

ВСЕУКРАЇНСЬКА ПРОГРАМА ПІДТРИМКИ СТУДЕНТІВ
“Професіонали майбутнього”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ПРОФІЛЬНИХ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ
за напрямом “ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ”



ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ЗВІТ

про виконання проекту на тему
**«Еволюція мережі оператора мобільного зв'язку (GSM, CDMA, UMTS)
до мережі четвертого покоління на базі технології LTE»**

Узгоджено:

декан факультету

комп'ютерних інформаційних

технологій та автоматики ДонНТУ

О.В. Хорхордін

Виконавці проекту:

Студенти IV курсу напрямку підготовки «Телекомунікації» спеціальності «Телекомунікаційні системи та мережі»:

Шахов Дмитро;

Кнерцер Денис;

Чирков Олексій;

Борисенкова Ольга;

Орехов Олексій.

Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри «Автоматика і телекомунікації» (АТ) Дегтяренко Ілля Вячеславович.

Консультанти:

д.т.н., професор кафедри АТ Воронцов Олександр Григорович;

к.т.н., доцент, завідувач кафедри АТ Бессараб Володимир Іванович.

Виконавці проекту висловлюють подяку керівництву та співробітникам східного територіального управління «МТС Україна» за підтримку проекту та надання деяких реальних даних для роботи над завданням.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 НОВИЗНА ПРОЕКТУ.....	5
2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	5
3 ОПИС ПРОЕКТУ	6
3.1 Цільова аудиторія послуг передачі даних через мережу LTE	6
3.2 Використання ресурсів існуючих мереж при створенні мережі четвертого покоління	7
3.2.1 Використання ресурсів мережі GSM.....	7
3.2.2 Використання ресурсів мережі CDMA.....	7
3.2.3 Використання ресурсів мережі UMTS	8
3.3 Концепція SON як засіб раціонального використання ресурсів мережі LTE.....	8
3.4 Математичні основи моделювання роботи мережі LTE з використанням SON	10
3.5 Опис розробленої моделі	11
4 ПОТРЕБИ ФІНАНСОВИХ ВИТРАТ.....	15
РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ	15
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	16

ВСТУП

Сьогодні ринок телекомунікаційних послуг стрімко розвивається. Оператори мобільного зв'язку мають пильно слідкувати за змінюваними тенденціями ринку та своєчасно реагувати на них для того, щоб зберегти свої позиції та отримати прибуток в умовах жорсткої конкуренції.

При цьому можна окреслити деякі проблеми, які є актуальними для оператора мобільного зв'язку:

- висока насиченість ринку голосових послуг призводить до зниження прибутку оператора через конкуренцію, що обумовлює необхідність впровадження нових послуг передачі даних;
- надання абонентам мультимедійних послуг на базі IP-технології потребує високої пропускної здатності каналів «останньої милі»;
- технології 2G та 3G не забезпечують високої частотної ефективності, що є серйозною проблемою на шляху забезпечення високої якості послуг.

Вищеназвані проблеми можуть бути вирішені шляхом впровадження послуг широкосмугової передачі даних на базі технологій 4G, зокрема технології LTE. Такий крок дасть змогу охопити широкі маси населення послугами мобільного Інтернету та збільшити прибутки оператора.

Однак при розгортанні мережі четвертого покоління у теперішніх умовах виникають деякі труднощі. Перш за все, необхідно винайти досить широкий вільний частотний діапазон. Крім того, зростання трафіка даних призведе до того, що до кожної базової станції (БС) треба буде підводити широкий канал транспортної мережі. Встановлення нового обладнання та його узгодження із існуючою інфраструктурою потребуватиме значних витрат. Таким чином, логічною є еволюція існуючої мережі оператора до мережі 4G (LTE).

Підсумовуючи вищевказане, можна сформулювати **мету** проекту: підвищення показників економічної ефективності роботи мережі LTE при забезпеченні заданої якості обслуговування абонентів за рахунок оптимального використання обмежених частотних та технічних ресурсів оператора.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **задачі**:

- 1) провести аналіз цільової аудиторії мережі LTE та ринку послуг мобільного зв'язку;

- 2) провести аналіз існуючих мереж другого та третього покоління щодо виявлення проблем їх еволюції до мереж 4G;
- 3) розробити концепцію впровадження технології LTE на основі існуючих ресурсів оператора;
- 4) впровадження нових технологій, що дозволять підвищити якість надання послуг за рахунок більш ефективного використання ресурсів мережі;
- 5) розробити критерій ефективності використання ресурсів оператора;
- 6) розробити математичну та програмну модель динамічного перерозподілу ресурсів мережі при нерівномірному розподілі навантаження по території, яка обслуговується;
- 7) провести дослідження цієї моделі та розробити рекомендації щодо технічних рішень при впровадженні технології LTE.

