунок 2 – Загальний вигляд антенно-щоглових споруд з обладнанням БС (зліва) та мобільна БС, встановлена на автомобілі (справа)

Компанія «Huawei» нещодавно випустила серію антен «Есо», яка покращує енергоефективність у всіх діапазонах на 20 відсотків за різних конфігурацій у різних областях. Вона також представила антену «Marconi», першу в галузі цифрову версію з низьким вітровим навантаженням. Антена підтримує двовимірне налаштування променя та віддалене отримання інженерних параметрів, що може виключити відвідування об'єкта, допомагаючи операторам зменшити OPEX. У Саудівській Аравії антена «Marconi» дозволила клієнтам знизити орендну плату на 50 відсотків [4].

BBU (Baseband Unit) відіграє вирішальну роль в обробці та управлінні трафіком даних для базових станцій. Він вважається «мозком» базової станції, відповідальним за різні важливі функції, тобто виконує керування всією системою базових станцій. Управління включає обробку даних висхідної та низхідної лінії зв'язку, обробку сигналів, управління ресурсами, а також експлуатацію та обслуговування.

Також важливою частиною БС є RRU (Remote Radio Unit) – це блок обробки, він перетворює радіочастотний сигнал у сигнал даних і навпаки.

Також здійснює фільтрацію та посилення радіочастотного сигналу. Виступає інтерфейсом з антеною з одного боку та з BBU з іншого боку.

У сучасних мережах 4G базова станція називається eNodeB (Evolved NodeB). Для мереж 5G використовується термін gNodeB (Next Generation NodeB). Базова станція приймає цифрові пакети з ядра мережі (як правило, EPC) і синтезує радіосигнали для передачі. Сучасні базові станції eNodeB і gNodeB зазвичай використовують для цієї мети Software Defined Radio (SDR) [5].

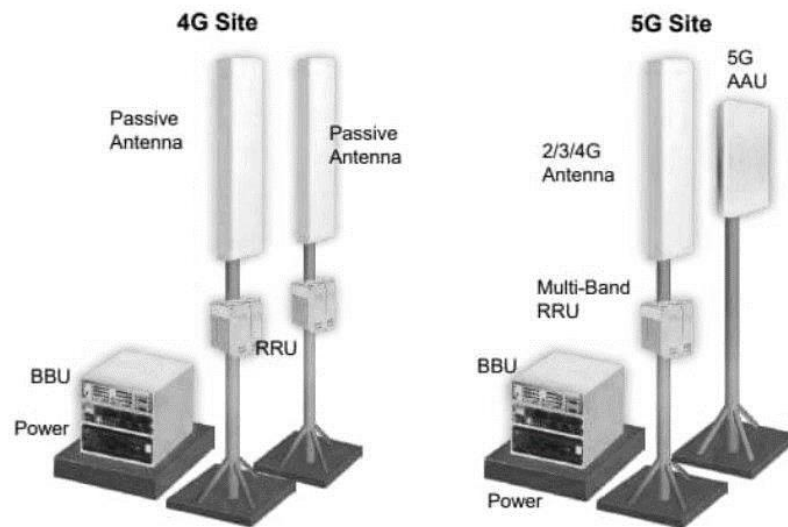


Рисунок 3 – Умовний вигляд складових сайту LTE/NR [6]

Базова станція може складатися від 1 і більше секторів для більшої дальності та ємності. Сучасна багатодіапазонна базова станція LTE може здійснювати передачу на більш ніж одній несучій завдяки агрегуванню несучих у кількох діапазонах для забезпечення вищої пропускну здатності користувача.

AAU (Active Antenna Processing Unit) – це новий тип обладнання, представлений мережею 5G, і має певні функціональні відмінності від RRU. AAU це компонент, який об'єднує антенну та радіочастотний блок. Він складається, як показано на рис. 4, з антенного блоку (AU), радіоблоку (RU) і модуля живлення. У 5G порядок MIMO починається з 8x8 (також використовуються 16, 32 і 64). Порядок MIMO – це основна характеристика AAU. Антену та радіомодуль об'єднано в одному корпусі, щоб з одного боку зменшити кількість з'єднань між ними, які в класичних антенах виконують за

допомогою радіокабелів, а з іншого це потрібно для зменшення затримок та збільшення продуктивності радіосистеми.

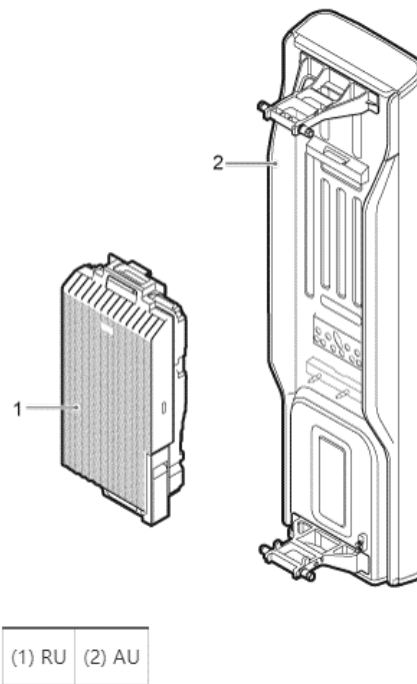


Рисунок 4 – Схематичний вигляд складових AAU [7]

Важливу роль в оптимізації управління та моніторингу якості мережі відіграє також суміжне обладнання Базових Станцій, яке дозволяє віддалено змінювати певні параметри без необхідності фізичної присутності інженерів на сайті, як наслідок це дозволяє оптимізувати покриття і якість зв'язку, підвищує ефективність мережі та сприяє поліпшенню зв'язку для абонентів.

RET, Remote Electrical Tilt – це функція секторних і базових антен, яка дозволяє дистанційно керувати кутом нахилу антени. Таким чином техніку не потрібно підніматися на вежу, щоб відрегулювати кут нахилу антени, і він може зробити це з комп'ютера. Основні функції: адаптація кута нахилу до змін мережі для сайтів

RAS, Remote Azimuth Steering device – це лінійний пристрій антени, оснащений засобами, за допомогою яких змінюється азимутальний зсув її головного променя у відповідь на отримані команди.

RAB, Remote Azimuth Beamwidth – це лінійний пристрій антени забезпечений засобами, за допомогою яких ширина променя (Azimuth beamwidth) по азимуту змінюється у відповідь на отримані команди.

1.1.2 Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)

Функції eNodeB у системах E-UTRAN включають не лише функції базової станції (NodeB) для завершення радіоінтерфейсу, але й функції контролера радіомережі (RNC) для керування радіо-ресурсами. eNB з'єднані один з одним за допомогою інтерфейсу X2. eNodeB також підключені за допомогою інтерфейсу S1 до EPC [8]. Узагальнена архітектура E-UTRAN показана на рис. 5.

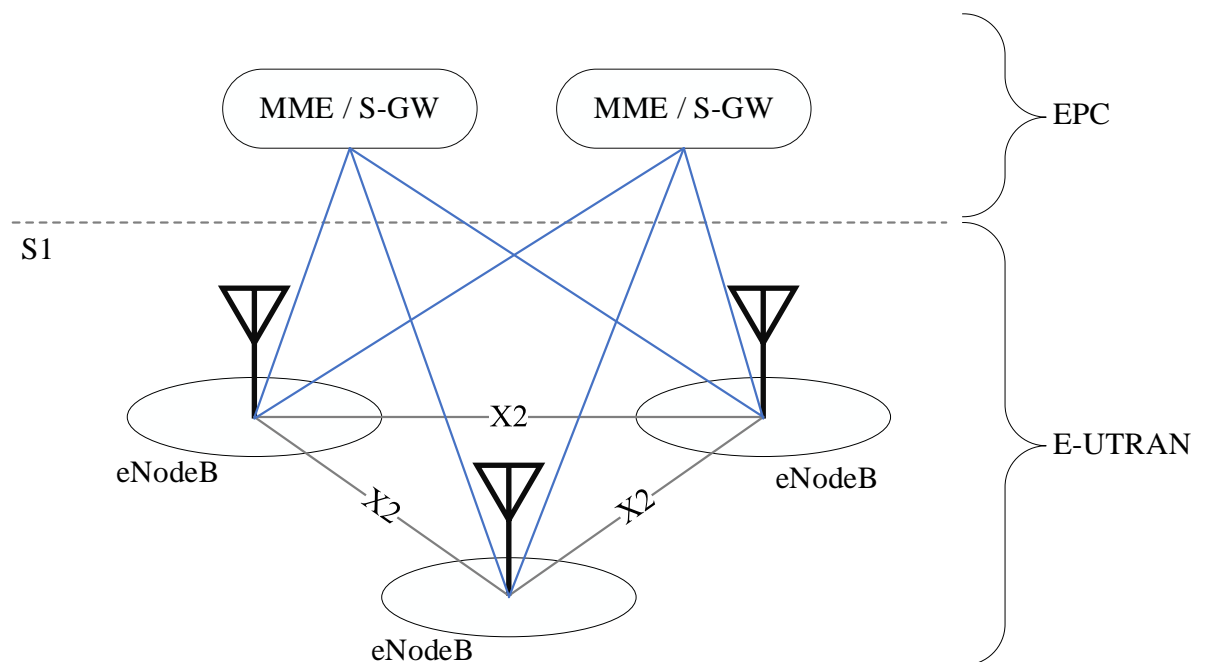


Рисунок 5 – Архітектура E-UTRAN [9]

- eNodeB виконує наступні функції керування радіо-ресурсами: керування радіоканалом, керування радіо-допуском, керування мобільністю підключення, динамічний розподіл ресурсів.

- MME виконує наступні функції: розповсюдження пейджингових повідомлень (paging messages) до eNB, загалом MME є центром взаємодії між усіма технологіями.

- SGW (обслуговуючий шлюз): Основною функцією обслуговуючого шлюзу є маршрутизація та пересилання пакетів даних користувача. Він також забезпечує мобільність між LTE та іншими типами мереж, наприклад між 2G/3G і P-GW.

– P-GW (мережевий шлюз пакетної передачі даних) забезпечує підключення UE до зовнішніх мереж пакетної передачі даних, як показано на рис. 6, діючи як точка виходу та входу трафіку для UE.

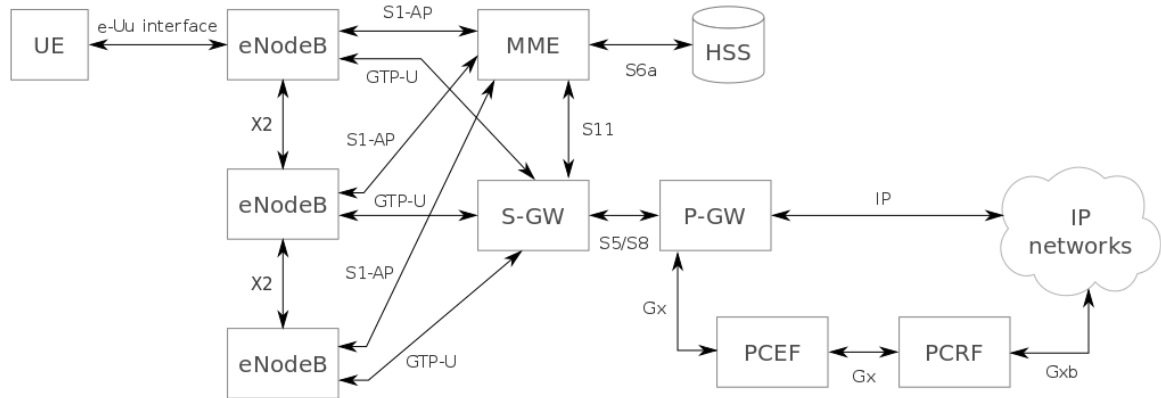


Рисунок 6 – Ілюстрація концепції архітектури LTE [10]

Функція політики та правил тарифікації (The Policy and Charging Rules Function – PCRF) – це комбінація функції правил тарифікації (Charging Rules Function) і функції прийняття рішень щодо політики (Policy Decision Function), яка забезпечує політику обслуговування та надсилає інформацію про якість обслуговування (QoS) для кожного розпочатого сеансу та обліку інформації про правила. Ці політики застосовуються в eNodeB.

PCEF знаходиться на площині користувача і гарантує, що потоки абонентського трафіку обробляються відповідно до мережевої політики, наприклад, впровадження QoS, обмеження трафіку, блокування трафіку тощо. Важливо те, що PCRF забезпечує відповідну оплату послуг.

1.1.3 5G NG-RAN (Next Generation Radio Access Network)

Загалом, оператори мобільного зв'язку спершу починають інтеграцію мереж 5G з наявними мережами 4G, щоб забезпечити безперервне з'єднання. Мережева архітектура 5G демонструє спільну роботу 5G і 4G з центральними та локальними серверами, що забезпечують швидші медіа продукти для користувачів і додатків з низькою затримкою. Мобільна мережа складається з двох основних компонентів: мережі радіо-доступу (RAN) і ядра мережі (CN), як показано на рис. 7. Мережа радіо доступу складається з певних об'єктів, такі як

невеликі стільники, вежі та спеціальні внутрішні та домашні системи, які з'єднують мобільних користувачів і бездротові пристрої з основною мережею. Невеликі стільники стануть основною особливістю мереж 5G, особливо на нових частотах міліметрової хвилі (mmWave), де діапазон підключення дуже короткий.

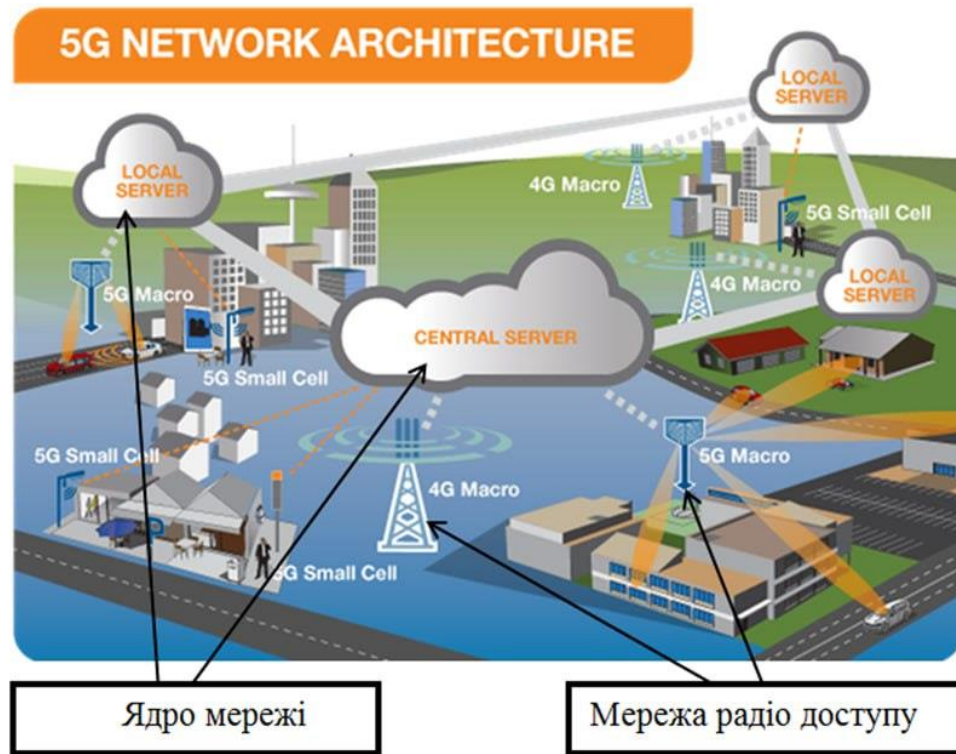


Рисунок 7 – Архітектура мереж 5G [11]

5G буде використовувати "масивні" антени MIMO, які мають дуже велику кількість антенних елементів або з'єднань для одночасного відправлення і приймання більшої кількості даних. Перевага для користувачів полягає в тому, що більше людей можуть одночасно підключатися до мережі й підтримувати високу пропускну здатність. Загальний фізичний розмір масивних MIMO-антен 5G буде аналогічний 4G, однак при вищих частотах розмір окремого антенного елемента буде менше, дозволяючи використовувати більше елементів (понад 100) в одному і тому ж фізичному випадку.

Відповідно до технічної специфікації 3GPP TS 38.300 "NR and NG-RAN, Overall Description", 5G NR (New Radio) NG-RAN виконує різні функції, такі як обробка пакетів, обробка базової смуги (тобто обробка фізичного рівня), обробка радіосигналів і керування радіо-ресурсами тощо. NG-RAN динамічно

налаштовує та масштабує вузли RAN за допомогою програмного забезпечення. По суті, Ng-ENB це вдосконалена версія 4G eNodeB. ng-eNB підключає обладнання користувача (UE) 5G до 5G CN (Core Network) за допомогою радіоінтерфейсу 4G LTE. Своєю чергою, gNB – це радіовузол, еквівалентний eNB в архітектурі 4G. gNB дозволяє 5G UE підключатися до ядра 5G NG за допомогою радіоінтерфейсу 5G NR.

