

## Математичне моделювання роботи LTE/SON мережі

### 6. Електронна техніка та прилади – 6.8 Телекомунікації

#### LTE/SON мережа, самоорганізація, базова станція, прибуток з абонента, пропускна спроможність каналу

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 високої конкуренції.

Україна має великий потенціал до зростання послуг на ринку ширококутного доступу (ШСД). На сьогоднішній день проникнення ШСД в Україні становить лише 11%, а у європейських країнах цей показник сягає 70%. (Франції і Бельгії – 70%, Швеції – 69%, Фінляндії – 67%). Основні послуги, які будуть активно розвиватися в приватному сегменті це: високошвидкісний доступ в інтернет, кабельне цифрове телебачення – IPTV, відео за запитом (Video on Demand), телефонія по IP (VoIP), віртуальні приватні мережі з власним контентом. У бізнес сегменті попитом будуть користуватися: корпоративні територіально розподілені мережі, високошвидкісний доступ в Інтернет, VoIP, відео та аудіо конференції [1]. Тому є дуже актуальним розвиток мобільних мереж ширококутного доступу, тобто мереж четвертого покоління.

Технологія LTE [2] є однією з найбільш перспективних технологій мобільного зв'язку, що відносять до технологій четвертого покоління мобільних мереж. 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 треба підводити широкий канал транспортної мережі. Встановлення нового обладнання та його узгодження з існуючою інфраструктурою потребуватиме значних витрат.

Одним із засобів м'якого переходу на нову технологію мобільного зв'язку, який дозволяє якнайраціональніше використовувати наявні ресурси, є застосування концепції SON (мережі, які самоорганізуються), що дасть змогу мінімізувати витрати оператора при розгортанні мережі LTE.

Ця робота є лише часткою великого проекту, який виконувався у співавторстві за планом:

- Проведення аналізу цільової аудиторії мережі LTE та ринку послуг

мобільного зв'язку.

- Проведення аналізу існуючих мереж другого та третього покоління щодо виявлення проблем їх еволюції до мереж четвертого покоління.
- Розробка концепції впровадження технології LTE на основі ресурсів, існуючих у оператора.
- Впровадження нових технологій, що дозволять підвищити якість надання послуг за рахунок більш ефективного використання ресурсів мережі.
- Розробка критерію ефективності використання ресурсів оператора.
- Розробка математичної та програмної моделі динамічного перерозподілу ресурсів мережі при нерівномірному розподілі навантаження по території, що обслуговується.
- Проведення дослідження цієї моделі та розробка рекомендації щодо технічних рішень при впровадженні технології LTE.

Я виконував роботу по розробці критерію, розробці та реалізації математичної та програмної моделі, проведення дослідження цієї моделі. Саме ці частини розглядаються в цій роботі.

Метою цієї роботи є підвищення ефективності використання ресурсів LTE мережі, за рахунок аналізу принципів функціонування мереж, що самоорганізуються.

Трьома основними принципами концепції SON є самоконфігурація, самовідновлення та самооптимізація [3]. Всі ці три принципи покликані зменшити операційні витрати оператора на утримання мережі.

Основними задачами роботи є:

- обґрунтування критерію оцінки ефективності роботи LTE мережі;
- розробка математичної та програмної моделі сегмента мережі LTE/SON;
- аналіз результатів моделювання та надання рекомендацій щодо використання концепції SON в рамках LTE мережі.

Метою концепції SON є оптимізація роботи мережі мобільного зв'язку. Очевидно, що при аналізі роботи мережі LTE/SON слід визначити критерій, за яким буде здійснюватися оцінка її ефективності. У даній роботі таким критерієм є максимізація прибутку оператора. Для досягнення цього слід наблизити пропускну спроможність, що надана абонентам, до пропускну спроможності, 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:

$$K = \frac{\sum_{k=1}^{N_{\text{тариф}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{аб.}k}} C_k(Y_{ik}) Y_{ik}}{\sum_{k=1}^{N_{\text{тариф}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{аб.}k}} C_{k.\text{max}} Y_{ik.\text{потреб}}} \rightarrow 1, \quad (1)$$

де  $Y_{ik}$  – пропускна спроможність, що надана  $i$ -му абоненту  $k$ -ї категорії,

$C_k(Y)$  – доходність абонента в залежності від пропускної спроможності,

що йому надана,

$C_{k.\text{max}}$  – максимально можлива доходність абонента,

$Y_{ik.\text{потреб}}$  – пропускна спроможність, яку потребує  $i$ -ї абонент.