1 НОВИЗНА ПРОЕКТУ

- запропоновано критерій, що відображає ефективність використання ресурсів оператора;
- обґрунтовано можливість побудови LTE мережі з використанням концепції мереж, що самоорганізуються (SON);
- розроблено математичну модель мережі, що самоорганізується, з використанням алгоритму оптимізації „мурашиними колоніями” (ACO);
- розроблено цифрову модель, яка дозволяє здійснювати оптимальний перерозподіл ресурсів мережі LTE на основі запропонованого критерію та математичної моделі;
- надано рекомендації щодо технічних рішень при еволюції існуючої мережі оператора до мережі четвертого покоління (LTE).

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для розв’язання поставлених задач використовувалися методи теорії телетрафіка, методи математичного моделювання, методи теорії систем, що самоорганізуються, методи оптимізації „мурашиними колоніями” та методи електродинаміки.

3 ОПИС ПРОЕКТУ

3.1 Цільова аудиторія послуг передачі даних через мережу LTE

В наш час послуги широкосмугової передачі даних набувають усе більшої популярності. Доля обсягу пакетних даних у мережах мобільного зв'язку швидко зростає (див. рисунок 3.1), адже мобільний широкосмуговий доступ до мережі Інтернет стає все більш затребуваним. За таких умов оператор має орієнтуватися на нову цільову аудиторію, яка є користувачем таких послуг.

Було виділено три типи потенційних абонентів мережі LTE відповідно до вимог, які вони ставлять перед оператором:

- **«ділова людина»** - абонент, який не потребує широкої смуги пропускання. Найважливішим сервісом для нього залишається голосовий зв'язок. Також важливими є захищеність каналу передачі даних та висока стабільність з'єднання. Абоненти цього типу мають найвищий пріоритет в обслуговуванні.
- **«домашній користувач»** - до цієї категорії абонентів потрапляють мешканці приміських та спальних районів, які не охоплені дротовими мережами передачі даних. Для них характерні стабільні вимоги до мінімальної смуги пропускання, майже постійний характер створюваного навантаження та знижені вимоги до мобільності.
- **«активна молода людина»** - активний абонент із великими вимогами до мобільності сервісів, що надаються. Він характеризується нестабільними вимогами до смуги пропускання. Його пріоритет нижче, ніж у абонентів

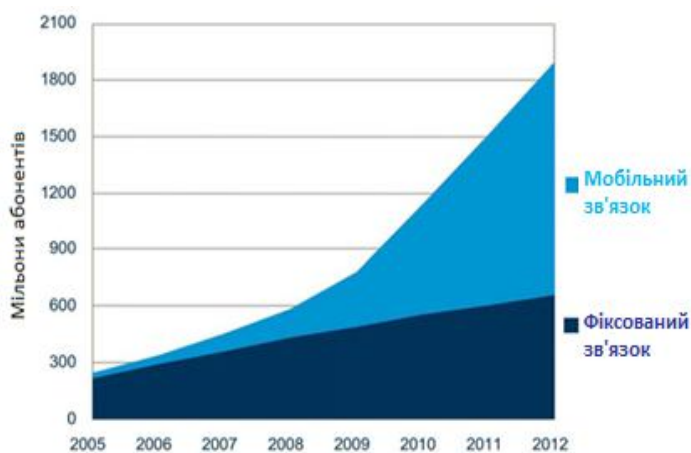


Рисунок 3.1. Зростання кількості користувачів мобільного Інтернету

інших категорій. Типові сервіси, якими користуються абоненти цього типу – IPTV, перегляд відео та онлайн-ігри, для яких також характерні високі потреби щодо затримки.

Очевидно, що за допомогою існуючих мереж задовольнити потенційних абонентів практично неможливо.