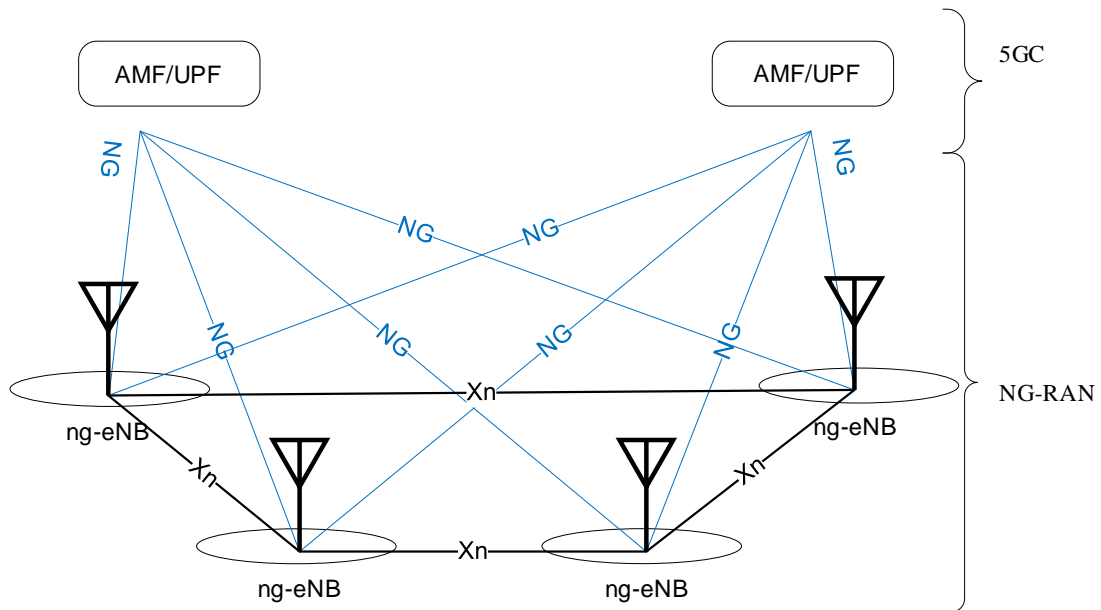


Рисунок 8 – Архітектура NG RAN [12]

Як показано на рис. 8, AMF відповідає за керування доступом і мобільністю пристроїв 5G і взаємодіє з іншими мережевими функціями, такими як UPF (User Plane Function - «функція площини користувача»), SMF (Session Management Function - «функція керування сеансом») і AUSF (Authentication Server Function - «функція сервера автентифікації»).

5G New Radio вводить концепцію масивного MIMO (підхід до бездротового зв'язку, який використовує кілька антен), яка передбачає застосування технології MIMO в набагато більших масштабах для більшого покриття мережі та ємності. Massive MIMO використовує набагато більше передавальних і приймальних антен для підвищення коефіцієнта передачі та спектральної ефективності. Щоб досягти значного приросту пропускної здатності MIMO, кілька UE повинні генерувати трафік низхідної лінії зв'язку одночасно. Багато змінних впливають на фактичний приріст, який забезпечує

масивний MIMO. Масивний MIMO разом із описаними у цьому розділі методами дистанційного керування антеною, як формування променя, є одними з ключових технологій для забезпечення більшої пропускної здатності та приросту ємності, обіцяного 5G [12].

1.2 Фактори впливу на бездротовий зв'язок

Управління продуктивністю RAN витікає в певні труднощі, наприклад, інтерференції. Конфлікти сигналів, eNodeB з перехресними секторами, хибно налаштовані відношення сусідства (ANR), конфлікти PCI – це невичерпний перелік проблем, з яким стикаються оператори мобільних мереж. Щодо завад, то розрізнені технологічні моделі дизайну та одночасне застосування призвели до неприйняттого втручання в сигнали один одного. Ці вразливі перешкоди значно погіршують загальну продуктивність мережі.

1.2.1 Управління перешкодами в мережі радіодоступу (RAN)

Зі збільшенням щільності пропускної здатності в мережах LTE/NR зростає й потенціал перешкод, що призводить до погіршення роботи UE та ефективності використання мережевих ресурсів. Виникненню деяких перешкод можна запобігти шляхом ретельного радіочастотного планування, але їх неможливо повністю усунути, і фактично успішне управління обмеженими рівнями перешкод призводить до кращої продуктивності мережі, ніж її придушення.

У 5G використовуються високочастотні діапазони, відповідно покриття стільникового зв'язку зменшується через більші втрати при поширенні, і для покриття тієї самої області потрібно більше сайтів порівняно з низькочастотними діапазонами. Крім того, оператори можуть захотіти скористатися перевагами меншого покриття стільників, щоб розширити пропускну здатність мережі шляхом повторного використання спектру.

У будь-якому сценарії складність мережі зростає через необхідність координувати передачу та уникати перешкод між стільниками.

Багатоантенні MIMO та адаптивне формування променя дозволяють операторам керувати перешкодами та підвищувати спектральну ефективність, швидкість передачі та загальну пропускну здатність мережі, загальний принцип продемонстровано на рис. 9. MIMO є найефективнішим у зонах з високим SINR (відношення рівня корисного сигналу до рівня шуму, вимірюється в дБ). Хоча вплив MIMO суттєво змінюється залежно від радіочастотного середовища, в якому розташовані стільники, збільшення кількості антен зазвичай призводить до покращення продуктивності. Однак додавання антен у стільники та UE коштує дорого, і оператори повинні ретельно оцінювати компроміс між очікуваним покращенням продуктивності та вартістю оновлення.

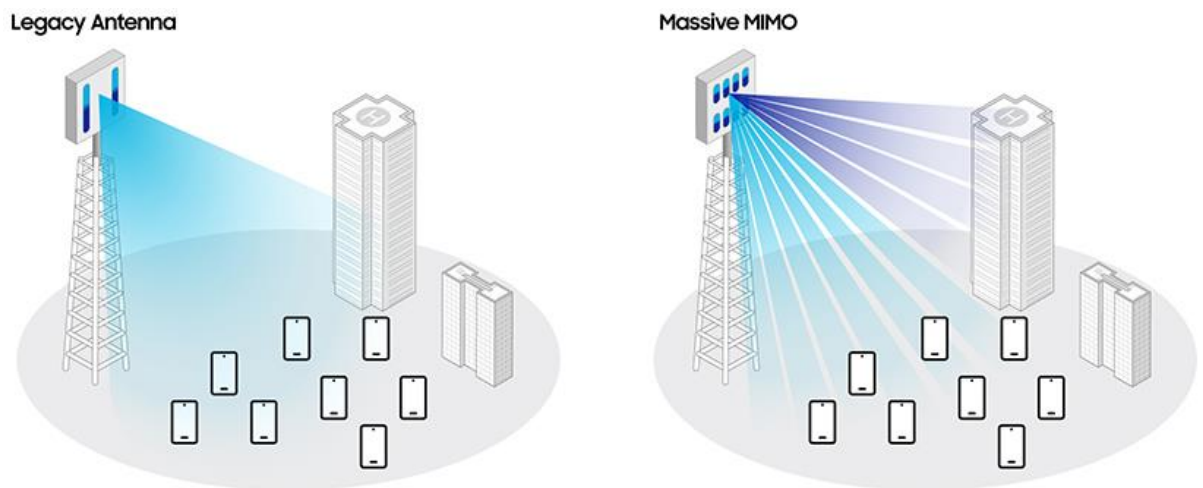


Рисунок 9 – Схематичний принцип дії звичайних антен (зліва) та антен Massive MIMO (справа) [13]

Зведення перешкод до мінімуму є обов'язковим для операторів мобільного зв'язку. Ефективний підхід до керування перешкодами дозволяє операторам отримати кращу продуктивність своїх мереж LTE.

Більша ємність і краще покриття безпосередньо сприяють покращенню взаємодії з абонентами. З нижчими рівнями перешкод абоненти отримують вищу швидкість передачі даних, менші затримки та більш надійний мобільний широкополосний зв'язок, особливо для контенту в реальному часі, такого як відео, аудіо та голос. Сигнал, менш схильний до перешкод, також зменшує частоту повторних передач, що, своєю чергою, зменшує розчарування через затримки та подовжує час роботи акумулятора мобільних пристроїв.

1.2.2 Збільшення навантаження на Базові Станції

Коли кількість абонентів безперервно зростає, виникає ситуація, коли в окремих стільниках під час годин пікового навантаження формується «скупчення» рухомих абонентів, і базова станція не в змозі впоратися з усіма викликами, що надходять. Це призводить до відмов у обслуговуванні для абонентів. В результаті такої ситуації виникає поняття "traffic handover" або "передача управління викликом на підставі критерію навантаження". Варто зазначити, що не завжди вдається розв'язати питання перевантаження за допомогою процедури "handover" або перерозподілу радіоканалів.

Мобільна мережа є типовим прикладом системи масового обслуговування (СМО), оскільки вона володіє всіма характеристиками, які є необхідними для такої системи. Серед цих характеристик варто відзначити випадковий потік заявок, тривалість виклику (тобто тривалість зайнятості радіоканалу) і кінцеву кількість обслуговування каналів, які надаються рухомих абонентам мережі. Однак найбільший інтерес з погляду СМО становить модель розрахунку абонентського навантаження в окремому стільнику, яка враховує конкретні параметри устаткування базових станцій.

При проектуванні мереж мобільного зв'язку та передбаченні навантаження на базову станцію, велику увагу приділяють прогнозуванню майбутнього навантаження. Це ключове питання як для окремих стільників, так і для всієї мережі загалом. Правильний розрахунок навантаження забезпечує гнучкість системи та готовність до різних неординарних ситуацій. Хоча вивченню навантаження приділяється багато уваги, в основному це засновано на дослідженні статистичних даних наразі впроваджених мереж. Ця інформація безумовно має важливість для подальшої експлуатації мобільної мережі, оскільки дозволяє підвищити пропускну здатність базової станції, уникнути перевантажень або виправити можливі помилки, що виникають при проектуванні.

Один із способів компенсувати навантаження на Базові Станції є одна із функцій SON – MLB.

Балансування та перерозподіл навантаження між стільниками дозволяє автоматично перенаправляти трафік між стільниками, щоб зменшити навантаження на перевантажених стільниках та покращити продуктивність мережі. MLB працює на основі аналізу даних про стан мережі та її навантаження, і на основі цього приймає рішення про перенаправлення трафіку між стільниками. Це дозволяє розподіляти навантаження між стільниками більш рівномірно і запобігати перевантаженню окремих стільників [14].

1.2.3 Енергоефективність в нічні години

Енергоспоживання стільникових мереж різко зросло через високий попит на бездротовий зв'язок. Базові станції використовують приблизно від 60% до 80% енергії, як показано на рис. 10, споживаної цими мережами.

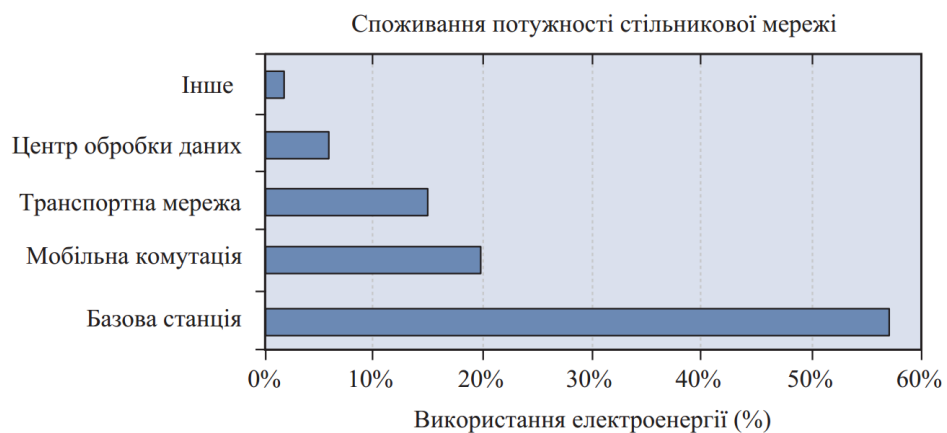


Рисунок 10 – Енергоспоживання бездротової стільникової мережі [15]

Початок енергозбереження мережі стався з того факту, що багато стільників мали піки та спади трафіку, що означає, що певні частини базових станцій можна було вимкнути для економії енергії. Однак увімкнення БС зазвичай споживає багато енергії, і це має вирішальне значення для ефективних стратегій управління енергією. Базові станції часто розгортаються з високою щільністю, щоб впоратися з вимогами до пікового навантаження, що також означає, що під час не пікових періодів базові станції використовуються дуже неефективно. Оскільки кількість енергії, яка споживається цими базовими

станціями, є великою, навіть коли вони недостатньо використовуються, один із реальних варіантів зменшити споживання енергії – вимикати їх у ті періоди, коли не спостерігається пік. Ці підходи загалом базуються на вмиканні та вимиканні невикористаних або недостатньо використовуваних базових станцій і налаштуванні потужності передавачів базової станції без шкоди для покриття та якості обслуговування (QoS). У мережах мобільної мережі це можливо завдяки плануванню покриття, що характеризується кількома шарами комірок, що перекриваються, і плануванням пропускну здатності, розрахованим на максимальне навантаження трафіком у години пік. Дедалі популярнішими стають базові станції з малим часом налаштування (час від вимкнення до готовності), що відкриває можливість частішого перемикання станів базової станції та зниження загального енергоспоживання [16].

Енергоощадження – це перспективний варіант використання SON, який дозволяє зменшити витрати оператора на електроенергію та випромінювання, яке йде від фіксованої інфраструктури систем мобільного зв'язку, наприклад, антен базових станцій.

1.2.4 Зменшення вкладених ресурсів для керування мережею

Значний розвиток мобільного широкосмугового зв'язку висуває серйозні вимоги до бездротових радіомереж і допоміжної транспортної інфраструктури. Найбільш очевидною вимогою є значне розширення ємності та необхідне розширення покриття, яке має бути забезпечено при дотриманні необхідної якості обслуговування (QoS). Загалом зростання трафіку є нормальним, якщо оператори мережі можуть стягувати за нього пропорційну плату та якщо вони можуть забезпечити достатню пропускну здатність мережі, щоб впоратися з таким зростанням. Варто зауважити, однак, що ці розширення потужності потрібні в той час, коли бюджети капітальних витрат (CAPEX) і операційних витрат (OPEX) операторів обмежені, а зростання середнього доходу на користувача (ARPU) насичено.

Перший етап (CAPEX) бездротової мережі починається з проектування базової станції, під час якого планувальник мережі заздалегідь планує проведення заходів. Діяльність стосується нового розташування eNodeB, попереднього планування радіо- та транспортних параметрів. Функція самоналаштування автоматизує ці параметри та може автоматично обмінюватися інформацією про всі параметри під час увімкнення базової станції.

Неоднорідність у контексті планування, встановлення програмного та апаратного забезпечення, параметрів радіозв'язку налаштування, тестування мережевих елементів, оптимізація, відновлення та обслуговування – всі операції займають багато часу, праці та бюджету, а також схильні до помилок, якщо їх активувати вручну.

Отже, нові підходи повинні бути розроблені та застосовані, щоб задовольнити ці вимоги економічно ефективним способом. Самоорганізовані мережі (SON) є перспективним підходом для вирішення ручних завдань автономним способом. Точніше, самостійні функції (самоконфігурація, самооптимізація та самовідновлення) – це допомога у зменшенні капітальних витрат (CAPEX), витрат на впровадження (IMPEX) та операційних витрат (OPEX) [17].

1.3 Висновки за розділом

Збільшення трафіку та абонентів тягне за собою зростання навантаження на Базові станції, а щільність мережі змушує приділяти велику увагу усуненню радіоперешкод в мережі радіодоступу RAN. Визначено, що енергоощадження відіграє важливу роль в мобільній мережі, а перспективним напрямком вирішення наявної проблематики є застосування концепції самоорганізованих мереж SON.

2 КОНЦЕПЦІЇ САМООРГАНІЗОВАНИХ МЕРЕЖ SON

Щоб зменшити операційні витрати (OPEX), пов'язані з керуванням цією більшою кількістю вузлів від кількох постачальників, вводиться концепція самоорганізованої мережі (SON). Автоматизація деяких процесів мережевого планування, конфігурації та оптимізації за допомогою функцій SON може допомогти мережевому оператору зменшити OPEX шляхом зменшення ручної участі у таких завданнях. Є різні архітектури, які можливі для реалізації різних варіантів використання SON. Архітектура вибирається залежно від потреб варіантів використання SON. Самі алгоритми SON не стандартизовані в 3GPP.

Термін «самоорганізовані мережі» (SON) застосовується до технологій мереж радіодоступу (RAN) усіх поколінь (2G, 3G, 4G, 5G і далі), які зазвичай називають мережею мобільного зв'язку. Його не було з самого початку, оскільки його рання стандартизація з'явилася лише у випуску 8 3GPP, у якому вперше було представлено LTE, але з часом попередні покоління також можуть отримати від цього користь. Попри те, що концепція SON була стандартизована 3GPP вже понад десять років, фактичне впровадження серед CSP (постачальників послуг зв'язку - «communication service providers») становило менше ніж 20% у 2022 році. На це є кілька причин, але навіть якщо перші впровадження здавалися передчасними для свого часу, тепер очікується, що цей ринок з часом значно зросте, оскільки попит на швидкі, надійні та доступні послуги мобільного передавання даних продовжує прискорюватися, а оператори мобільного зв'язку намагаються надати їх за прийнятну вартість. Крім того, сучасні SON оснащені безпрецедентними можливостями Artificial intelligence та Machine learning, що робить їхні можливості перспективнішими [18].

2.1 Постачальники та продукти рішень для SON

Ринок постачальників програмного забезпечення для бездротових самоорганізованих мереж переживає значне зростання в різних регіонах, де

переважають Північна Америка (NA), Азійсько-тихоокеанський регіон (APAC), Європа, Сполучені Штати (USA) і Китай.

Очікується, що серед цих регіонів Північної Америки та США домінуватимуть на ринку завдяки зростанню впровадження передових технологій та розвитку інфраструктури. APAC і Китай також готові до значного зростання завдяки швидкому розширенню мобільних мереж і зростанню попиту на ефективні комунікаційні рішення. Відповідно до наявного ринку, очікується, що NA та США володітимуть спільною часткою ринку приблизно 40% в оцінці ринку програмного забезпечення постачальників SON [19].