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

При моделюванні будь-якої мережі мобільного зв'язку зазвичай використовуються методи теорії телетрафіку. Але математичний опис процесів, які відбуваються у мережі LTE/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. Враховуючи це, доцільно застосувати методи імітаційного моделювання поведінки масових популяцій. У даному випадку абоненти розглядаються як члени такої популяції. Найдоцільнішим є використання методу м'якої оптимізації мурашиними колоніями (ACO). При цьому модель, заснована на ідеях мімікрії, враховує можливість «маркування шляху» так званім феромоном, який виступає у ролі своєрідного зворотнього зв'язку [4].

Таким чином, процес оптимізації, який реалізовано у розробленій моделі, відбувається в два етапи: перерозподіл абонентів по базових станціях та можливе зниження швидкості для абонентів з низьким пріоритетом.

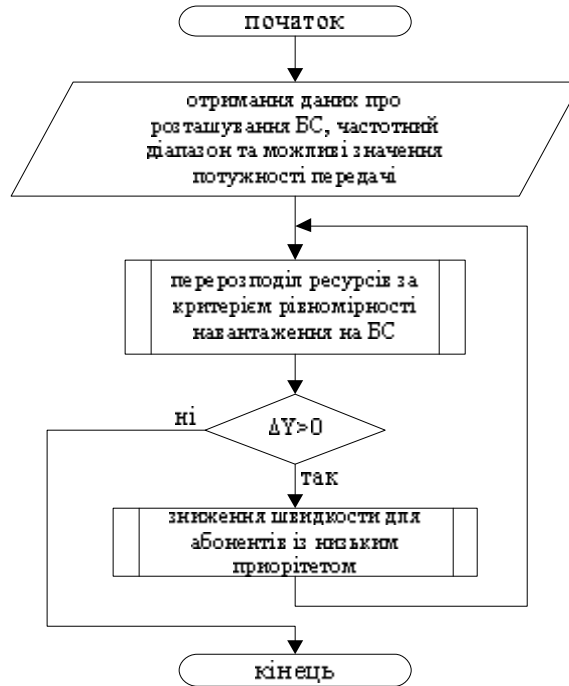


Рисунок 1 - Загальна логіка оптимізаційного процесу

При перерозподілі абонентів по базових станціях враховується, що кожна БС має дві зони обслуговування – основну, у якій потужність сигналу від цієї станції набагато перевищує потужність всіх інших сигналів, та периферійну, у якій 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:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}/d_j}{\sum_j \tau_{ij}/d_j}, \quad (2)$$

де  $P_{ij}$  – пріоритет  $j$ -ї БС для  $i$ -го абонента,

$\tau_{ij}$  – потужність сигналу від  $j$ -ї БС до  $i$ -го абонента,

$d_j$  – відстань до  $j$ -ї БС.

Абонент передається до тієї БС, яка має найвищий пріоритет. Після обчислення пріоритетів всіх БС і, 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.

У цьому алгоритмі для визначення потужності сигналу базової станції у заданій точці та, відповідно, встановлення меж зон покриття використовується

модель розповсюдження радіосигналу COST231 [5]:

$$PL = 91,2 + 33,9 \lg(f) - 13,82 \lg(h_b) - ah_m - 6,55 \lg(h_b) \lg(d) + c_m, \quad (3)$$

де  $d$  – відстань від БС до абонента,

$f$  – робоча частота,

$h_b$  – висота підйому антени,

$c_m$  та  $ah_m$  – коефіцієнти затухання, що залежать від типу місцевості та забудовлі.