3.2 Використання ресурсів існуючих мереж при створенні мережі четвертого покоління

Однією з проблем, яка неминуче спіткатиме мобільного оператора при побудові мережі четвертого покоління – великі витрати на побудову мережі «з нуля». Значно зменшити їх дозволяє використання конвергентних рішень, які створюють умови для поступової еволюції мережі до 4G. При цьому логічно розглянути кілька варіантів розвитку мережі, а саме побудову мережі LTE із використанням ресурсів існуючих мереж GSM, CDMA або UMTS. Усі ці варіанти мають свої переваги та недоліки [1,2], які будуть описані нижче.

3.2.1 Використання ресурсів мережі GSM

- на сьогоднішній день в Україні вже існує дуже розвинена мережа базових станцій GSM, яка охоплює практично всю територію країни;
- абонентські апарати LTE, які існують на даний момент, створені саме для роботи у діапазоні 900 MHz, що зараз використовується у мережах GSM;
- можливість «екстенсивного» розвитку існуючих GSM-мереж практично відсутня; використання їх ресурсів при впровадженні технології четвертого покоління – один із можливих шляхів модернізації цих мереж;
- частотний ресурс, у якому працює мережа GSM, є вельми обмеженим, і його розширення є дуже складною задачею;
- при використанні частотного ресурсу GSM під мережу LTE необхідно виділити для неї щонайменше 7 частотних каналів по 200 KHz, тому що мінімальна смуга частот, яку потребує для роботи технологія LTE, складає 1.4 MHz. Це неминуче призведе до значного погіршення якості обслуговування абонентів у мережі GSM;
- для якісної роботи мережі LTE необхідно, щоб до кожної базової станції був підведений широкий транспортний канал – як правило, це означає прокладення оптичного кабеля. В існуючій мережі GSM такі канали доступні тільки на 60% базових станцій.

3.2.2 Використання ресурсів мережі CDMA

- технологія CDMA EvDO 450 Rev.A, яка існує в оператора МТС, використовує частоти у діапазоні 450-470 MHz. Його ширина є достатньою для повнофункціональної роботи мережі LTE. Стандарт LTE передбачає можливість роботи мережі у цьому частотному діапазоні;

- ☑ існують рішення, що дозволяють провести безболісну еволюцію мережі CDMA до мережі LTE;
- ☑ до всіх станцій CDMA підводяться широкі канали транспортної мережі, тобто проблема «пляшкового горлечка» на ділянці «базова станція – транспортна мережа» не виникає;
- ☒ рівень покриття території України мережею CDMA є дуже низьким у порівнянні з мережею GSM;
- ☒ сучасне обладнання, яке підтримує технологію LTE, не розраховане на роботу у діапазоні 450-470 MHz, хоча можливості створення такого обладнання й існують.

3.2.3 Використання ресурсів мережі UMTS

- ☑ серед трьох розглянутих варіантів технічні рішення щодо конвергенції мереж UMTS та LTE є найпростішими;
- ☑ до станцій UMTS також підведені широкопasmові канали, тобто проблема транспортної мережі також не виникає або вирішується досить легко;
- ☑ діапазон, у якому працюють мережі UMTS – 1900..2000 MHz та 2100..2200 MHz – є ідеальним для роботи мережі LTE. На сьогоднішній день вже створене обладнання, яке підтримує технологію LTE і працює у цьому частотному діапазоні;
- ☒ на даний момент оператор МТС не має власної мережі, яка б працювала за технологією UMTS;
- ☒ частотний діапазон, у якому працюють мережі UMTS, зайнятий, і його ліцензування для побудови мережі мобільного зв'язку майже неможливе.

3.3 Концепція SON як засіб раціонального використання ресурсів мережі LTE

Який би варіант еволюції мережі мобільного зв'язку до мережі 4G не вибрав оператор, очевидно, що ресурси мережі – частотний діапазон та кількість базових базових станцій – будуть обмеженими. Для максимізації якості надання послуг і якнайповнішого задоволення потреб абонентів за умов мінімальних витрат дуже важливе раціональне використання цих обмежених ресурсів.

Концепція мереж, що самоорганізуються (SON), призначена для оптимізації всіх робочих процесів оператора мобільного зв'язку.