Типи ринку програмного забезпечення для постачальників SON умовно розділяють на ринки хмарних і локальних рішень. Хмарне програмне забезпечення розміщене на віддаленому сервері, що забезпечує гнучкість і масштабованість. Локальне програмне забезпечення встановлюється та працює на території організації, що дає більше контролю над безпекою даних.

Швидка урбанізація разом зі збільшенням попиту на передові системи для керування складними мережами є одним із ключових факторів зростання ринку. Дедалі більші вимоги до ширшого спектру пропускнуої здатності та зростання навантаження трафіку мобільних даних на наявні мережі призвели до широкого впровадження SON у всьому світі. Крім того, віртуалізація мобільних мереж також сприяє зростанню ринку. Постачальники телекомунікаційних послуг все частіше розгортають SON разом із хмарними моделями віртуалізації мережевих функцій (NFV) і програмно-визначеними мережевими системами (SDN), які допомагають створювати віртуальні, гнучкі та економічно ефективні мобільні мережі. Різноманітні технологічні досягнення, такі як інтеграція зі спектром 5G та Інтернетом речей (IoT), які допомагають в управлінні мережею, управлінні збоями та оптимізації покриття, пропускнуої здатності та продуктивності мережі, діють як ще один фактор, що стимулює зростання. Інші фактори, включаючи значні вдосконалення інфраструктури інформаційних технологій (IT), а також значні інвестиції в телекомунікаційний сектор, за прогнозами, сприятимуть розвитку ринку далі [20].

Розглянемо основних наявних постачальників та їх продукти на ринку, які є популярними рішеннями SON у телекомунікаційній галузі.

2.1.1 P.I. Works (uSON)

P.I. Works є провідним постачальником рішень для планування, управління та оптимізації мобільних мереж на основі Штучного Інтелекту. P.I. Works поєднує досвід, перевірений на місцях, із комерційно-доступним портфоліо продуктів і послуг. Ці рішення дозволяють операторам мобільних мереж прискорити трансформацію 5G і підвищити якість мережі. P.I. Works розгорнула свої рішення у понад 50 операторів мобільного зв'язку в 37 країнах.

uSON – це інтегрована платформа для планування, керування й оптимізації мобільних мереж. Можливості платформи охоплюють домени радіодоступу, передачі та базової мережі. Платформа використовує власну структуру ETL для обробки великих даних. uSON використовує алгоритми штучного інтелекту для підвищення якості та ефективності мережі 2G, 3G, 4G і 5G.

За допомогою алгоритмів на базі штучного інтелекту uSON корелює дані Geolocated Call Trace, RF Propagation і Customer Experience Management (CEM), а також KPI мережі та KQI. Використовуючи корельовані дані, uSON визначає найкращий набір дій щодо покращення, надаючи операторам можливість покращувати та підтримувати досвід користувачів сервісів, підвищуючи ефективність роботи.

На відміну від звичайних рішень для керування мережею, платформа uSON виходить за межі мережі радіодоступу. Вона забезпечує повністю автоматизовану централізовану функціональність SON як єдине інтегроване рішення, яке поєднує розширену оптимізацію мережі, налаштування та усунення несправностей, планування Het-Net, геолокацію та функції моніторингу стану мережі в режимі реального часу.

P.I. Works Centralized SON – це провідне в галузі та широко розповсюджене автоматизоване рішення для оптимізації мережі, яке базується

на кількох постачальниках і технологіях. cSON забезпечує найкращу взаємодію з клієнтами та якість обслуговування, водночас значно мінімізуючи витрати на керування мережею. cSON надає ці переваги за допомогою свого інтегрованого механізму автоматизації на основі штучного інтелекту, який співвідносить дані про продуктивність мережі зі сторонніми джерелами даних, такими як SEM.

«Lifecell», українська телекомунікаційна компанія, третя за величиною серед основних операторів мобільного зв'язку в Україні, обрала рішення P.I. Works Performance Management для забезпечення якості мережі в мережах 2G, 3G і 4.5G (LTE Advanced Pro), охоплюючи радіо, транспортний і основний домени. Централізовані рішення SON і Performance Management, що працюють в одній мережі, забезпечать інтегровані можливості керування мережею для «lifecell». Це позитивно вплине на ефективність мережі та якість цифрових послуг «lifecell» [21].

2.1.2 INNOVILE (INTELLIGENT SON)

«Innovile» є новатором оптимізованих рішень для управління мережами та експертних послуг. Гнучкі, потужні та економічно ефективні рішення «Innovile» для самоорганізації мереж, конфігурації та керування продуктивністю дають операторам необхідний мережеву аналітику в режимі реального часу та робочу динаміку. Клієнти успішно максимізують пропускну здатність мережі та якість своїх мереж наступного покоління та застарілих мереж, підвищують ефективність і досягають значної економії коштів. Штаб-квартира компанії розташована в Ізмірі, Туреччина, а також є офіси в Стамбулі, Боготі та Барселоні.

Рішення SON від компанії «Innovile» використовує запатентовані алгоритми та штучний інтелект (ШІ) для постійного відстеження та коригування конфігурації та параметрів мережі. INTELLIGENT SON можна використовувати для розширення мережевих операцій або повної автоматизації.

Найбільший телекомунікаційний оператор України «Київстар» обрав «Innovile» для свого рішення для самоорганізації мережі (SON). Платформа SON від «Innovile», що базується на багатьох постачальниках і на основі багатьох технологій, автоматично відстежує та оптимізує елементи мережі RAN, поки не буде досягнута оптимальна конфігурація для найкращої продуктивності.

Київстар партнерстві з Innovile розгорнув SON у всій мережі всього за 3 місяці, наголошуючи на готових інтерфейсах і чудовій командній роботі, які пришвидшують впровадження та зберігають витрати на низькому рівні. Негайні результати були помічені завдяки значному покращенню продуктивності в ключових показниках якості та ємності за технологіями GSM, UMTS і LTE.

Штучний інтелект (ШІ) є ідеальним інструментом для аналізу великих обсягів мережевих даних і застосування їх для навчання в міру підвищення рівня знань. Постійне застосування власних алгоритмів і штучного інтелекту на основі машинного навчання дозволяє самостійно оптимізувати конфігурацію мережі. Покращення можна застосовувати автоматично через інтерфейси INTELLIGENT або використовувати для перегляду та оновлення вручну Центром мережевих операцій (NOC) або функціями мережевої інженерії [22].

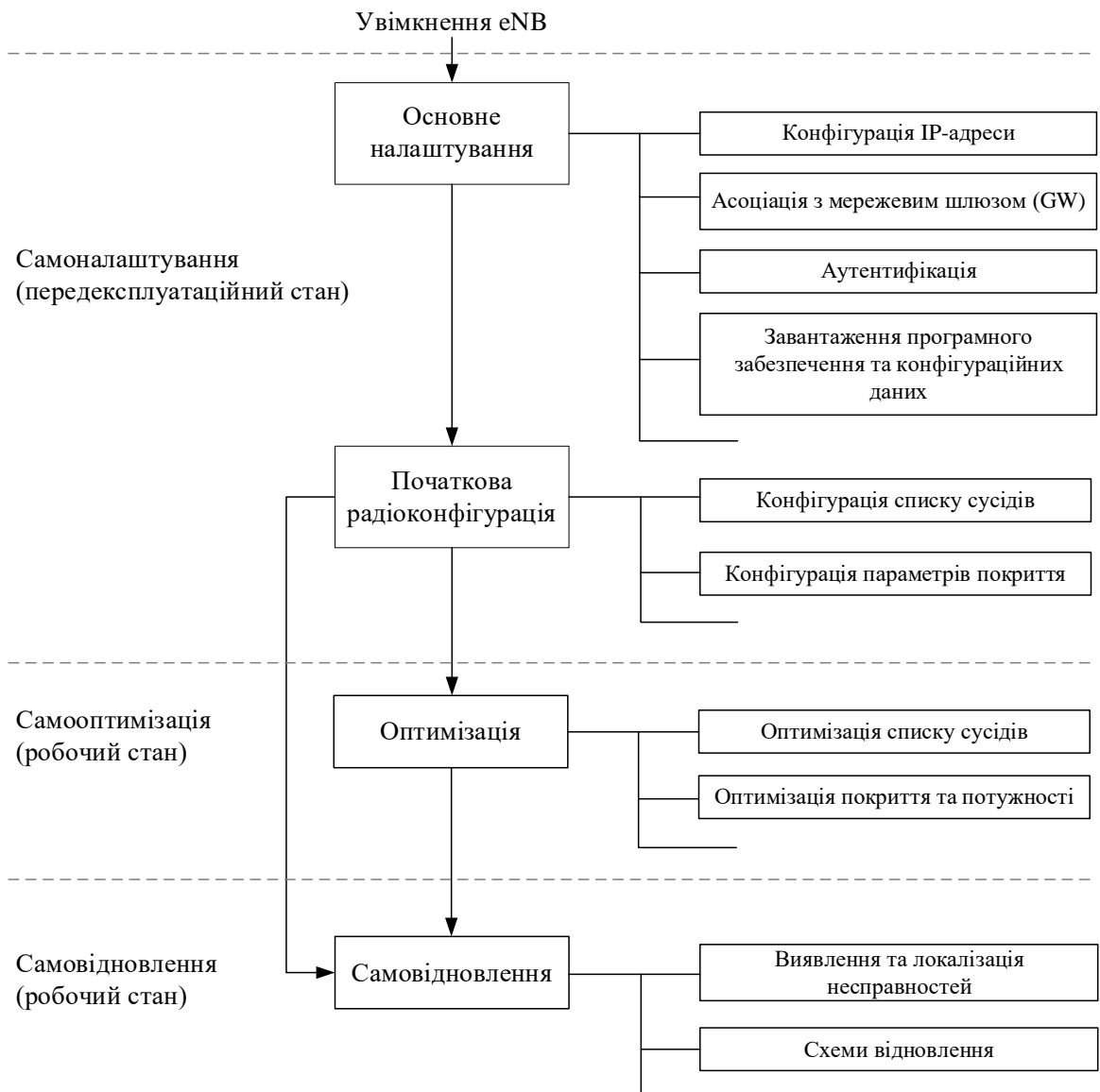
2.2 Основні функції SON

Після розгортання базової станції необхідно налаштувати. Усе обладнання не може бути «попередньо налаштованим» чи залишатися в певній конфігурації за замовчуванням, оскільки його радіопараметри потрібно налаштувати відповідно до конкретного середовища, з яким він має взаємодіяти, щоб мати можливість ефективно обслуговувати користувачів, які можуть опинитися в зоні обслуговування стільників (зони, які обслуговуються сектором базової станції). Це планування та конфігурація в основному виконується вручну людьми-операторами в центральній системі операцій і підтримки (OSS). Структура, підходи та варіанти використання SON розвиваються як частина

процесу стандартизації 3GPP. Самоналаштування, самооптимізація і самовідновлення є ключовими функціями SON.

2.2.1 Самоконфігурація (Self-configuration)

Самоконфігурація, або самоналаштування, як частина SON, має на меті полегшити роботу людини-оператора таким чином, щоб принаймні деякі з необхідних параметрів можна було визначити та призначити автоматизовано.



Процес самоналаштування визначається як процес, у якому нещодавно розгорнуті вузли (eNodeB) налаштовуються за допомогою процедур автоматичного встановлення, щоб отримати необхідну базову конфігурацію для

роботи системи. Процес самоналаштування працює в передопераційному стані, який починається з того моменту, коли eNodeB увімкнено і має магістральне з'єднання до того моменту, коли радіочастотний передавач увімкнено. Як показано на рис. 11, самоналаштування включає два етапи: базове налаштування та початкове налаштування радіоконфігурацій.

1. Новому eNB призначається IP-адреса, а інформація підсистеми самоналаштування OAM (експлуатації та керування) передається eNB.

2. GW налаштовано для нового eNB, щоб eNB міг обмінюватися IP-пакетами з іншими інтернет-вузлами

3. Новий eNB надає свою інформацію, включаючи тип, апаратне забезпечення тощо, до підсистеми самоналаштування для автентифікації. Необхідне програмне забезпечення та конфігураційні дані завантажуються з підсистеми самоналаштування.

4. Новий eNB налаштовується на основі даних конфігурації транспорту та радіо.

5. Новий eNB підключається до звичайних підсистем OAM для виконання інших функцій керування.

6. Встановлено необхідні інтерфейси S1 і X2

Можливість самостійної конфігурації забезпечує швидке встановлення та розгортання майбутніх еволюційних вузлів eNodeB, що зменшує участь людини та час розгортання.

У специфікації загального опису LTE процес самоналаштування визначається як процес, у якому нещодавно розгорнуті eNB налаштовуються за допомогою процедур автоматичної інсталяції, щоб отримати основні параметри та завантажити необхідне програмне забезпечення для роботи. З іншого боку, самостійна конфігурація також застосовуватиметься у випадках збоїв у поєднанні з механізмами швидкого виявлення збоїв, щоб забезпечити автоматичне відновлення збоїв або механізми компенсації [23].

У звичайних системах стільникового зв'язку eNB (або базова станція) має щонайменше два інтерфейси: повітряний інтерфейс до обладнання користувача

(UE) та інтерфейс зворотного зв'язку (backhaul interface) до CN. Процес самостійного налаштування використовує інтерфейс зворотного зв'язку. Основним моментом реалізації функції самоналаштування є те, як eNB отримує свою IP-адресу та підключається до сервера конфігурації. Є кілька шляхів розв'язань проблеми: eNB може використовувати протокол DHCP або BOOTP, щоб отримати свою IP-адресу. Широкомовні пакети (broadcast packets) DHCP або BOOTP можна передавати лише в одній підмережі.

Бувають також випадки, коли NE (елемент мережі) не має підключення до сервера, що надає інформацію. Такий NE називається вузлом ретрансляції (RN), і він використовує з'єднання інших eNB для встановлення з'єднання. Воно діє як звичайне обладнання користувача (UE) під час конфігурації та налаштоване за допомогою NodeB, розробленого донором (DeNB), через який буде маршрутизуватися весь операційний трафік [24].

Перший вимагає від інсталлятора надати Site ID процесу, який читає його зі списку. Також можливе використання штрих-кодів або тегів радіочастотної ідентифікації (RFID). Як альтернативу інсталлятор надає HW-ID, який потім зіставляється з Site ID базою даних керування конфігурацією (CMDB). Однак ручний варіант легше реалізувати, але він займає багато часу та може спричинити помилки. Варіант, який намагається обійти цей недолік, полягає в автоматичному визначенні Site ID. Для цього використовується технологія геолокації, наприклад, супутникове позиціонування за допомогою NAVSTAR GPS або інфраструктури Galileo. Важливо зазначити, що це не підходить для розгортання в приміщенні.

Після ідентифікації NE він перевіряє його внутрішнє та зовнішнє обладнання та надсилає результат до служби експлуатації, адміністрування та обслуговування (OAM) для оновлення бази даних інвентаризації. Крім того, NE перевіряє свої вимоги до ПЗ та запускає оновлення. Це дозволяє постачати пристрій лише з базовим набором ПЗ, необхідного для виконання процесу до цього моменту. Потім фактична конфігурація завантажується в NE та активується. Це можливо лише з обмеженою частиною конфігурації, оскільки

існують також параметри, які залежать від розташування пристроїв і конфігурації сусідніх комірок. Цей крок називається динамічною конфігурацією радіозв'язку (DRC) [25].

Після цього виконується остаточне самостійне тестування та, за необхідністю, деякі процедури керування ліцензією. Опісля eNB готовий до роботи й може переходити в робочий стан.

Важливо зазначити, що не завжди алгоритми самоконфігурації відпрацьовують правильно, наприклад, після оновлення зон покриття стільників і підключенні нових базових станцій (БС) можуть створювати загрозу нормальному функціонуванню мережі й створити значний негативний вплив на мережу знизивши якість послуг підключених користувачів.

2.2.1.2 Динамічна конфігурація

Крім статичних параметрів конфігурації, значення яких однакові всією мережею, і параметрів, які налаштовуються вручну для кожного пристрою, існують також змінні, які мають бути визначені з огляду на конфігурацію інших NE, зокрема, сусідніх комірок. Процедура, яка враховує це, називається DRC. DRC приймає інформацію про апаратне забезпечення, вимірювання (наприклад, геолокацію, підсилення антени), параметри середовища (наприклад, Site ID), інформацію про мережу (наприклад, продуктивність сусідніх стільників) і дані оператора, а також автоматично обчислює інші скореговані параметри, такі як список сусідніх стільників.

DRC особливо корисний при встановленні взаємозалежних параметрів. 3GPP «Starting material for AURANCODAP (Automatic Radio Network Configuration Data Preparation)», вводить класифікацію, яка поділяє їх на п'ять різних категорій:

A. Специфічні параметри для кожного стільника без залежності від інших. (не стосуються DRC, оскільки вони не мають взаємозалежностей)

B1. Параметри, які мають бути однаковими на всіх NE у великих частинах або навіть у всій мережі.

B2. Параметри, які повинні бути унікальними

B3. Параметри, які повинні відрізнятися від сусідніх комірок

B4. Параметри, які необхідно узгодити з параметрами сусідів

Параметри B1 (наприклад, PLMN ID) легко встановити, оскільки в ACS існує центральний екземпляр, який гарантує, що всі екземпляри налаштовані послідовно.

Параметри B2 (наприклад, Evolved Global Cell Identity) повинні бути встановлені DRC. Централізований підхід має сенс, щоб гарантувати унікальність.

Параметри B3 (наприклад, фізичний канал довільного доступу PRACH, це канал керування, який використовується UE для ініціювання доступу до мережі під час встановлення з'єднання) також слід призначати за допомогою DRC.