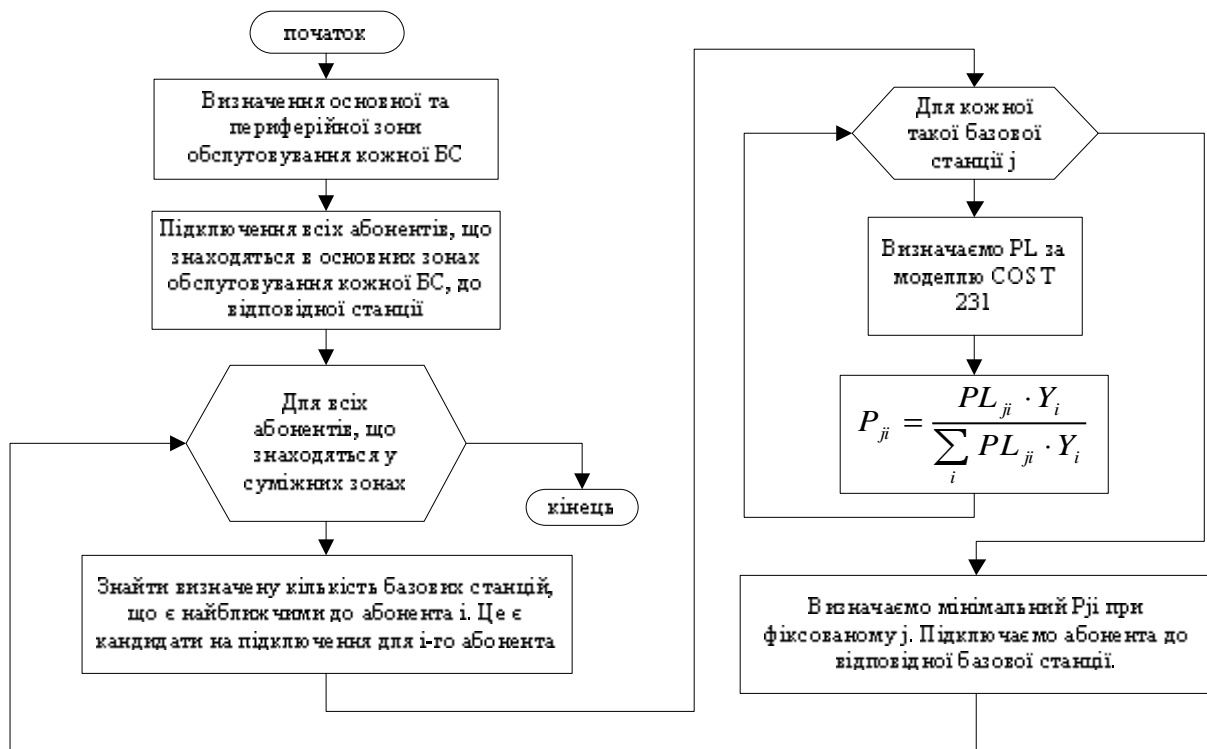
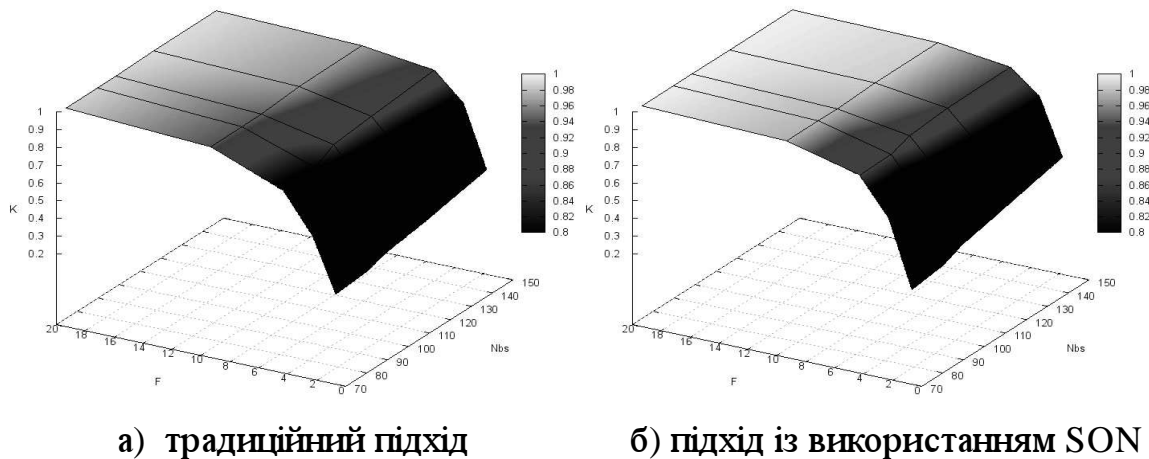