Самоорганізація є логічним результатом ускладнення мереж зв'язку. За рахунок того, що обсяг інформації про параметри мережі став надзвичайно великим, був здійснений перехід від кількості до якості: мережа стала достатньо інтелектуальною, щоб управління можна було зробити повністю автоматичним. Окрім того, ситуація в мережі зазвичай змінюється настільки динамічно, що людина не може приймати рішення достатньо швидко.

Головною метою використання SON [3] є зменшення OPEX - операційних витрат оператора. Основу для скорочення операційних витрат складає зменшення кількості операцій з налаштування БС, які потребують безпосередньої участі технічного персоналу. Згідно з цим, можна зменшити і кількість працівників, що налагоджують БС. В цілому OPEX зменшуються



Рисунок 3.2. Зменшення операційних витрат при застосуванні SON

приблизно на 30% (див. рис. 3.2).

Існують три основні складові частини концепції SON:

- **самоконфігурація**, яка включає роботу обладнання за принципом plug-and-play, автоматичне створення базовою станцією переліку сусідніх станцій та налаштування радіо-

параметрів: робочої частоти, контролю інтерференції, потужності передачі та кута нахилу антени.

- **самооптимізація** – автоматичне визначення параметрів БС, які забезпечують найвищу можливу якість обслуговування абонентів.
- **самовідновлення**, яке включає до себе автоматичне визначення відмов у роботі обладнання і відповідну реконфігурацію мережі у разі відмови БС. Існує три типи архітектури SON:
 - централизована: всі дані, необхідні для роботи оптимізаційних алгоритмів, передаються від БС до адміністративного центру (EMS), який аналізує їх та повертає до БС належні параметри.
 - розподілена: переважна частина рішень з оптимізації мережі приймається за допомогою алгоритму, який реалізується безпосередньо на БС;

адміністративний центр отримує лише повідомлення про проведені зміни параметрів і має змогу змінити їх.

- гібридна: частина оптимізаційних алгоритмів виконується безпосередньо на БС, частина – у адміністративному центрі.

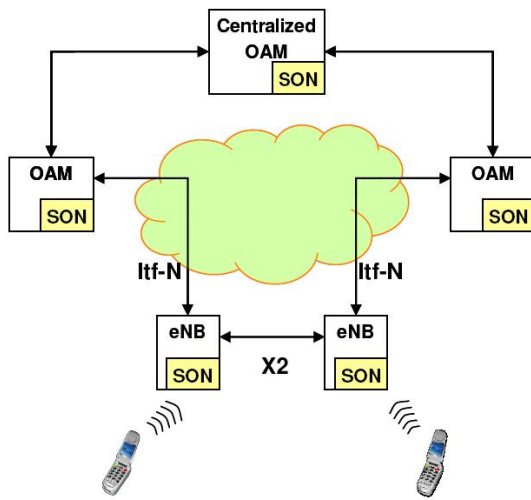


Рисунок 3.3. Гібридна реалізація SON

Централізована архітектура має деякі недоліки, адже при її використанні великий обсяг інформації має передаватися для обробки до ОАМ, який у такому разі може бути «вузьким місцем» мережі. Окрім того, інертність роботи ОАМ зробить практично неможливою оптимізацію роботи мережі у реальному часі.

Розподілена архітектура також має свої «проти». При її використанні

потребується значний обсяг роботи з попереднього налаштування параметрів БС. Крім того, реалізація оптимізаційних алгоритмів і досягнення їхньої збіжності стають значно складнішими. Також створюється велике навантаження на міжстанційний інтерфейс X2.

Отже, оптимальним підходом є використання гібридної архітектури SON, який дозволяє операторові водночас швидко проводити оптимізацію мережі та мати контроль за всіма процесами оптимізації.

3.4 Математичні основи моделювання роботи мережі LTE з використанням SON

При моделюванні будь-якої мережі мобільного зв'язку зазвичай використовуються методи теорії телетрафіка. Але математичний опис процесів, які відбуваються у мережі LTE, побудований із застосуванням засобів, що реалізують концепцію SON, має свою специфіку. Зокрема, при використанні розподіленого та гібридного SON базові станції мережі самостійно змінюють деякі свої параметри під впливом сигналів від інших станцій. Такі процеси дуже подібні за характером до тих, що відбуваються у нейронних мережах, тобто БС можна розглядати як нейрон.