Для параметрів B4 динамічне призначення є обов'язковим. Ці параметри (наприклад, сусідські відносини, «Neighbor Relationships») сильно залежать від свого розташування. Прикладом такого роду параметрів є таблиця сусідських відносин (Neighbor Relation Table - NRT). Сусідські відносини є симетричними за своєю природою, тому якщо один eNB має інший eNB у своєму NRT, це також має застосовуватися навпаки [26].

Основним завданням автоматичної конфігурації стільника є подбати про неоднорідність мережі. Існують базові станції з великим покриттям, а також є з дуже малим. Пропускна здатність, яку можуть обробляти ці станції, також може відрізнятися, оскільки їхні інтерфейси зворотного зв'язку можуть мати різну пропускну здатність. Основна мета автоматичного налаштування параметрів стільника полягає в тому, щоб знайти таку конфігурацію, яка розподіляє навантаження абонентів так, щоб забезпечити неоднорідне покриття базових станцій і пропускну здатність транзитного зв'язку. Крім того, слід зменшити витрати на передачу. Оскільки оптимальна конфігурація не завжди може бути визначена під час встановлення нового NE та може змінюватися з часом, покращення параметрів конфігурації також є постійним процесом під

час роботи, охопленим технологією, що називається самооптимізацією. Але оскільки належне вирівнювання параметрів стільників також необхідне перед ініціалізацією, це також питання попередньої конфігурації.

Перш за все, розраховується зона покриття встановленого стільника. Цей параметр дуже важливий для попередніх кроків конфігурації та для подальшої роботи всіх осередків у сусідстві. Для цього модель поширення радіосигналу подається з даними конфігурації антени та приймача. Результатом є топологічний опис охоплення стільників. Простіші версії можуть брати лише географічне положення та робити приблизне наближення радіопокриття. Оскільки ця частина інформації дуже важлива, її також можна перерахувати для осередків у сусідстві. Отримана інформація потім використовується для розрахунку того, які стільники перекриваються, щоб створити передопераційну NRT. Крім того, необхідно знати сусідів 2-го ступеня, тому їх список також збирається. Потім можна призначити параметри ВЗ, які мають відрізнитися від сусідніх.

2.2.2 Самооптимізація (Self-optimization)

Самоконфігурації недостатньо, щоб гарантувати ефективне керування наскрізною мережею, потреба в наскрізному моніторингу також є дуже важливою. Після конфігурації автоматизовані процеси/алгоритми повинні мати можливість регулярно порівнювати параметри поточного стану системи з цільовими параметрами та виконувати коригувальні дії, коли це необхідно. Цей процес забезпечує оптимальну продуктивність у будь-який час. Саме цей процес називається «самооптимізація».

Процес самооптимізації визначається як процес, у якому вимірювання UE та eNB та дослідження вимірювань продуктивності використовуються для автоматичного налаштування мережі. Цей процес працює в робочому стані, який починається, при увімкненні радіочастотного інтерфейсу. Процес самостійної оптимізації збирає інформацію про вимірювання з UE та eNB потім за допомогою зовнішнього інструменту оптимізації автоматично налаштовує

конфігураційні дані для оптимізації мережі. Типовим приклад є оптимізація списку сусідів.

Алгоритми самооптимізації, що змінюють параметри певної технології радіодоступу, повинні знати про вплив таких змін на інші технологічні рівні. Спостереження за цими механізмами виходить за рамки наявності незалежних специфічних для технології функцій на різних рівнях і вимагає одночасного застосування експертних знань щодо багатьох технологій у автоматизованих процесах прийняття рішень.

Однією з найперших стратегій самооптимізації є балансування навантаження. Це потрібно в тих випадках, коли сильно навантажена і мало навантаженні стільники є сусідами. Він використовує автоматизовану функцію/алгоритм, щоб уникнути перевантаження стільників та подальшого зниження продуктивності. Ці алгоритми налаштовують параметри елементів, щоб запобігти подальшим проблемам, намагаючись збалансувати навантаження. Відповідно, балансуванням навантаження можна досягти покращення пропускної здатності системи в результаті упорядкування перевантажених осередків.

2.2.3 Самовідновлення (Self-healing)

Як самооптимізація, самовідновлення також обслуговує мережу. Управління несправностями та подальші виправлення потребують значної участі людини, однак з експоненціальним зростанням мережі та додаванням пристроїв виникає неминуча потреба в автоматизації. Самовідновлення передбачає автоматичне виявлення та локалізацію збоїв і застосування необхідних алгоритмів для відновлення працездатності системи.

Самовідновлення зосереджується на етапі обслуговування стільникової мережі. Бездротові стільникові системи схильні до збоїв, і найбільш критичним доменом для керування несправностями є RAN. Кожен eNB відповідає за обслуговування зони з невеликим резервуванням або без нього. Якщо NE не може виконувати свої функції, це призводить до періоду погіршення

продуктивності, протягом якого користувачі не отримують належної послуги. Це призводить до серйозних втрат доходу для оператора.

Обладнання зазвичай автоматично виявляє несправності. Але в ситуації, коли сама система виявлення несправна і тому не змогла повідомити OAM, такі неідентифіковані несправності eNB називають сплячими осередками (sleeping cells). Виявлення та компенсація збоїв у стільниковому зв'язку автоматично обробляє ці збої eNB, об'єднуючи кілька окремих механізмів, щоб визначити, чи стався збій, а потім компенсує збої після того, як методи м'якого відновлення не можуть відновити нормальне обслуговування. Механізм автоматичного виявлення гарантує, що оператор дізнається про несправність раніше, ніж кінцевий користувач. Система компенсації SON тимчасово усуває проблему [27].

Ця функція допомагає зменшити витрати на експлуатацію мережі, уникаючи ручного втручання щоразу, коли виникає збій. Це також обмежує наслідки збоїв, прискорюючи реагування на ці несправності. Відновлення полягає в локальному розв'язанні проблеми, яка спричинила збій, або використанні сусідніх вузлів для заміни несправного вузла, доки він не повернеться в робочий режим.

Загальний процес самовідновлення структурований так, що функція моніторингу вхідних даних постійно перевіряє, чи показник ефективності перевищив відповідне порогове значення. У випадку, якщо один або кілька зробили це, буде запущено відповідний процес самовідновлення. Потім процес збиратиме додаткову інформацію про систему, як-от показники продуктивності, системні змінні, результати тестування та радіовимірювання.

За допомогою цих зведених даних запускається функція аналізу для виявлення першопричини проблеми. Залежно від результату діагностики, тобто чи була проблема взагалі, вживаються коригувальні дії, якщо проблему можна вирішити за допомогою функції SON. Однак перед виконанням процесу SON відбувається створення резервної копії конфігурації системи. Після цього відбувається оцінка нового стану системи, щоб побачити, чи розв'язано

проблему, чи ні, або навіть нова конфігурація створила нові проблеми. Ці кроки повторюються, доки не буде вирішено несправність або умови зупинки, тобто не буде виконано скидання «лічильника». Результат процесу самовідновлення контролюватиметься функцією самовідновлення та моніторингу, яка має доступ до даних усіх вищезгаданих процесів і дозволяє оператору контролювати виконання процесу самовідновлення [28].

2.3 Архітектура SON

Архітектуру SON визначає розташування SON у мережі. При реалізації на високому рівні в мережі (OAM) вона називається системою керування мережею (NMS); тоді як впровадження на нижчих рівнях (елементах мережі), таких як eNB, називається системою керування елементами (EMS). Для методів самоналаштування SON в OAM створюється підсистема самоналаштування, яка обробляє процес самоналаштування. Для самостійної оптимізації підсистему можна створити в OAM або eNB або в обох. Таким чином, залежно від розташування алгоритмів SON, архітектуру SON можна описати як централізовану, розподілену (розповсюджену) або гібридну (поєднання централізованої та розподіленої) [29].

2.3.1 Централізований SON

У централізованій архітектурі SON алгоритми виконуються на рівні керування мережею. Команди, запити та дані про налаштування параметрів надходять від рівня керування мережею до елементів мережі, як показано на рис. 12, тоді як дані вимірювань і звіти надходять у зворотному напрямку. Основна перевага цього підходу полягає в тому, що алгоритми SON можуть враховувати інформацію з усіх частин мережі. Це означає, що можна спільно оптимізувати параметри всіх централізованих функцій SON, щоб мережа стала глобальніше оптимізованою, принаймні для повільнозмінних характеристик мережі. Крім того, централізовані рішення можуть бути стійкішими проти

нестабільності мережі, викликані одночасною роботою функцій SON, які мають суперечливі цілі.

Централізований SON (C-SON) розгортається для автоматичного розпізнавання сусідів (ANR), конфігурації стільника, контролю живлення, перешкод і керування навантаженням у центрі мережевих операцій на рівні OSS. C-SON забезпечує централізовану архітектуру, де алгоритми оптимізації знаходяться в системі керування мережею або на центральному сервері SON, який керує всіма периферійними радіовузлами. Він потенційно може організовувати поведінку обладнання радіомережі в усій мережі середовищ із кількома постачальниками та багатьма технологіями. C-SON може брати до уваги дані з усіх вузлів мережі, щоб виявити та розв'язати проблеми всієї мережі. А оскільки керування всіма функціями SON здійснюється централізовано, цю взаємодію можна легко координувати та керувати за допомогою різноманітних методів [30].

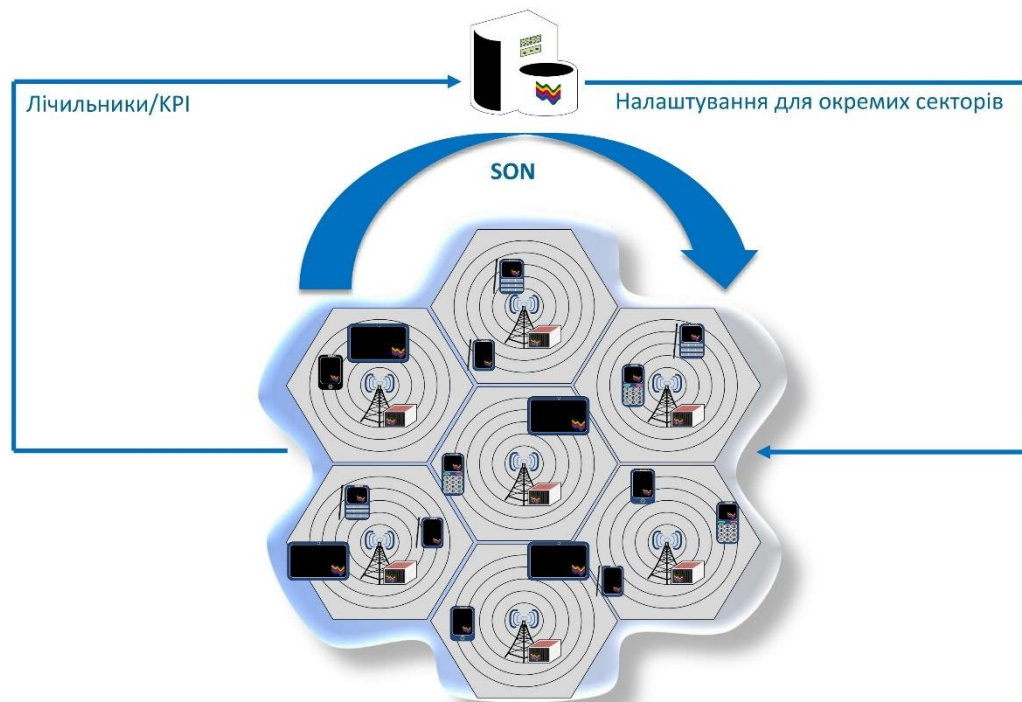


Рисунок 12 – Ілюстрація централізованої архітектури SON [31]

Ще одна перевага полягає в тому, що можливі рішення SON від різних виробників і сторонніх розробників, оскільки функціональні можливості можна додавати на рівні керування мережею, а не в елементах мережі, де зазвичай потрібні рішення від постачальників.

Основними недоліками централізованої архітектури SON є більший час відгуку, збільшення магістрального трафіку та те, що вона представляє єдину точку відмови. Довший час відповіді обмежує швидкість адаптації мережі до змін і навіть може спричинити нестабільність мережі. Збільшення магістрального трафіку, оскільки дані вимірювань повинні надсилатися від елементів мережі до системи керування мережею, а інструкції повинні надсилатися у зворотному напрямку. Цей трафік зростатиме, коли до мережі буде додано більше стільників. Якщо є багато піко- та фемтосот (надзвичайно малих базових станцій стільникового зв'язку, які забезпечують покриття дуже обмежених просторів, таких як малий офіс, квартира або навіть окремі кімнати), цей трафік буде дуже значним. Крім того, необхідна централізована потужність обробки буде великою

2.3.2 Розповсюджений SON (Distributed SON)

У D-SON алгоритми оптимізації виконуються в eNB, окремих граничних вузлах мережі, як вказано на рис. 13. У таких рішеннях функціональні можливості SON знаходяться в багатьох місцях на відносно низькому рівні архітектури. Ця архітектура робить функції SON дуже динамічними та дозволяє мережі швидше адаптуватися до локальних змін. Оскільки у D-SON усі функції SON розташовані в eNB, це призводить до збільшення робіт з розгортання. Крім того, важко підтримувати складні схеми оптимізації, які вимагають координації багатьох eNB. Але в D-SON легко підтримувати ті випадки, які стосуються лише одного або двох eNB і вимагають швидкої оптимізації. Ця архітектура дає можливість зробити функції SON набагато динамічнішими за централізовані рішення SON, так що мережа може адаптуватися до змін набагато швидше. Це також рішення, яке дуже добре масштабується зі збільшенням кількості стільників у мережі.

Основні недоліки полягають у тому, що результати всіх виконаних кроків оптимізації на рівні стільника, не обов'язково призведе до оптимальної роботи мережі в цілому, а також важче забезпечити відсутність нестабільності мережі.

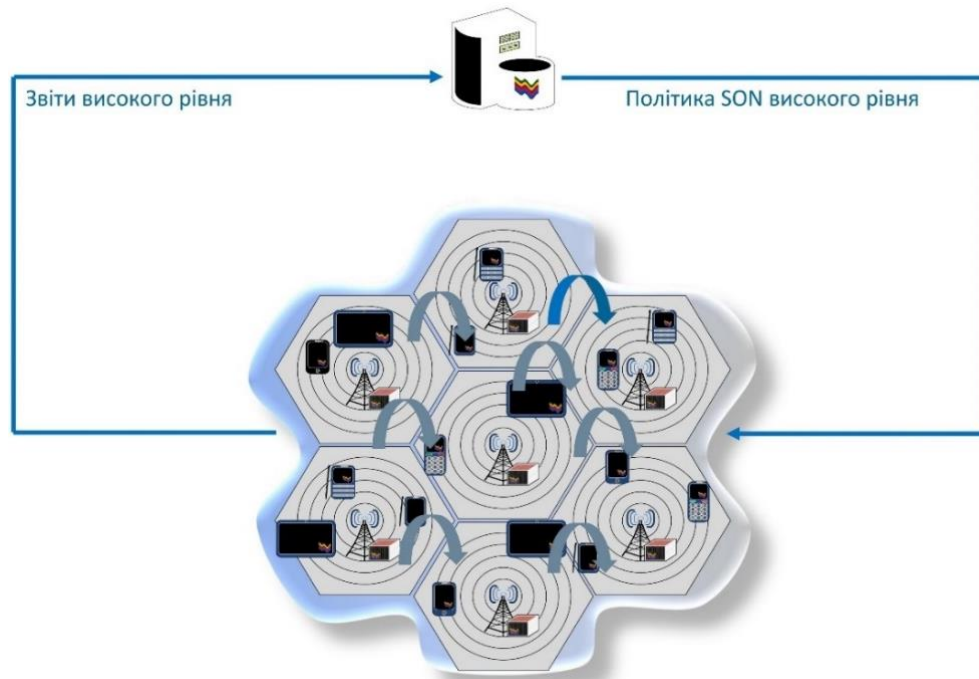


Рисунок 13 – Ілюстрація розповсюдженої архітектури SON [31]

Іншим недоліком є те, що реалізація алгоритму SON в мережевих елементах буде залежати від постачальника, а значить рішення від сторонніх розробників буде ускладненими.

Навіть якщо самі алгоритми виконуються в мережевих елементах, система керування мережею зазвичай здатна контролювати поведінку функції SON, наприклад, встановлюючи критерії оптимізації, отримуючи періодичні звіти та маючи можливість вимкнути її за необхідності.

2.3.3 Гібрид SON (Hybrid SON)

Сам термін «Hybrid SON» чітко не визначений і використовується різними постачальниками по різному. Деякі постачальники класифікують свої рішення як «гібридні», якщо система керування мережею може контролювати функцію SON, встановлюючи основні параметри/політики, отримуючи звіти та маючи можливість вимкнути її за необхідності. Якщо такі функції SON є автономними, у цьому документі вони класифікуються як «розподілені».

Гібридне рішення SON означає, що частина алгоритму SON виконується на рівні керування мережею, а частина – в елементах мережі, це продемонстровано на рис. 14. Рішення являє собою спробу поєднати переваги

централізованих і розподілених рішень SON: централізовану координацію функцій SON і здатність швидко реагувати на зміни на рівні елемента мережі.