Рисунок 2 - Алгоритм перерозподілу абонентів по БС

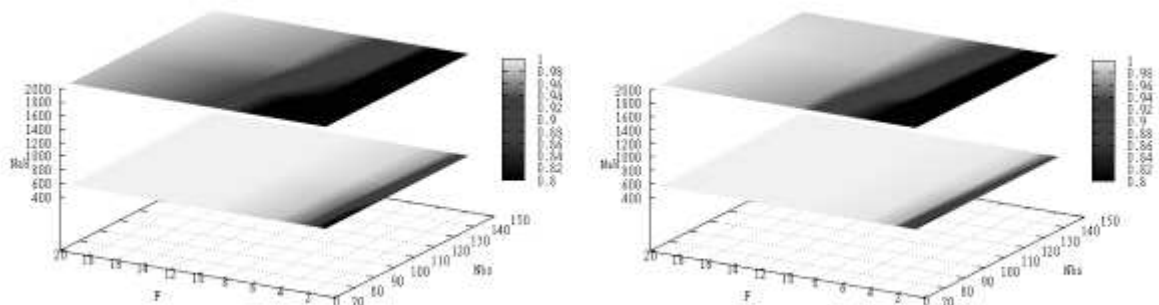
Модель, зазначену вище, було реалізовано програмно за допомогою мови програмування Ruby.

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. Як вхідні дані для моделювання був обраний район міста Донецька із визначеним розташуванням базових станцій та випадковим розташуванням абонентів з урахуванням типового місцезнаходження людей відповідно до того чи іншого типу абонентів.

Рисунок 3 - Графіки  $K(N_{bs}, \Delta F)$ 

Графіки на рисунку 3 відображають залежність значення критерію  $K$  від кількості базових станцій  $N_{bs}$  та полоси частот  $\Delta F$ , що використовується при фіксованому значенні кількості абонентів  $N_{ab} = 1750$ . Опираючись на ці графіки можливо оцінити, що з використанням концепції SON оператору знадобиться значно менше частотного ресурсу (максимально на 15%) та числа БС (максимально на 10%) для досягнення той же якості обслуговування, як при традиційному підході. Ці значення найбільш відрізняються від традиційного підходу для невеликого числа базових станцій та частотного ресурсу (що буде актуально на перших кроках побудови мережі).

В результаті моделювання також було отримано залежність  $K(N_{ab}, N_{bs}, \Delta F)$ , де  $N_{ab}$  – кількість абонентів. На рис. 4 приведено графіки цієї залежності при двох значеннях кількості абонентів (500 та 2000).



а) традиційний підхід б) підхід із використанням SON

Рисунок 4 - Графіки  $K(N_{usr}, N_{bs}, \Delta F)$

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, що дає можливість ведення обґрунтованої стратегії використання технічних та частотних ресурсів, при подальшій еволюції мережі LTE.

## ВИСНОВКИ

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

2. 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”.

3. 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.

4. За допомогою розроблених програмних засобів отримані залежності критерію ефективності роботи мережі від кількості абонентів, частотного та технічного ресурсу мережі. Ці залежності дозволять оператору зв'язку вести більш обґрунтовану політику розвитку LTE мережі при нарощуванні абонентської бази.

### Перелік посилань

1. Компанія МТС. Прес-реліз 21.10.2010. / Електронний ресурс. Спосіб доступу:  
[http://company.mts.com.ua/ukr/press\\_releases.php?news\\_id=4370&subscriber=email](http://company.mts.com.ua/ukr/press_releases.php?news_id=4370&subscriber=email)
2. Moray Rumney. LTE and the Evolution to 4G Wireless: Design and Measurement Challenges. - Agilent Technologies. – 2008. – 557 p.
3. SelfOrganizing Network White Paper / Електронний ресурс. Спосіб доступу:  
[https://www2.nokiasiemensnetworks.com/SelfOrganizing\\_Network\\_SON\\_White\\_Paper.pdf](https://www2.nokiasiemensnetworks.com/SelfOrganizing_Network_SON_White_Paper.pdf)
4. Чураков М., Якушев А. Муравьиные алгоритмы / Електронний ресурс. Спосіб доступу: <http://rain.ifmo.ru/cat/>
5. Raj Jain. Channel Models. A Tutorial./ Електронний ресурс. Спосіб доступу:  
[cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/channel\\_model\\_tutorial.pdf](http://cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/channel_model_tutorial.pdf)