Крім того, важливою особливістю роботи SON є можливість динамічного перерозподілу ресурсів. Враховуючи це, доцільно застосувати методи імітаційного моделювання поведінки масових популяцій. У даному випадку ми розглядаємо абонентів як членів такої популяції. Найдоцільнішим є використання методу м'якої оптимізації мурашиними колоніями АСО [4, 5]. При цьому модель, заснована на ідеях мімікрії, враховує можливість «маркування шляху» так званім феромоном, який виступає у ролі своєрідного зворотнього зв'язку.

3.5 Опис розробленої моделі

Як вже було сказано, метою концепції SON є оптимізація роботи мережі мобільного зв'язку. Очевидно, що при моделюванні роботи SON слід визначити критерій, за яким буде здійснюватися оптимізація. У нашій роботі таким критерієм є максимізація прибутку оператора з урахуванням обмежень ресурсів та якості обслуговування. Для досягнення цього слід наблизити швидкість, що надана абонентам, до швидкості, яку вони потребують. При цьому враховується, що залежність прибутку з абонента від швидкості, яка йому надається, нелінійна.

У математичному сенсі цей критерій можна формалізувати так:

$$K = \frac{\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{N_{аб.к}} C_k(Y_{ik}) \cdot Y_{ik}}{\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^{N_{аб.к}} C_{k,max} \cdot Y_{ik,потреб}} \rightarrow 1; \quad (3.1)$$

де Y_{ik} – пропускна спроможність, що надана i -му абоненту k -ї категорії, $C_k(Y)$ – доходність абонента в залежності від швидкості, яка йому надана, $C_{k,max}$ – максимально можлива доходність абонента, $Y_{ik,потреб}$ – швидкість, яку потребує i -ї абонент. Таким чином, чисельник означає дохід, який реально отримує оператор, а знаменник – максимальний дохід, який оператор може

отримати. Вид функцій $C_k(Y)$ для трьох тарифних планів показано на рис. 3.4.

Фактично для наближення значення K до одиниці необхідно мінімізувати втрати за навантаженням. В існуючих технологіях мобільного зв'язку це здійснюється шляхом

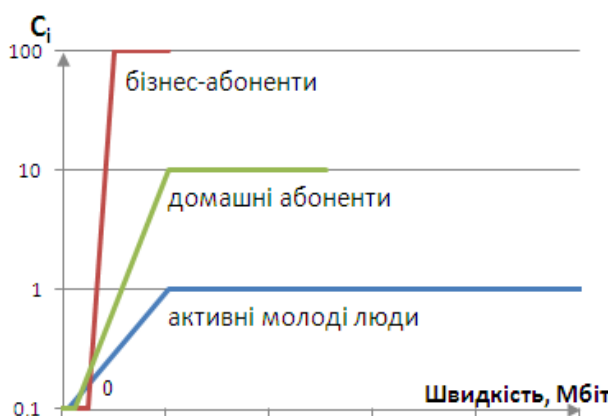


Рисунок 3.4. Функція $C(Y)$ для різних типів абонентів

зниження швидкості передачі для абонентів, які мають низький пріоритет. Концепція SON дозволяє провести оптимізацію шляхом перерозподілу абонентів по БС, що дає змогу наблизити розподіл навантаження по БС до рівномірного. Очевидно, що у деяких випадках перерозподіл абонентів по БС не дасть необхідного результату. Таким чином, доцільно комбінувати цей метод із зниженням швидкості абонентів з низьким пріоритетом у разі великого значення показника втрат.

Як вже було сказано, для моделювання такого оптимізаційного процесу добре підходить алгоритм оптимізації «мурашиними колоніями». У нашому випадку кожний абонент впливає на завантаженість БС, яка виступає у ролі феромона.