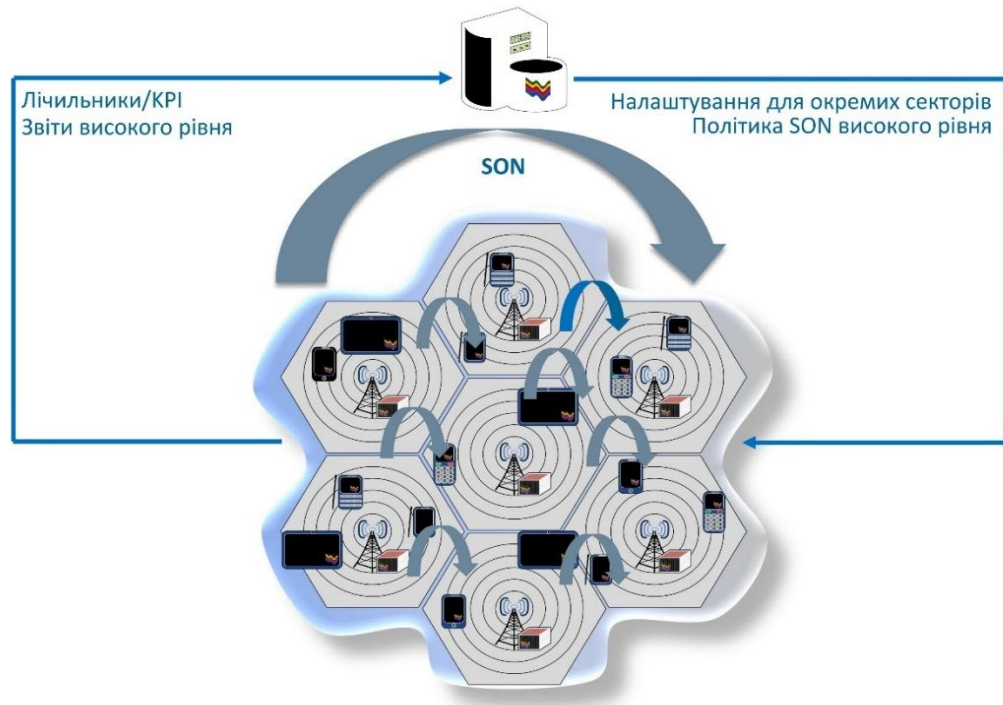


Рисунок 14 – Ілюстрація гібридної архітектури SON [31]

Недоліки як централізованого, так і розповсюдженого SON також перейшли й у Гібрид SON. SON трафік, який пов'язаний з SON, в магістральній мережі буде пропорційний кількості елементів мережі в мережі, що означає, що він може погано масштабуватися. Те саме стосується пов'язаної з SON обробки, необхідної на рівні керування мережею. Оскільки частини алгоритмів SON працюють в елементах мережі, а інтерфейс між централізованими та розподіленими функціями SON буде запатентований, сторонні рішення будуть складними [31].

2.4 Automatic Neighbor Relation (ANR)

У минулому конфігурації систем 2G і 3G ґрунтувалися на інформації з інструментів планування та виїзних прикладних тестувань. З розвитком 4G LTE постачальники послуг висувують вимоги до простоти управління та економічності. Це приділило велику увагу створенню рішень для самоорганізованих мереж (SON), і одним із перших рішень SON, представлених у стандартах, був Automatic Neighbor Relation (ANR) для автоматичної генерації

сусідських зв'язків між осередками базової станції. Ці зв'язки використовуються для встановлення з'єднань зі стільниками базових станцій задля підтримки мобільності, балансування навантаження, подвійного підключення тощо. З розгортанням 4G ANR значно скоротила витрати на планування та експлуатацію для операторів. Таким чином, 3GPP вважає автоматичне встановлення сусідських відносин також дуже важливим у 5G NR [32].

ANR підтримуються інструментами планування для початкового призначення сусідів, автоматичного виявлення у вузлі за допомогою вимірювань UE та механізму для оператора, щоб контролювати відносини сусідів за допомогою чорного та білого списків.

Його роботу можна підсумувати таким чином: вимірювання, виявлення, звітування, прийняття рішень (додавання/видалення стільника) та оновлення. Покрокова процедура ANR в 4G LTE: Під час вимірювань UE виявляє PCI з невідомого стільника, UE повідомляє про невідомий PCI обслуговчому eNB через повідомлення про реконфігурацію Radio Resource Controller (RRC). Обслуговчий eNB просить UE повідомити глобальний ідентифікатор стільника E-UTRAN (ECGI) цільового eNB. Таким чином eNB може швидше виявляти пристрої. UE повідомляє ECGI шляхом зчитування широкомовного каналу (BCCH). На основі ECGI обслуговчий eNB отримує IP-адресу від Mobility Management Entity (MME) для подальшого налаштування інтерфейсу X2, оскільки початкове налаштування інтерфейсу X2 відбулося під час самостійного налаштування цільового eNB.

3GPP визначає роботу ряду випадків використання SON, і першим, який стане чітко визначеним, є автоматизація таблиць зв'язків сусідів. Поняття сусідів і сусідніх стільників додатково проілюстровано на рис. 15. Базова станція підтримує таблицю зв'язку сусідів (NRT) для кожного стільника. Приблизно, кожен запис містить усе, що базова станція має знати про сусіда. Комірка 1 має повні знання про своїх сусідів.

Комірка 2 знає лише про комірку 1, а не про комірку 3. Це може бути спричинено помилками передбачення в результаті неточностей у моделі поширення сигналу та картографічних даних, які використовуються на етапі планування вручну. Комірку 4 нещодавно встановлено, тому вона не відома жодним сусідам.

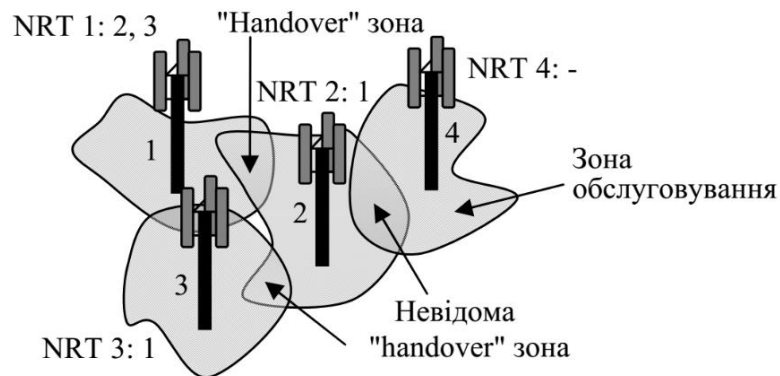


Рисунок 15 – Ілюстрація NRT для кожного стільника

Основною функцією, яку забезпечує ANR, є можливість установлювати сусідні стільники за допомогою звітів про вимірювання терміналу, коли структура сусіднього стільника не запланована заздалегідь. Результати польових випробувань продемонстрували високу успішну швидкість передачі даних, що відповідає вимогам для майбутніх комерційних мереж LTE. Таким чином, ANR може не тільки покращити загальну продуктивність мережі LTE, але також допомагає зменшити робоче навантаження та експлуатаційні витрати на обслуговування сусідніх стільників, уникаючи проблем, які можуть виникнути через неправильне планування сусідських зв'язків. Ці функції ANR мають значний вплив на комерційну мережу LTE.

На рис. 16 показано шлях, який проходить автомобільний термінал. Під час першого раунду тестування накопичувачів кількість сусідніх комірок або eNodeB, які були встановлені автоматично, становила 74, із показником успішної передачі 91%. Під час другого раунду це число зросло до 94, а показник успішної передачі зріс до 97%. Результат демонструє, що SON може допомогти автоматично створити список сусідніх стільників, одночасно

збільшуючи частоту успішної передачі даних і знижуючи витрати на мануальне втручання.

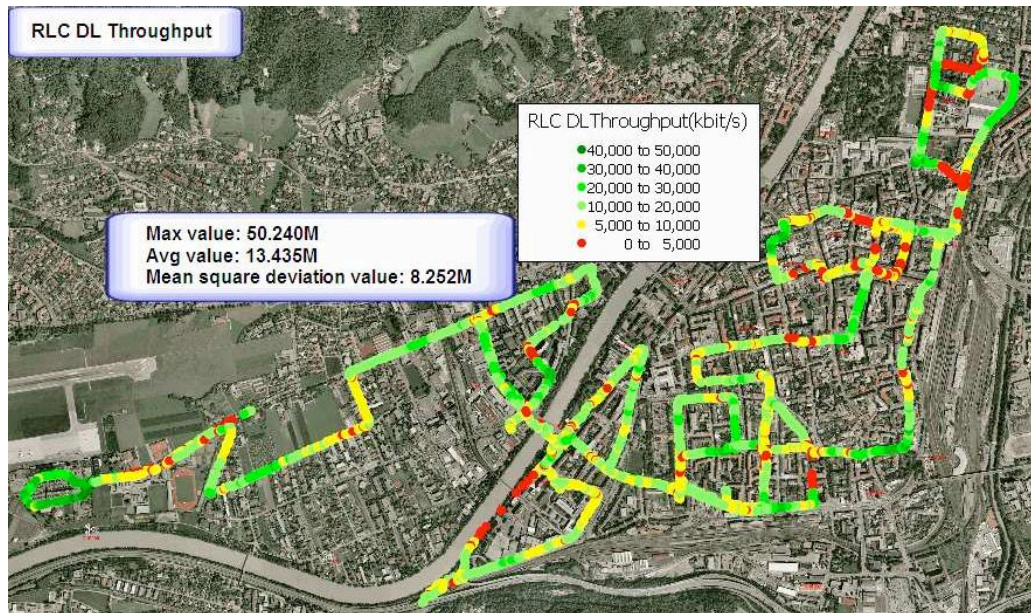


Рисунок 16 – Польовий тест ANR у тестовій мережі LTE/EPC [33]

На основі рішення SON тестова мережа має такі функції, як самоналаштування, самооптимізація та самовідновлення. Оскільки топологія мережі змінюється, рішення SON здатні забезпечити високий рівень підключення до мережі та оптимізацію продуктивності всієї мережі [33].

2.4.1 Процедура ANR в 5G

Функція ANR знаходиться в gNodeB і керує концептуальною таблицею зв'язків сусідів (NRT). У ANR функція виявлення сусідів знаходить нових сусідів і додає їх до NRT, а функція видалення сусідів видаляє застарілі сусідські відносини (NR). Реалізація функції виявлення та видалення сусідів не визначається специфікацією 3GPP, це залежить від постачальника.

Наявне відношення сусідніх клітинок (NR) від вихідної комірки до цільової комірки означає, що gNodeB, який керує вихідною коміркою, знає NCGI/CGI (У 5G комірці NR присвоюється NCGI (Global Identity – NR Cell Global Identity) - об'єднує PLMN-Id (ідентифікатор PLMN) і 36-бітний NCI (ідентифікатор комірки NR) та ідентифікатор фізичної комірки (PCI) цільової комірки й має запис у NRT для вихідної комірки. визначення цільової комірки. Для кожної комірки gNodeB зберігає NRT, що містить ідентифікатор цільової

комірки для ідентифікації цільової комірки. Для 5G New Radio ідентифікатор цільової комірки відповідає глобальному ідентифікатору NR-стільника (NCGI) та фізичній ідентифікації комірки (PCI) цільової комірки [27].

Для ANR на базі UE SSB («Synchronization Signal Block», блок сигналу синхронізації) і SIB#1, також відомий як RMSI («Remaining Minimum System Information» залишок мінімальної системної інформації), є найбільш критичним блоком сигналу та інформації. SSB і SIB#1 несуть необхідну інформацію для заповнення сусідніх відносин, тобто PCI та NCGI (New Radio Cell Global Identifier).

Коли UE шукає сигнали для сусідніх стільників для ANR, йому потрібно декодувати SSB, щоб отримати PCI, 5G NR має діапазон PCI від 0 до 1007 і RBCH-MIB, щоб знати інформацію про часову та частотну область для SIB#1, яка передає інформацію NCGI. NR-CGI – це комбінація PLMN та Cell Identity.

Коли UE повідомляє звіт про вимірювання з інформацією PCI, а обслуговчий gNB не може знайти його в таблиці Neighbor Relation, обслуговчий gNodeB наказує UE отримати інформацію CGI цільової комірки. UE також виявляє та декодує RMSI (системний інформаційний блок №1) із цільової комірки, щоб отримати CGI. Отриманий CGI зберігається та повідомляється gNodeB, що обслуговує. З повідомленого CGI обслуговчий gNodeB може отримати ідентифікатор gNodeB, який є частиною CGI, та іншу інформацію для оновлення NRT [34].

2.5 Висновки за розділом

Самоорганізована мережа забезпечує певний рівень автономності мережі, дозволяючи виконувати набір функцій з мінімальним втручанням людини та адаптуватися до змін у мережі. Визначено три основні функції самоорганізації: самоналаштування SON автоматизує конфігурацію елементів мережі для швидшого розгортання, самооптимізація SON автономно налаштовує параметри для оптимізації продуктивності мережі, а самовідновлення SON завчасно виявляє та усуває несправності мережі, щоб мінімізувати час простою.

3 АСПЕКТИ ПРАКТИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

3GPP визначив набір випадків використання LTE SON і пов'язаних функцій SON. Розробка стандартів SON триває, тож не є вичерпною станом на зараз, і функціональні можливості, пов'язані з SON, продовжуватимуть розширюватися через наступні випуски стандартів, щоб охопити всі ключові аспекти, пов'язані з керуванням мережею, усуненням несправностей і оптимізацією в багаторівневому режимі.

3.1 Узагальнений алгоритм самоорганізації

Алгоритм – це певний набір кроків або інструкцій, які виконуються для розв'язання конкретної задачі або досягнення певної мети. Це може бути послідовність операцій, що виконуються, або навіть інструкції для виконання певної процедури вручну. Алгоритми використовуються в різних сферах, включаючи програмування, математику, науку, інженерію та багато інших галузей.

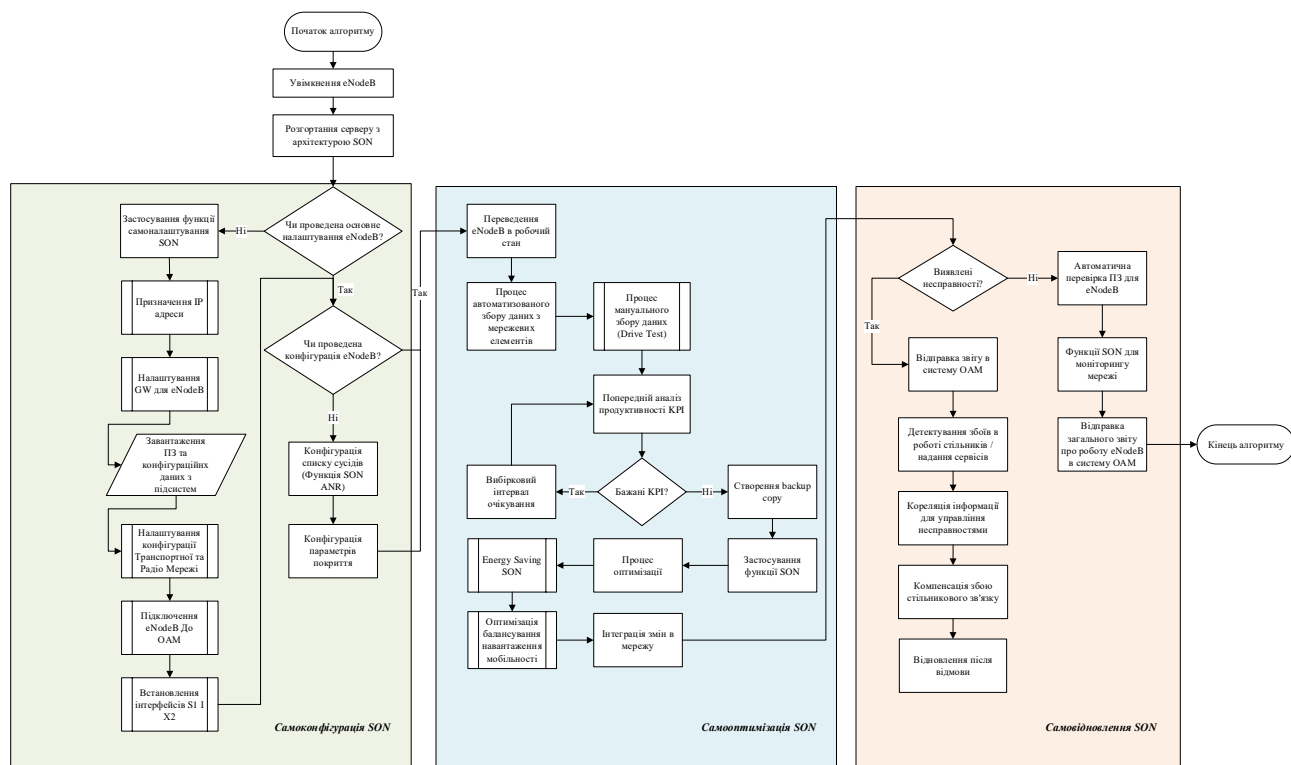


Рисунок 17 – Запропонований алгоритм самоорганізації мобільної мережі

Алгоритм самоорганізації мобільної мережі продемонстрований на рис. 17 і він об'єднує концепції трьох основних функцій SON, описаних в розділі 2: Самоорганізації, Самооптимізації та Самовідновлення. Термінологія самовідновлення була прийнята для охоплення категорій, пов'язаних з керуванням несправностями, виявлення та виправлення/пом'якшення проблем, а також доступність функціональних можливостей, які полегшують безперебійне обслуговування системи. Насправді ж існують випадки, коли функції самовідновлення можуть лише вказати на існування (і, можливо, першопричину) проблеми, але автоматична генерація негайного рішення, який не вимагає втручання користувача, в більшості неможлива.

Блок Самоконфігурації SON включає підготовку, встановлення, аутентифікацію та перевірку кожного нового вузла мережі. Він включає процедури для запуску нового вузла в комерційну експлуатацію, описаних в п. 2.2.1.