Таким чином, процес оптимізації, реалізований у розробленій моделі, відбувається в два етапи: перерозподіл абонентів по БС та можливе зниження швидкості для абонентів з низьким пріоритетом. Загальну логіку роботи моделі представлено на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5. Загальна логіка алгоритму оптимізації

При перерозподілі абонентів по базових станціях враховується, що кожна БС має дві зони обслуговування – основну, де потужність сигналу від цієї станції набагато перевищує потужність всіх інших сигналів, та периферійну, де абоненти можуть обслуговуватися однією з декількох БС. Для абонентів, які знаходяться у периферійній зоні, алгоритм вибору БС базується на масиві пріоритетів базових станцій, що розраховуються за формулою:

$$P_{ji} = \frac{\tau_{ji} / Y_i}{\sum_i \tau_{ji} / Y_i} \quad (3.2)$$

де P_{ji} – пріоритет j -ї БС для i -го абонента, τ_{ji} – потужність сигналу від j -ї БС до i -го абонента, Y_j – завантаженість j -ї БС. Абонент передається до тієї БС, яка має найвищий пріоритет. Після обчислення пріоритетів всіх БС i , відповідно, призначення кожного абонента до якоїсь БС, обчислюється навантаження, яке створює кожна базова станція на транспортну мережу.

Фактично здійснюється перехід від даних про територіальний розподіл абонентів до даних про розподіл навантаження по БС.

Для визначення потужності сигналу базової станції у заданій точці та, відповідно, встановлення меж зон покриття використовується модель розповсюдження радіосигналу COST231HATA [5]:

$$PL = 46.3 + 33.9 \lg(f) - 13.82 \lg(h_b) - \alpha h_m + (44.9 - 6.55 \lg(h_b)) \lg d + c_m; \quad (3.3)$$

де d – відстань до абонента, f – робоча частота, h_b – висота підйому антени, c_m та αh_m – коефіцієнти затухання, що залежать від типу місцевості.

Логіку алгоритму перерозподілу абонентів по БС представлено на рисунку 3.6.

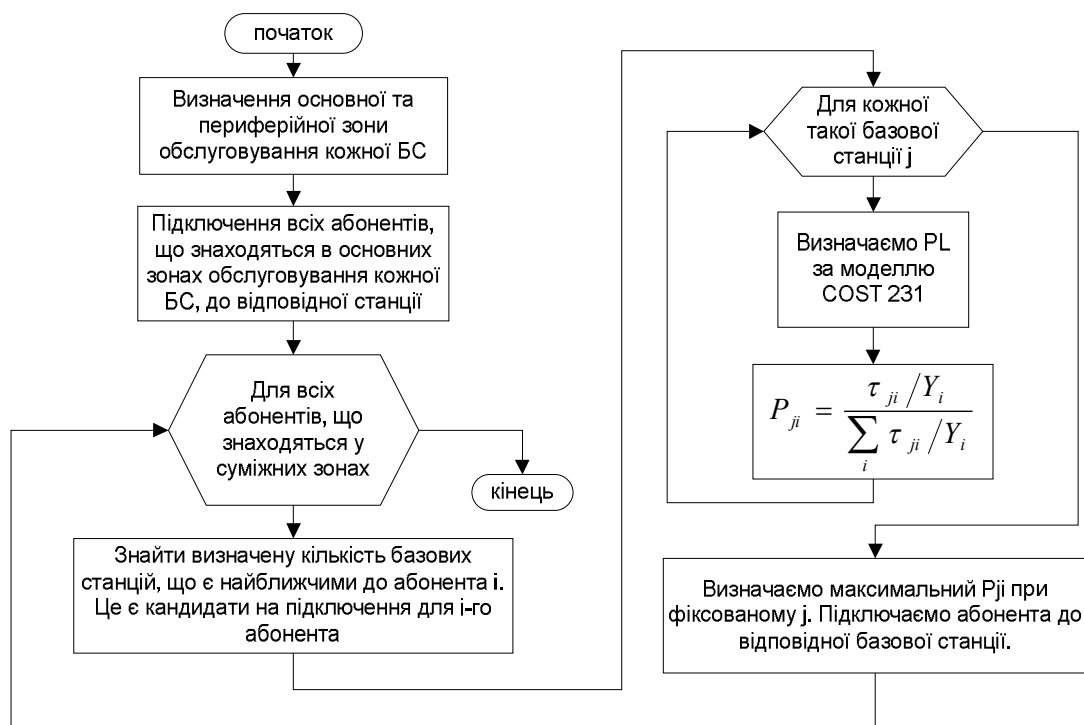


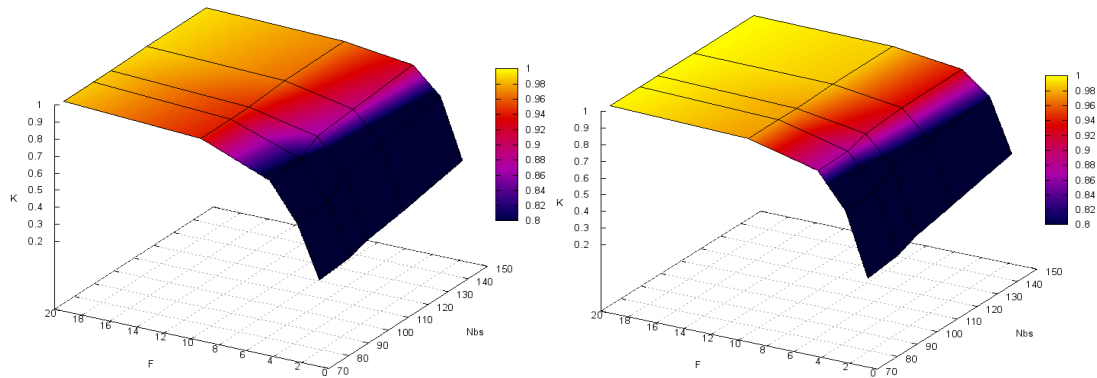
Рисунок 3.6. Алгоритм перерозподілу абонентів по БС

3.6 Результати моделювання

Зазначену вище модель було реалізовано за допомогою мови програмування Ruby. Як вхідні дані для моделювання був обраний район міста Донецька із визначеним розташуванням базових станцій та випадковим розташуванням абонентів з урахуванням типового місцезнаходження абонентів того чи іншого типу. Метою моделювання було надання рекомендацій оператору щодо оптимального співвідношення кількості базових станцій та потрібної смуги частот, а також використання традиційного підходу до побудови мережі чи підходу згідно з концепцією

SON з урахуванням зростання кількості абонентів у довгостроковому періоді.

Графіки на рисунку 3.7 відображають залежність значення критерію K від кількості базових станцій N_{bs} та полоси частот F , що використовується при фіксованому значенні кількості абонентів $N_{ab} = 1750$.



а) традиційний підхід

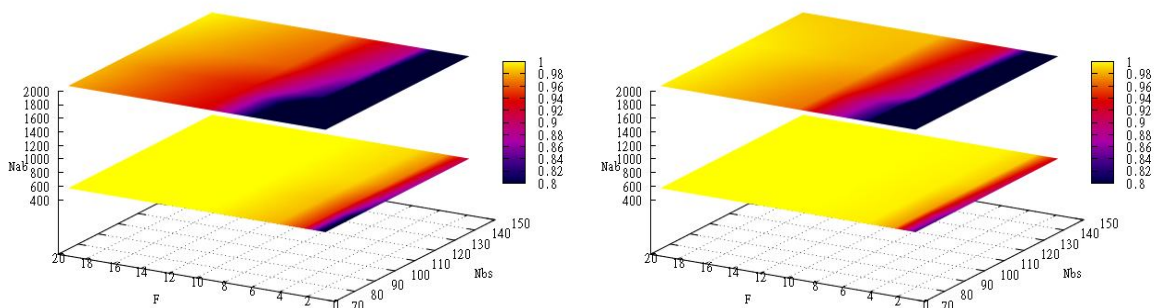
б) підхід із використанням SON

Рисунок 3.7. Графіки $K(N_{bs}, \Delta F)$

Користуючись цими залежностями можна порекомендувати оператору побудувати мережу із використанням концепції SON, в якій працюватиме 75 секторів БС на район; потрібний частотний ресурс складає 10 МГц. Така система забезпечить збільшення прибутку оператора на 12% в порівнянні з класичною статичною системою.

В результаті моделювання також було отримано залежність $K(N_{ab}, N_{bs}, F)$, де N_{ab} – кількість абонентів. На рис. 3.8 приведено графіки цієї залежності при двох значеннях кількості абонентів (500 та 2000).

Оскільки значення критерію є пропорційним прибутку оператора, з отриманих даних можна визначити оптимальну конфігурацію мережі, порівнюючи вартість тієї чи іншої конфігурації із прибутком від такої мережі. При цьому може бути враховане зростання навантаження на мережу в зв'язку із збільшенням кількості абонентів.