Блок Самооптимізації SON використовує вимірювання показників продуктивності, зібраних обладнанням UE і базовими станціями для автоматичного налаштування параметрів мережі. Цей процес виконується в робочому стані, який визначається як стан, коли радіочастотний інтерфейс є комерційно активним (тобто коли стільник не заблокований чи зарезервований).

Блок Самовідновлення SON виконує стандартизовані дії для підтримки роботи мережі, наприклад, оновлення ПЗ, та фіксує виникнення проблем на елементах мережі.

Хоча планування, розгортання, оптимізацію та технічне обслуговування не обов'язково потрібно розглядати як послідовні дії, на рис. 17 представлення за допомогою спрощеного робочого процесу заради ясності викладу.

В наступних пунктах розглянемо, як вищезазначені концепції можуть бути застосовані в мобільній мережі та як можна впливати на продуктивне вирішення проблематики, описаної в першому розділі. Варто зазначити, що на практиці не завжди рішення самоорганізації призводять до очевидних

покращень, тож в теперішній час автоматизація завдяки SON зазвичай знаходиться під спостереженням відповідальних інженерів з оптимізації мережі.

3.2 Зменшення впливу завад

Радіосигнали, що передаються базовими станціями із покриттям, що перекривається, можуть створювати перешкоди один одному та суттєво знижувати продуктивність мережі. На стороні низхідної лінії зв'язку, де мережеві вузли передають дані різноманітним користувачам, очікується, що виникне більше проблем через сильніші перешкоди. Потужність передачі також важливо контролювати, щоб керувати перешкодами в сусідній комірці, а також у цільовій комірці. Тому здається дуже логічним, як звичайна практика для LTE, використовувати меншу потужність передачі поблизу кордону стільника, щоб застосувати перешкоди заходи пом'якшення та зменшення міжстільникових перешкод.

Автоматичне виявлення та керування перешкодами завжди були важливою темою досліджень у галузі самоорганізуючих мереж (SON). Технологія керування перешкодами є дуже важливою функцією самооптимізації, яка включає виявлення та пом'якшення перешкод. Як показано мережевою архітектурою керування перешкодами на рис. 18, на задній частині ядра Evolved Packet Core (EPC) розташований центр керування, який називається сервером SON, який відповідає за централізований збір і контроль параметрів БС і мережі, а також як виконання алгоритмів виявлення перешкод і пом'якшення перешкод [35].

Наявні в літературі методи пом'якшення перешкод можна розділити на централізовані та розподілені схеми. У централізованих схемах макростільник керує фемтостільником і призначає його діапазон частот. Тоді як у розподілених схемах фемтостільник має можливість вибрати свій діапазон частот.

У випадку D-SON функція ICIC (Координація міжстільникових перешкод) SON може захотіти зменшити потужність передачі (TxP) та інші параметри антени, щоб зменшити перешкоди, але водночас функції CCO (оптимізації покриття та ємності) хочуть збільшити TxP, щоб збільшити покриття. Оскільки обидва хочуть змінити ті самі параметри, між ними виникає конфлікт. Коли БС у центрі намагається обслуговувати UE у зоні покриття, збільшення потужності передачі downlink (DL) може створювати перешкоди для сусідніх 2 БС та їхніх UE.

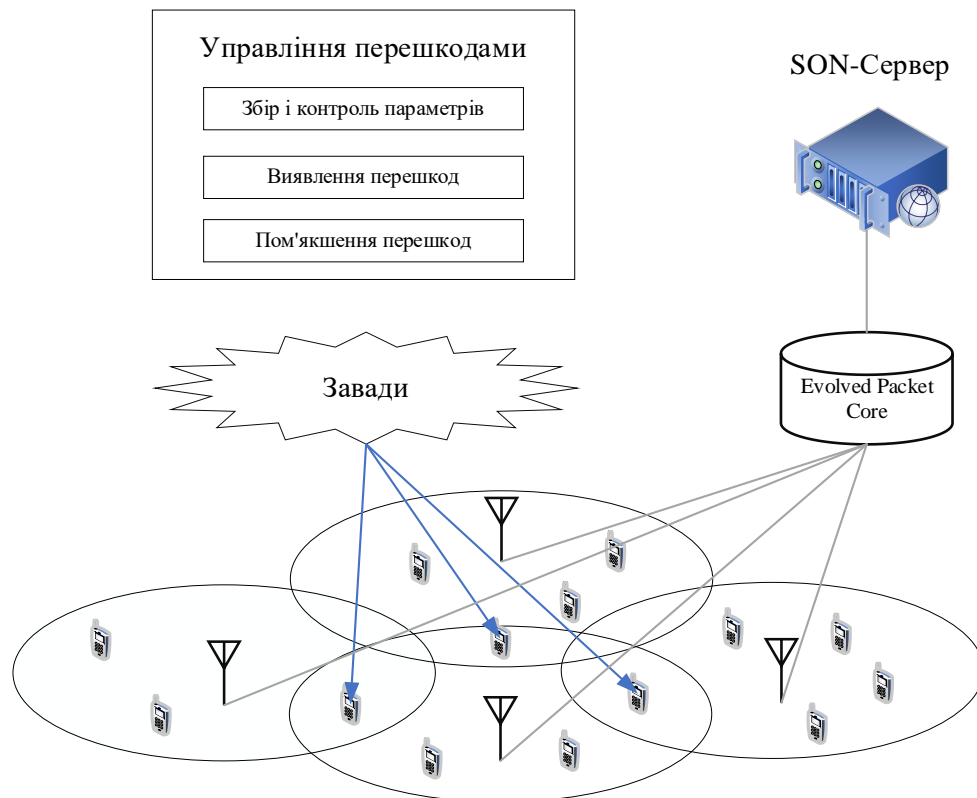


Рисунок 18 – Архітектура мережі управління перешкодами

Координація перешкод між осередками передбачає інтелектуальну координацію фізичних ресурсів між різними сусідніми осередками для зменшення перешкод від однієї осередки до іншої. Кожний стільник відмовляється від використання певного ресурсу скоординованим способом для покращення продуктивності, особливо для користувачів на стику області покриття стільників, на які найбільше впливає інтерференція між стільниками.

ICIC виконується таким чином: Користувачів можна планувати в одиницях блоку фізичних ресурсів PRB, який становить 180 кГц. PRB

складається з 12 послідовних піднесучих тривалістю в один слот (0,5 мс). 5G NR PRB визначає лише частотну область, тобто 1 PRB = 12 піднесучих, з інтервалом між піднесучими на основі порядку нумерації. Сусідні стільники можуть координувати, які частини смуги пропускання використовуються в кожній соті, і потужності передачі через різні блоки частотних ресурсів. Перешкоди між стільниками можна зменшити або уникнути у висхідній і низхідній лініях зв'язку шляхом скоординованого використання доступних ресурсів (PRB) у пов'язаних стільниках, що призводить до покращення SIR і відповідної пропускної здатності. Ця координація реалізується шляхом обмеження та переваги використання ресурсів у різних осередках. Цього можна досягти за допомогою пов'язаних з ICIC механізмів RRM, що використовують сигналізацію наступних стандартизованих показників: Індикатор високого рівня перешкод, Індикатор перевантаження [36].

3.3 Оптимізація покриття та ємності

Ємність і зона покриття стільника можуть змінюватися через змінене середовище, додавання або видалення базових станцій, або їх несправність, а також неправильний вибір параметрів на етапі планування мережі. Не оптимальна ємність і зона покриття призводять до марної витрати ресурсів мережі та зниження якості. Реагувати на ситуацію, що змінилася вручну, дуже дорого і довго. Таким чином, 3GPP представляє сценарій використання оптимізації покриття та пропускної здатності (CCO) для технологій LTE та LTE-Advanced. Наприклад, завдяки SON з'явилися можливості самооптимізації дистанційного електричного нахилу з погляду CCO.

Оптимізація електричного нахилу забезпечує значне покращення покриття та пропускної здатності як для сценаріїв з обмеженим перешкодами, так і для сценаріїв з обмеженим шумом. Використання антен з дистанційним електричним нахилом (RET) усуває потребу в підйомі на вежу та відвідуванні eNB, оскільки кут нахилу можна контролювати через підсистему O&M. Таким чином, віддалений електричний нахил став привабливим засобом погляду

оператора мережі, щоб оптимізувати пропускну здатність і покриття в самоорганізований спосіб.

У більшості випадків зміни площі досягаються нахилом антени, тобто зміною вертикальної діаграми спрямованості. Однак новіша технологія антен дає змогу здійснювати багато складних коригувань схеми покриття на вимогу. Існує співпраця між постачальниками інструментів радіопланування та виробниками антен, у яких коригування формування променя здійснюється на основі даних з інструмента радіопланування. Група стандартів інтерфейсу антени (AISG) визначила стандарти керування нахилом і азимутом. Вони відповідають стандартам 3GPP для антен Remote Electrical Tilt (RET): TS 25.460 - TS 25.463.

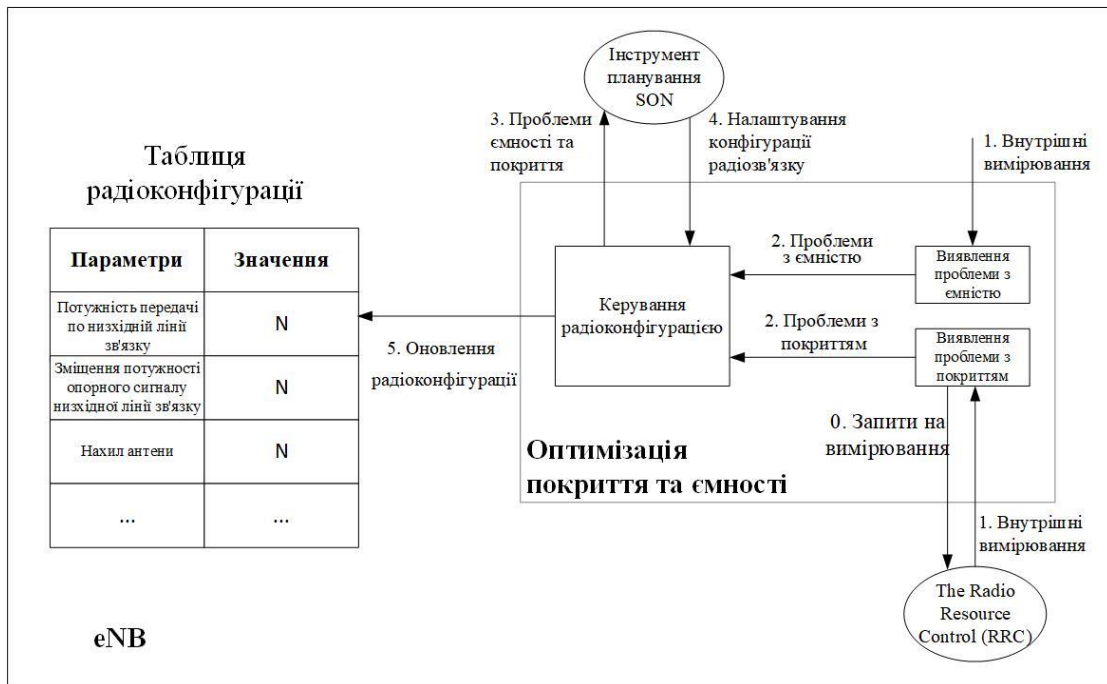


Рисунок 19 – Запропонована архітектура покриття та оптимізації ємності

Справжньою проблемою з використанням налаштування діаграми спрямованості антени для підтримки будь-яких функцій SON є забезпечення наявності контуру керування, який гарантує, що налаштування антени для покращення покриття в одній зоні не погіршує покриття та не створює занадто багато перешкод в іншій зоні. SON має зібрати достатню кількість вимірювань, як показано на рис. 19, для профілювання впливу налаштування діаграми спрямованості антени. Метою SON є зведення усіх компромісів до точки, коли

збій стільника призводить до того, що кожна з навколишніх комірок коригує свої шаблони на величину, попередньо налаштовану для цього конкретного взаємозв'язку сусідів, щоб зменшити створену «дірку» в охопленні.

Згідно з визначенням 3GPP, сценарій використання ССО розуміється як автоматичне планування стільників, у якому алгоритм SON має знайти оптимальну антену та радіочастотні параметри для секторів, які обслуговують певну територію для конкретної ситуації руху. Оптимальний результат має максимізувати пропускну спроможність/ємність мережі при дотриманні певного рівня надійності обслуговування, визначеного оператором [37]. У зоні, де пропонується система LTE, користувачі можуть встановлювати та підтримувати з'єднання з прийнятною або стандартною якістю обслуговування відповідно до вимог оператора. Це означає, що покриття безперервне, і користувачі не знають про межі стільників. Покриття повинно бути забезпечено як у режимі очікування, так і в активному режимі для Uplink та Downlink.

Як правило, збільшення покриття призводить до меншої спектральної ефективності через погіршення потужності сигналу, що призводить до зменшення пропускну здатності. Неможливо оптимізувати охоплення та пропускну здатність одночасно, тому існує потреба збалансувати та керувати компромісом між ними. Функція ССО з самооптимізацією – це безперервний процес, який постійно збирає вимірювання та вживає заходів, якщо це необхідно. Оператор може вказати бажану ціль оптимізації продуктивності та баланс між різними цілями для досягнення компромісів. Вимірювання та звіти з мережі використовуються ССО для оцінки об'єктів, пов'язаних із покриттям і пропускну спроможністю відповідно до цілі, заданої оператором. Мінімізація звітів Drive Test може використовуватися для моніторингу та виявлення проблем з покриттям у мережі.

Коригувальні дії ССО містять зміни параметрів радіозв'язку, таких як нахил антени та параметри керування потужністю UL. Розгортання пікосот (мала базова станція стільникового зв'язку, яка зазвичай забезпечує покриття обмеженої площі, такої як в середині будівлі) або функцій підвищення

покриття/ємності також є коректувальними діями, які ССО може запропонувати для досягнення бажаної мети. ССО не повинен реагувати на продуктивність окремих користувачів, а обчислювати відповідні дії ССО на основі довгострокової статистики.

Для належної оцінки спрацювання екземплярів SON функцій застосовуються відповідні KPI, а саме: RLF (коли UE виходить із зони покриття стільника в зону зі слабким покриттям, з'єднання буде розірвано, а інцидент буде зараховано як збій радіозв'язку), Mbit/s (пропускна здатність на стільнику), Handover Drops (неуспішні передачі, дане вимірювання дає можливість провести оцінку параметрів передачі, що виконуються функцією MRO SON). Проведено 30 раундів застосування алгоритму, кожен раунд, а це 5400 змодельованих секунд, доступні оновлені значення KPI.

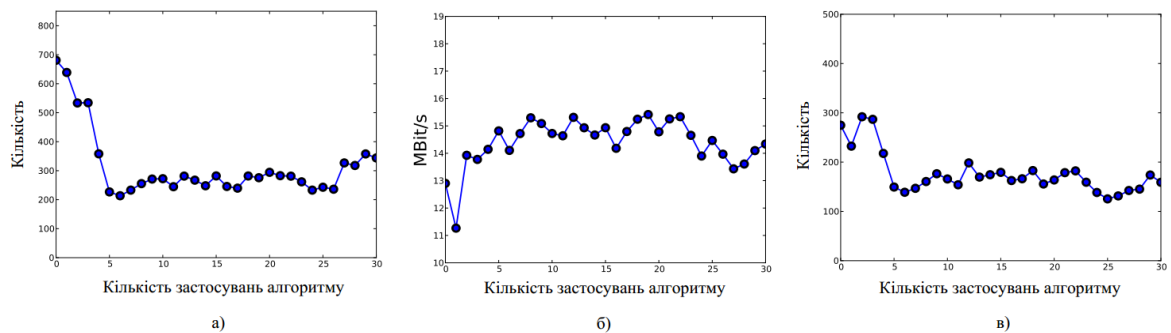


Рисунок 20 – Результати моделювання ССО(RET) а) Середня кількість RLF, б) Середня пропускна здатність, в) Середня кількість Handover Drops

На рис. 20 представлені результати моделювання на тестовій частині мережі, статистичні дані симуляції надані за місцем проходження практики. ССО Екземпляри функції SON запускаються безперервно для всіх стільників. Більшість значних змін нахилу виконується протягом перших десяти раундів. Після десятого раунду зміни нахилу або стабілізуються, або починають коливатися. Особливо осцилюючі реконфігурації вказують на ситуацію, коли частини моніторингу все ще виявляють неоптимальну ситуацію, але частини алгоритму екземплярів SON не можуть обчислити зміни конфігурації, які значно покращують охоплення або пропускну здатність. Це спостереження підтверджується змінами KPI для RLF середнє зменшення інциденту склало

63% після 5 раунду, середньою пропускнуою здатністю в стільниках навколо зони покриття і зменшенням Handover Drops (Handover - процес переходу абонента від однієї базової станції до іншої). Зменшення Handover Drops показує, що функція CCO(RET) SON, хоч і не призначена безпосередньо на оптимізацію НО, вносить свій вплив. Адаптація нахилу антени змінює структуру стільника, особливо область, яка покрита двома сусідніми стільниками. Якість неоптимізованих налаштувань параметрів НО може бути значно кращою після зміни меж стільників.

3.4 Оптимізація балансування навантаження мобільності (MLB)

Звичайне планування мережі передбачає концентрацію навантаження різних базових станцій одночасно. Можливість збалансувати мережеве навантаження для отримання відповідної продуктивності мережі є однією з цілей мережевого планування. Таким чином, вища щільність комірок вводиться в областях, де очікується більший трафік. Навіть при детальному плануванні мережі неможливо врахувати динамічні випадкові зміни навантаження з часом. Більший трафік в офісах у робочий час порівняно з вищим трафіком у житлових районах у вечірній час спричиняє загальну нестачу ресурсів. Динамічне налаштування параметрів мережі вважається поза межами обсяг мережевих операцій. У цьому сценарії балансування навантаження відіграє важливу роль для балансування навантаження між сусідніми осередками та ефективнішого використання ресурсів.