а) традиційний підхід

б) підхід із використанням SON

Рисунок 3.8. Графіки $K(N_{usr}, N_{bs}, \Delta F)$

4 ПОТРЕБИ ФІНАНСОВИХ ВИТРАТ

Основні пункти фінансових витрат при впровадженні мережі LTE:

- придбання та встановлення обладнання базових станцій LTE з підтримкою SON, у тому числі: прийомопередавачів (можливі рішення – Motorola або Nokia-Siemens Flexi Multiradio BS [6]) та антенного обладнання з можливістю керування кутом нахилу антени;
- придбання та встановлення системи керування з підтримкою SON (можливе рішення – Motorola Broadband Manager);
- придбання ліцензій на використання технології LTE та частотних каналів.

РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ПРОЕКТУ

В результаті виконання проекту було запропоновано методи та засоби, що забезпечують підвищення показників економічної ефективності мережі LTE при заданій якості обслуговування абонентів з урахуванням обмеженості частотних та технічних ресурсів оператора.

Було проведено аналіз цільової аудиторії послуг LTE та запропоновано використовувати три основні тарифні плани: ділова людина, домашній користувач та активна молода людина. Для кожного з тарифних планів висунуто вимоги щодо пропускнуєї спроможності каналів, параметрів QoS, визначено типові послуги та пріоритет обслуговування.

Здійснено аналіз існуючих мереж, побудованих за технологіями GSM, CDMA та UMTS на предмет їх еволюції до мереж LTE. Виявлено переваги та недоліки використання кожної з цих технологій як базової для розгортання мережі LTE. Спільною проблемою при еволюції всіх трьох технологій є нераціональне використання наявних технічних та частотних ресурсів оператора, яке викликане нестационарністю навантаження на базові станції.

Обґрунтовано рішення впроваджувати технологію LTE з використанням концепції SON, що дозволить збільшити прибуток оператора шляхом ефективного динамічного перерозподілу ресурсів мережі.

Запропоновано інтегральний критерій ефективності використання ресурсів оператора, який враховує нелінійний характер залежності доходності абонента від швидкості, яка йому надається. На основі

запропонованого критерію розроблено алгоритм динамічного перерозподілу ресурсів мережі LTE, який відповідає концепції SON та використовує метод оптимізації „мурашиними колоніями”.

Розроблено прикладну програму, яка реалізує моделювання роботи мережі LTE в умовах статичного розподілу ресурсів мережі або використання динамічного розподілу (SON). Програма дозволяє оцінити кількість відмов в обслуговуванні в залежності від наявного частотного та технічного ресурсу.

За допомогою розробленої програми проведено аналіз ефективності функціонування мережі на прикладі типового району міста Донецька. В результаті виявилось, що використання розробленого алгоритму динамічного перерозподілу ресурсів мережі дозволяє досягти 12%-го збільшення прибутку оператора.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє оператору ґрунтовно приймати рішення щодо стратегії використання технічних та частотних ресурсів, при еволюції мережі LTE.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Moray Rumney. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges. - Agilent Technologies. – 2008. – 557 p.
2. Соловйов М.С., Воропаєва В.Я. Забезпечення показників якості в конвергентних мережах GSM/Wi-Fi при впровадженні нових сервісів // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 16 (147). - Донецьк-2009. – 248 с., С. 22-28.
3. Sujuan Feng, Eiko Seidel. Self-Organizing Networks (SON) in 3GPP Long-Term Evolution. – Nomor Research GmbH. – 2008. – 15 p.
4. Marco Dorigo, Thomas Stuzle. Ant Colony Optimization. – Massachusetts Institute of Technology. – 2004. – 368 p.
5. Ладыженский Ю.В., Мирецкая В.А., Мирецкий А.В. Применение муравьиных алгоритмов для решения задачи маршрутизации в компьютерных сетях // Наукові праці Донецького національного технічного університету, серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка», вып. 8 (120), Донецк, ДонНТУ, 2007. – С.178-192
6. Evolution of Land Mobile Radio Communications – Cost 231 Model // http://www.lx.it.pt/cost231/final_report.htm
7. Продукти Nokia-Siemens для LTE// <http://www.nokiasiemensnetworks.com/portfolio/products/mobile-broadband/long-term-evolution-lte>