MLB є частиною концепції самоорганізованої мережі, яка була представлена в LTE. Застосовуючи MLB у мережі, мета оптимізації – підвищення продуктивності мережі та зменшення кількості незадоволених користувачів. Передбачається, що це буде досягнуто шляхом зменшення високонавантажених комірок у мережі. Зазвичай MLB відстежує значення навантаження комірок і намагається розподілити трафік високонавантажених клітинок між менш завантаженими сусідніми клітинками в мережі.

Термін балансування мобільного навантаження (MLB) використовується для позначення рівня мережевого стільника(eNB), а не основних об'єктів, таких як MME, шлюзи тощо. Метою MLB є розподіл трафіку користувачів між системними радіоресурсами щоб забезпечити якісний досвід роботи кінцевого користувача та більшу пропускну здатність системи. Це може бути досягнуто за допомогою одного або комбінації алгоритмів, які виконують неактивний або активний баланс користувачів. Ці алгоритми SON для розвантаження трафіку з одного елемента на інший можуть включати ресурси всередині несучої, між несучою або між технологічними ресурсами, за умови наявності інтелектуального програмного забезпечення для забезпечення радіодопуску та безперервності обслуговування на цільовому елементі. Фактична передача користувачів здійснюється шляхом зміни параметрів порогу процесу переходу абонента від однієї базової станції до іншої. Це може вимагати координації з конкурентними алгоритмами SON і стандартизованого обміну повідомленнями з обладнанням різних постачальників для забезпечення надійності та стабільності.

MLB включає звітування про навантаження між eNB для обміну інформацією про рівень навантаження та доступну ємність. Періодичність звітування може бути запрошена в діапазоні від 1 до 10 с. Звіт може містити завантаження апаратного забезпечення, завантаження транспортної мережі S1 і стан радіоресурсу. Звіти про стан радіоресурсу розділені на звіти Uplink і Downlink, включаючи загальний трафік з гарантованою та негарантованою швидкістю передачі даних, відсоток розподіленого блоку фізичних ресурсів (PRB) і відсоток PRB, доступних для балансування навантаження.

MLB може бути бажаним для формування навантаження системи відповідно до політики оператора або для «розвантаження» користувачів від одного стільника або для досягнення економії енергії. Автоматизація цього зводить до мінімуму втручання людини в завдання керування мережею та оптимізації.

3.4.1 Режими роботи в MLB і моделювання оптимізації

MLB можна розділити на режими роботи, які пропонують різні рішення для подолання проблеми перевантаження в конкретній комірці. Залежно від стану UE, доступні різні режими роботи.

Стан IDLE називається неактивним, оскільки в цьому стані користувач не використовує UE для зв'язку. У режимі IDLE UE невідомий eNodeB, але відомий мережі та може спілкуватися з мережею, коли помічає будь-який вхідний виклик і має IP-адресу. У цьому режимі керування мобільністю здійснюється UE шляхом вибору стільника та повторного вибору щоразу, коли потрібна передача або доступне краще з'єднання. В режимі IDLE основна мета полягає в тому, щоб запобігти погіршенню ситуації перевантаження шляхом коригування конкретних параметрів стільника, які впливають на рішення UE щодо розміщення в процедурах вибору/повторного вибору стільника шляхом зміщення, встановлення пріоритетів або обмеження доступу до певних RAT (Radio Access Technology). Зазвичай UE намагається під'єднатися до стільника, де він розміщується, щоразу, коли вона переходить у режим підключення. Таким чином, дозволяє оптимізувати рішення щодо підключення до оптимального стільника залежно від стану мережі.

Перенаправлення під час з'єднання, також відоме як керування трафіком, є ще одним методом попередження, який впливає на процедуру встановлення з'єднання через відхилення та перенаправлення трафіку на інший рівень/RAT. Він також може розвантажити трафік на осередки з меншою потужністю через недоступність ресурсів або під час балансування навантаження в сценаріях перевантаження. Це також запобігає жорстким передачам і зменшує кількість сигналів, необхідних для балансування навантаження.

У підключеному режимі MLB досягає ситуації збалансованого навантаження, переміщуючи UE від краю стільника до менш перевантажених стільників. Це впливає на процедури хендоверу через зміщення зсуву для конкретного стільника та примусову передачу. Тут час сигналізації та налаштування збільшено. Перевага активного балансування навантаження

полягає в тому, що система має механізм прямого вимірювання та інформації вимог кожного користувача щодо трафіку та умов радіозв'язку перед тим, як прийняти рішення про балансування навантаження. Таким чином, у поєднанні з планувальником та інтерфейсами до інших базових станцій (інтерфейс X2 для внутрішнього LTE) можна приймати точні рішення для НО (handover) на основі навантаження [38].

Нині такі функції антени, як RET (дистанційний електричний нахил), RAS (дистанційне керування азимутом) і RAB (дистанційне керування азимутальною шириною променя), дозволяють операторам контролювати зону покриття сайту. Ці функції можна поєднувати з алгоритмами балансування навантаження SON для динамічної оптимізації продуктивності мережі.

Моделювання оптимізації балансування навантаження проводилось на тестовій частині мережі LTE, статистичні дані симуляції надані за місцем проходження практики. Дані сценарію включають таку інформацію, як конфігурація мережі та дані про мобільність. Досліджувана мережа охоплює 19 базових станцій з трьома секторами і 57 стільниками.

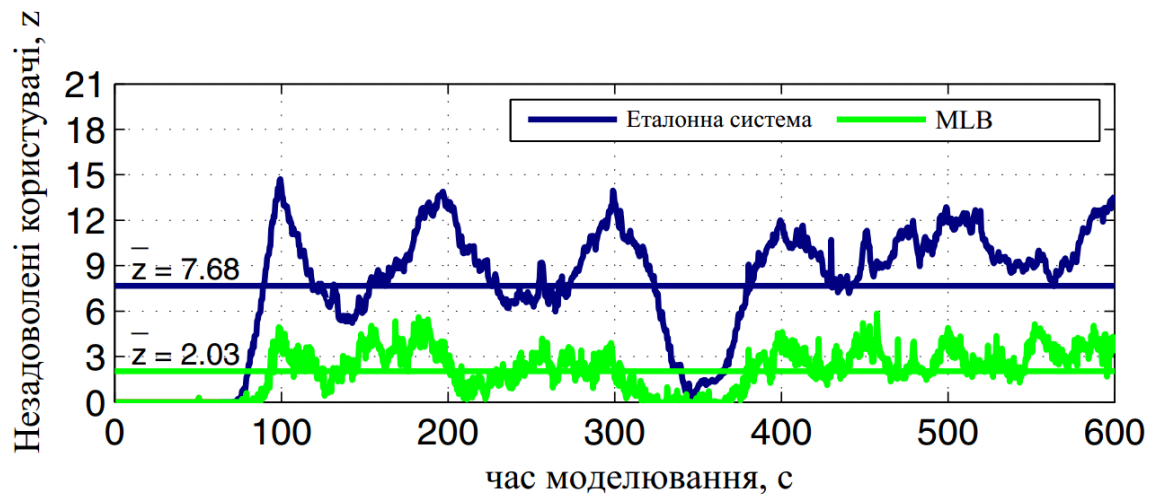


Рисунок 21 – Продуктивність балансування навантаження з часом

На рис. 21 зображено часову шкалу z-метрики для кожного сценарію моделювання з еталонною системою (синя крива) проти балансування навантаження (зелена крива). Робоча точка, в обох сценаріях, становить 5 користувачів на комірку у фоновому режимі (рівномірно віддалені) і 40

користувачів, відкинутих у точці доступу. Продуктивність балансування навантаження, як і очікувалося, залежить від позиції точки доступу та позицій користувачів у цій точці доступу. Усереднена метрика незадоволених користувачів з зображена горизонтальною лінією. Кількість незадоволених користувачів у модульованому сценарії протягом певного часу позначає тих користувачів, які не досягли Downlink = 300 Кбіт/с. Локальні переваги можуть бути досягнуті в особливих ситуаціях, коли концентрація трафіку створює високе навантаження на комірку, з одного боку, і досить близька до менш завантаженого сусіднього стільника.

Крім того, балансування навантаження може стикатися з Mobility Robustness Optimisation - Оптимізація надійності мобільності.

3.5 Надійна оптимізація мобільності (MRO)

Mobility Robustness Optimization, оптимізація надійності мобільності (MRO) охоплює автоматизовану оптимізацію параметрів, що впливають на передачу активного режиму та режиму очікування, щоб забезпечити хорошу якість і продуктивність для кінцевого користувача, враховуючи при цьому можливі конкурентні взаємодії з іншими функціями SON, такими як автоматичний зв'язок із сусідами та балансування навантаження.

Метою MRO є динамічне покращення продуктивності мережі НО («Handovers»), щоб забезпечити покращений досвід роботи кінцевого користувача, а також збільшити пропускну здатність мережі. Це робиться шляхом автоматичної адаптації параметрів стільника для коригування меж НО на основі зворотного зв'язку показників ефективності. Як правило, метою є усунення збоїв радіолінії та зменшення непотрібних передач. Автоматизація MRO зводить до мінімуму втручання людини в управління мережею та завдання оптимізації.

Обсяг оптимізації надійності мобільності, припускає добре спроектовану мережу з перекриттям радіочастотного покриття сусідніх сайтів. Оптимізація параметрів передачі системними операторами зазвичай передбачає

цілеспрямоване тестування, збір детальних системних даних і кінцеву обробку, або комбінацію цих ручних та інтенсивних завдань. Неправильні налаштування параметрів HO можуть негативно вплинути на взаємодію з користувачем і витратити ресурси мережі, спричиняючи HO «ping-pongs» (часте перемикання між парою стільників, виникає внаслідок частого переміщення мобільних одиниць між парою клітин або високих коливань сигналу на спільній межі пари клітин), збої HO та збої радіозв'язку Radio Link Failures (RLF). У той час як збої HO, які не призводять до RLF, часто можна відновити та невидимі для користувача, RLF, спричинені неправильними налаштуваннями параметрів HO, спільно впливають на роботу користувача та мережеві ресурси. Таким чином, основною метою оптимізації стійкості мобільності має бути зменшення кількості відмов радіолінії, пов'язаних з HO. Крім того, неоптимальна конфігурація параметрів HO може призвести до погіршення продуктивності служби, навіть якщо це не призводить до RLF. Одним із прикладів є неправильне налаштування гістерезису HO, що може призвести до HO «ping-pongs» або надмірно затриманих передач до цільового стільника. Тому другорядною метою MRO є зменшення неефективного використання мережевих ресурсів через непотрібні або пропущені передачі [39].

Моделювання виконувалось з окремою функцією SON - екземплярів функції MRO SON-Function. Метою було визначення кількості застосувань алгоритму для оптимізації налаштувань параметра HO між стільниками. Важливо зазначити, що функція MRO не впливає на зону покриття стільника, і тому не очікувалось зменшення RLF або збільшення пропускної здатності. Зміни KPI, показані на рис. 22, є результатом варіацій базових моделей трафіку.

MRO оптимізує три окремі параметри HO: максимальне зміщення при передачі, мінімальне зміщення при передачі та зсув при передачі. Екземпляри MRO SON-Функції виконують оптимізацію для пар комірок, однак через велику кількість пар комірок і необхідні окремі графіки для параметрів не надається чітка цифра змін параметрів передачі, замість цього використовуються відповідні KPI.

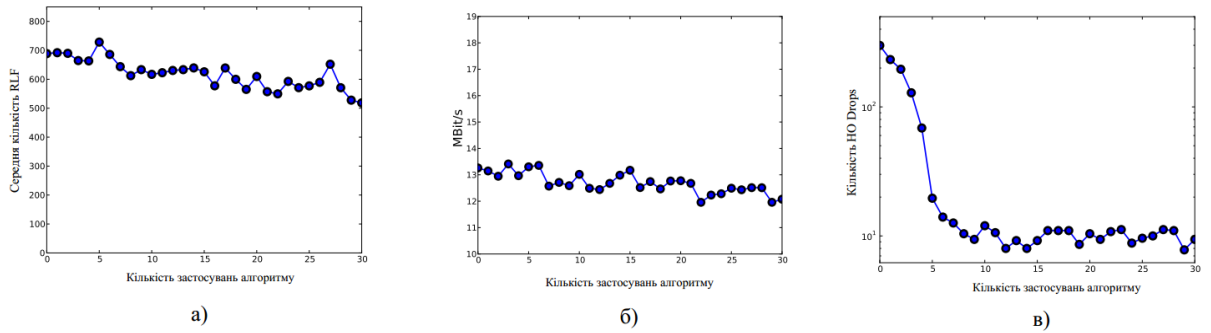


Рисунок 22 – Результати моделювання MRO: а) Середня кількість RLF, б) Середня пропускна здатність, в) Середня кількість Handover Drops

Вказані результати вказують на значне зменшення кількості збоїв процес переходу абонентського терміналу від однієї базової станції до іншої (Handover Drops) після застосування алгоритму понад 5 разів, далі Екземпляри MRO SON-Function намагаються усунути мінімальну кількість Handover Drops, але не досягають своїх цілей.

3.6 Енергозбереження

Крім показників, пов'язаних виключно з продуктивністю послуг, сучасні телекомунікаційні підприємства стикаються з дедалі більшим і безпрецедентним тиском з боку всіх залучених зацікавлених сторін, щоб прийняти продукти та парадигми роботи, які є екологічно чистими, а всі аспекти, пов'язані з екологічними рішеннями, отримують все більшу увагу при розробці стратегії бездротових операторів, постачальників мережевої інфраструктури тощо.

Енергоощадження – це варіант використання SON, який стосується витрат на енергію. Його базовий рівень полягає в тому, що витрати на енергію можна зменшити шляхом відповідності пропускної здатності мережі – якомога ближче до реального попиту на трафік у будь-який момент. SON здебільшого пов'язаний з LTE, але він також є загальною структурою, застосовною до інших мереж доступу, і вважається основною частиною мобільних мереж. Існує також потреба в оптимізованій системі управління мережею (NMS), яка буде розміщувати та запроваджувати механізми та алгоритми SON, у тому числі пов'язані з енергозбереженням [40].

Основна передумова сценарію використання енергозбереження 3GPP полягає в тому, що витрати на енергію можуть бути зменшені, якщо пропускна здатність, яку пропонує мережа, відповідає попиту на трафік у будь-якій комбінації «час/місце». Основним механізми для збереження енергії є вмикання/вимкнення стільника, адаптація потужності передачі низхідної лінії зв'язку (DL) і схеми антен із багатьма входами та кількома виходами (MIMO). Прикладом політики може бути вимкнення стільникового живлення о 02:00 і його повторне ввімкнення о 06:00. Отже, у розподіленій архітектурі алгоритми SON знаходяться в межах eNB, а рішення ґрунтуються на інформації від інших eNB, отриманій через інтерфейс X2, і вимірюваннях UE, отриманих на eNB.

3.6.1 Вимкнення стільників

Незважаючи на те, що зміни активності увімкнення/вимкнення BS вводять новий масштаб динамічності для мережі та UE, ці зміни не повинні призводити до погіршення QoS або неефективності мережі. Такі механізми сприяють збільшенню накладних витрат на сигналізацію, що потенційно може поставити під загрозу стабільність мережі; таким чином, необхідно розглянути належну обробку таких подій у мережі. Існує кілька способів включити різні підходи до налаштування та алгоритми того, як ці механізми можуть бути розгорнуті з іншими механізмами SON. Зрозуміло, що телекомунікаційна галузь починає все серйозніше розглядати питання енергоефективності та вживає заходів для зменшення впливу високого енергоспоживання, наприклад використання відновлюваних джерел енергії.

Іншою проблемою є перехід між технологіями, який перешкоджає інвестуванню зусиль з енергозбереження, з одного боку, у технології, які незабаром будуть відключені (3G перед 2G), а з іншого боку, у нові технології (5G), на яких зараз зосереджено увагу розгортання та впровадження на ринок. Зараз існує до чотирьох поколінь технологій, які споживають енергію; навіть якщо деякі з них незабаром будуть відключені, скоротити споживання можна вже сьогодні.

У випадку централізованої архітектури, увімкнення/вимкнення стільників виконується централізованою системою OAM на основі інформації RAN, такої як інформація про навантаження. Алгоритми енергозбереження знаходяться на EMS або окремому сервері керування мережею SON (NMS), який керує активністю eNB, потужністю передачі та вибором антени MIMO. Періодично або за потреби деякі конкретні параметри та сигнальна інформація передаються на eNB як вихідні дані алгоритмів енергозбереження SON. Такий централізований підхід дозволяє більш керовано реалізувати алгоритми SON, що є основною перевагою такого підходу. Недолік такого підходу можна знайти у вищій затримці, оскільки ключові показники ефективності та інформацію про вимірювання UE необхідно пересилати в централізоване розташування для обробки. Крім того, централізований сервер SON представляє єдину точку відмови, і збій у централізованій NMS може призвести до втрати параметрів або використання застарілих параметрів у eNB.

Алгоритм, який буде проаналізовано, розроблено за допомогою MATLAB. Він включений у проект «MONSTeR», як показано на рис. 23, масштабовану модульну структуру моделювання та моделювання для мобільних мереж.

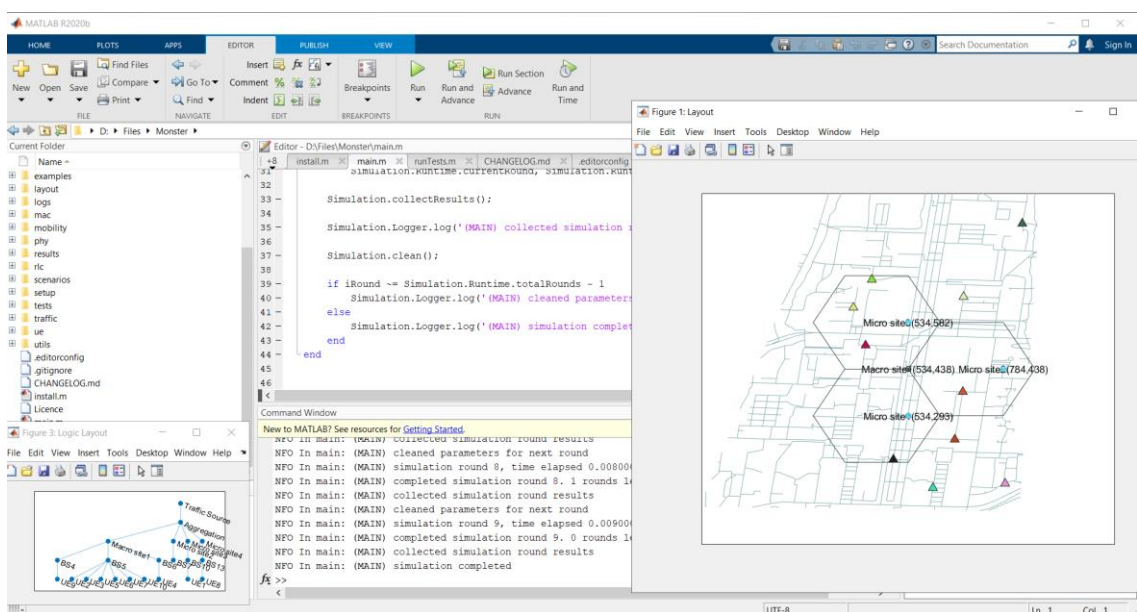


Рисунок 23 – Моделювання у фреймворку MONSTeR Matlab

Ключовим фактором для налаштування сценарію є інструментарій системи LTE від MATLAB, який забезпечує обробку сигналів нижнього рівня та моделювання каналів для системи зв'язку. Вищі рівні та мережеві компоненти були розроблені командою MONSTeR. Сценарій для кожної симуляції можна змінювати, оскільки він містить велику кількість функцій для моделювання всіх типів ситуацій. Це дозволяє отримати результати, наближені до реальності [41].

Сценарій моделювання, як показано на рис. 24, складається з 18 eNB, кожна з яких має 3 стільники, сумарно 54 стільники. Сценарій симуляції відповідає розгортанню в реальному щільному міському районі, площею 2 км x 2 км. Відстань між позиціями eNB становить 250 м.

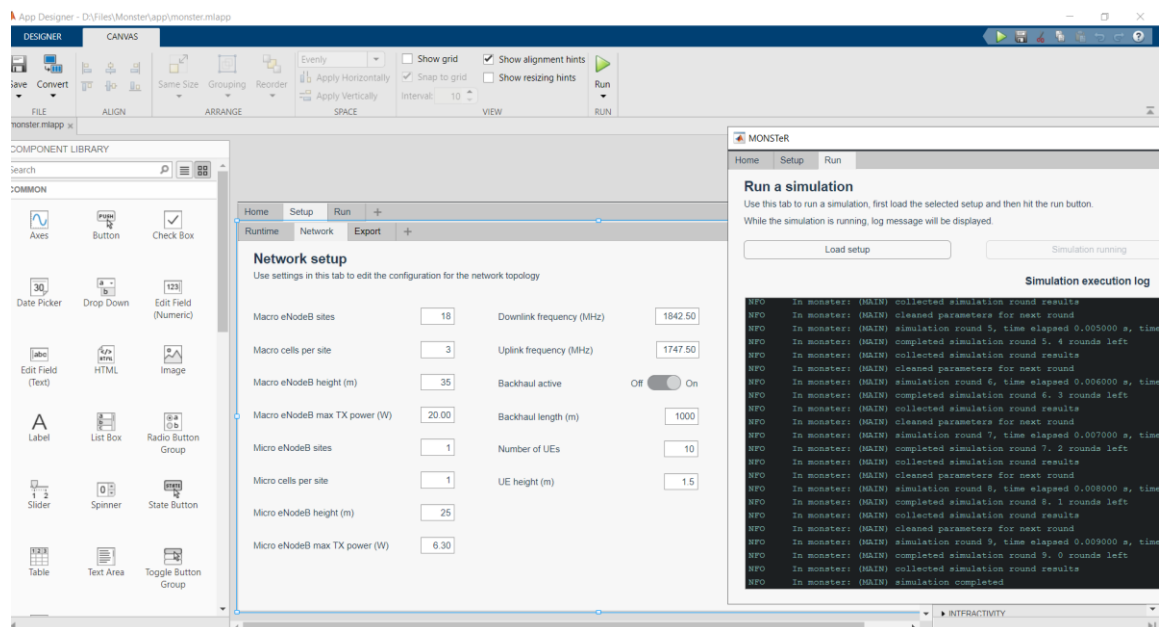


Рисунок 24 – Налаштування та виконання алгоритму

Було змодельовано ефект від'єднання 1, 2 або 3 стільників від одного eNB. Ці стільники були обрані серед тих, що мають максимальне перекриття, за критерієм відсутності розривів у покритті. Відключення стільників не тягне за собою дуже значного погіршення розподілу SINR, проте коли потужність зменшується, розподіл SINR погіршується на краях розгортання, проявляючись деяким погіршенням зони покриття. Це пов'язане з тим, що вимкнення стільників зменшує рівень сигналу в зоні їх покриття, але також зменшує рівень

перешкод у сусідніх стільниках. Але менше стільників означає меншу ємність, або, іншими словами, LTE може підтримувати менший трафік.

Обмеження пропускної здатності визначається швидкістю передачі даних стільника, яку може забезпечити eNB, пов'язане з кількістю транспортних блоків фізичних радіоресурсів (PRB), які можна запропонувати терміналам у висхідних і низхідних лініях зв'язку.

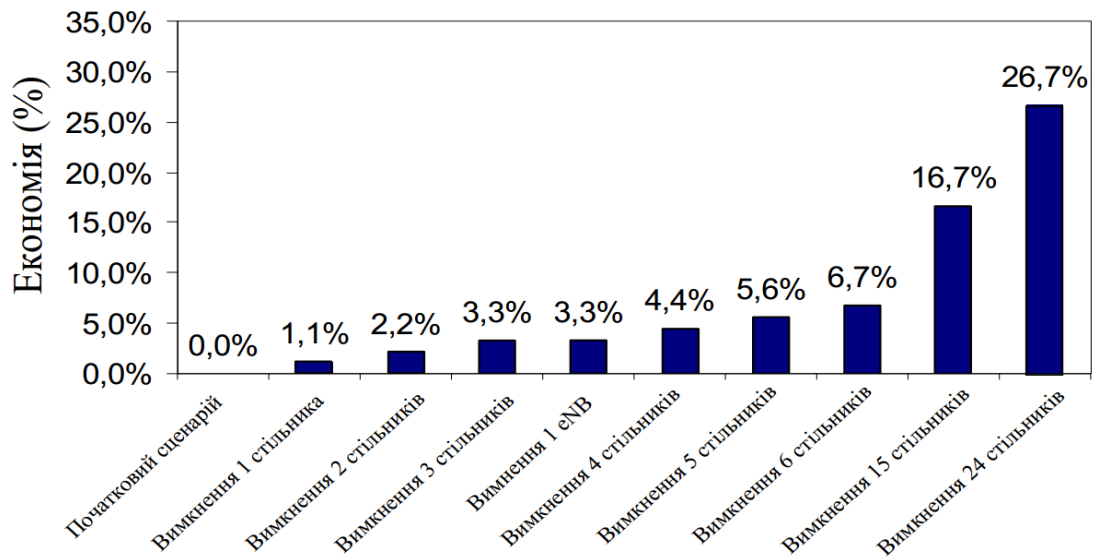


Рисунок 25 – Економія енергії в залежності від кількості eNB у режимі очікування

На рис. 25 показана виміряна економія енергії, яка може бути отримана шляхом зменшення трафіку (вимкнення стільників), який повинна підтримувати мобільна мережа. Цей варіант можливо застосовувати в розгортаннях з високою пропускною здатністю, як у випадку міських центрів з високою щільністю населення, в яких розгортання виконується для задоволення високої щільності трафіку на одиницю поверхні, вимагаючи великої кількості eNB для надання послуг великій кількості терміналів, які на практиці eNB мають розширені зони перекриття з сусідніми eNB. Ця надлишкова пропускна здатність не використовується, коли трафік менший (наприклад, вночі та у вихідні).

У випадку селективного відключення стільників передбачається, що в роз'єднаних стільниках вимкнено лише радіопередавач і приймач, залишаючи активними інші елементи (обробка сигналу, вентилятори, джерело живлення і

т.п), зберігаючи зв'язок із Ядром мережі (CN). Мета полягає в тому, щоб сприяти швидкому відновленню радіокомунікаційної частини eNB без необхідності виконувати процес самоконфігурації, який складається з повторного підключення до мережі ядра, встановлення зв'язку з сусідніми осередками тощо, а також уникання, у процесі вимкнення, можливих проблем через припинення викликів, тривоги через збій eNB тощо. Вимикання стільника можна застосовувати лише до розгортань обмеженої пропускної здатності, із перекриттям стільників і завжди підтримуючи крайові стільники активними (але з невеликим перекриттям).

3.7 Висновки за розділом

Застосування окремих функцій SON в розробленому алгоритмі самоорганізації мобільної мережі показали здатність до вирішення проблематики впливу на бездротовий зв'язок при оптимізації балансування навантаження мобільності (MLB SON), надійної оптимізації мобільності (MRO-SON) та енергозбереження.

ВИСНОВКИ

В роботі показана актуальність застосування концепцій самоорганізованих мереж SON, вважаючи на стрімке збільшенням трафіку даних більш як на 30% щороку та неоднорідність сучасних мереж мобільного зв'язку. Вказано, що Self-Organizing Networks є перспективним напрямком та дозволяє суттєво покращити мережу та зменшити труднощі ручного налаштування.

На основі ключових концепцій самоорганізованих мереж SON та їх функцій сформовано алгоритм самоорганізації мобільної мережі, який включає блоки самоконфігурації, самовідновлення, самооптимізації та їх відповідні функції.

Проведені дослідження показали, що при оптимізації балансування навантаження мобільності загальне зменшення кількості терміналів, які не змогли досягти Downlink = 300 Кбіт/с, склало 73,6% у порівнянні з системою без SON-MLB, що означає зменшення кількості абонентських терміналів з меншою швидкістю передачі даних.

Включені в алгоритм самоорганізації функції SON для вимкнення стільників у нічні години малого навантаження показали економію енергії від 16,7% до 26,7% при вимкненні відповідно 15 і 25 стільників із 54.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. IMT-Advanced standards announced for next-generation mobile technology [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2012/02.aspx
2. Ericsson Mobility Report November 2023 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/november-2023>
3. Системи рухомого зв'язку. Навчальний посібник / О. О. Семенова, А. О. Семенов, В. С. Белов. – Вінниця: ВНТУ, 2017. – 185 с.
4. Huawei takes 5.5G to the world with GigaGreen innovations [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.mobileworldlive.com/huawei-takes-5-5g-to-the-world-with-gigagreen-innovations/>
5. LTE 4G & 5G Radio Access Network (RAN) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cablefree.net/wirelesstechnology/4glte/lte-4g-5g-radio-access-network-ran>
6. Typical 4G site Vs Typical 5G site with 5G frequency in C-band [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.linkedin.com/posts/mohamed-idrissi-5g_4g-5g-antenna-activity
7. Huawei AAU Introduction [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/huawei-aaui-introduction>
8. Теорія систем мобільних інфокомунікацій. Системна архітектура / С. О. Кравчук [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/53198>
9. 3GPP TR 25.912 «Feasibility study for evolved Universal Terrestrial Radio Access (UTRA) and Universal Terrestrial Radio Access Network (UTRAN)» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.3gpp.org/DynaReport/25912.htm>

10. LTE Architecture Concepts [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://yatebts.com/documentation/concepts/lte-concepts/>
11. The challenges, opportunities and setting the framework for 5G EMF and Health [Электронный ресурс] – <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/20171205>
12. 5G System Overview [Электронный ресурс] – <https://www.3gpp.org/technologies/5g-system-overview>
13. Samsung Shares Massive MIMO Roadmap in New Whitepaper [Электронный ресурс] – <https://news.samsung.com/us/5G-massive-mimo-roadmap-whitepaper>
14. Nomor Research (2011) “Inter-cell interference coordination for LTE-A” [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.slideshare.net/eikoseidel/2011-09-white-paper-ltea-hetnet-icic>
15. HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD. “Intra-RAT Mobility Load Balancing Feature Parameter Description” [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://toaz.info/doc-view-3>
16. Marsan, M Ajmone and Chiaraviglio, Luca and Ciullo, Delia and Meo, Michela, “Optimal Energy Savings in Cellular Access Networks,” in Proc. of IEEE ICC Workshops, 2009, ст. 1–5. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/251178389_Optimal_Energy_Savings_in_Cellular_Access_Networks
17. Usman Rauf Kamboh, Qinghai Yang, Meng Qin «Impact of Self-Organizing Networks Deployment on Wireless Service Provider Businesses in China» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=76544>
18. Telecommunication management; Self-Organizing Networks (SON); Concepts and requirements 3GPP TS 32.500 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

<https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2031>

19. «Wireless Self-Organizing Network Vendors Software Market: Competitive Analysis, Market Trends and Forecast to 2031» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.linkedin.com/pulse/wireless-self-organizing-network-vendors-software-market-se40f/>

20. «Self-Organizing Network Market Report by Offering» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.imarcgroup.com/self-organizing-network-market>

21. «lifecell Ukraine selects P.I. Works Performance Management for End to End Network Quality Assurance» [Электронный ресурс] – <https://piworks-webapp.azurewebsites.net/insight/news/121/lifecell--ukrainian-subsiary-of-turkcell--selects-pi-works-performance-management-for-end-to-end-network-quality-assurance>

22. «Automate network configuration and performance optimization with the self-organizing network (son) solution» [Электронный ресурс] – <https://www.innovile.com/products/self-organizing-network/>

23. 3GPP TS 36.300 v. 8.8.0, «Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), Overall Description, Stage 2, Release 8,» 2009. [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2430>

24. H. Sanneck, C. Schmelz, E. Troch, and L. De Bie. Auto-connectivity and security setup for access network elements. In IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://pdfs.semanticscholar.org/4ed6/12b65ca700487b8a8f95e16c9b5a2cc690ec.pdf>

25. Tobias Bandh «Coordination of autonomic function execution in Self-Organizing Networks» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.net.in.tum.de/fileadmin/TUM/NET/NET-2013-04-1.pdf>
26. Self-Configuration in LTE Self Organizing Networks [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=06c81a7fb3e075fdb2310bfdbbfa5deae1de74d1>
27. NEC «Corporation, Self Organizing Network: NEC’s proposal for next-generation radio network management» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.3g4g.co.uk/SON/SON_0902_0902_NEC_Whitepaper.pdf
28. Oliver Scheit «Self-Healing in Self-Organizing Networks» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.net.in.tum.de/fileadmin/TUM/NET/NET-2014-08-1/NET-2014-08-1_22.pdf
29. «Self Organizing Networks for 3GPP LTE»[Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.researchgate.net/publication/265396322_Self_Organizing_Networks_for_3GPP_LTE
30. «A Tale of Two SONs: Unraveling D-SON and C-SON» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.pipelinepub.com/cloud_and_network_virtualization/SON_D-Son_and_C-Son/2
31. 3GPP SON Series: An Introduction to Self-Organizing Networks (SON) [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.3g4g.co.uk/SON/SON_VideoSeries_01_Introduction.html
32. «5G SON | Automatic Neighbor Relations | ANR» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.techplayon.com/automatic-neighbour-relation-anr-5g/>
33. «LTE SON Enhancing Operation Efficiency and Effectiveness» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу:

https://www.academia.edu/6603330/LTE_SON_Enhancing_Operation_Efficiency_and_Effectiveness/

34. «3GPP TS 28.313 – Self-Organizing Networks (SON) for 5G networks version 16.0.0» [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/128300_128399/128313/16.00.00_60/ts_128313v160000p.pdf

35. 3GPP TS 28.627, “Telecommunication management; Self Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP);Requirements, (Release 13),” 2015.

36. «Self-Optimizing Networks-Benefits of SON in LTE» [Электронный ресурс] – https://www.3g4g.co.uk/SON/SON_1107_4GAmericas_Whitepaper.pdf

37. «Specification #: 36.902 Self-configuring and self-optimizing network (SON) use cases and solutions» [Электронный ресурс] – <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=2581>

38. «Mobility Load Balancing Optimization» [Электронный ресурс] – <https://lte-son.blogspot.com/2018/10/mobility-load-balancing-optimization.html>

39. «Heterogeneous Networks in LTE-Advanced» [Электронный ресурс] – <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118693964>

40. «Mobility Robustness Optimization to avoid Handover failures» [Электронный ресурс] – <https://blog.3g4g.co.uk/2011/07/mobility-robustness-optimization-to.html>

41. «MONSTeR is a framework built around the LTE system toolbox available in Matlab» [Электронный ресурс] – https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/73918-monster?s_tid=srchtitle