

Технічні науки

УДК 004.62

**Орлова Марія Миколаївна**

*кандидат технічних наук, доцент*

*Національний технічний університет України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Орлова Мария Николаевна**

*кандидат технических наук, доцент*

*Национальный технический университет Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Orlova Mariia**

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

*National Technical University of Ukraine*

*"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Багінський Євгеній Сергійович**

*магістрант*

*Національного технічного університету України*

*«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Багинский Евгений Сергеевич**

*магистрант*

*Национального технического университета Украины*

*«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Bahinskiy Yevhenii**

*Graduating Student of the*

*National Technical University of Ukraine*

*"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМУ БАЛАНСУВАННЯ  
НАВАНТАЖЕННЯ В МЕРЕЖАХ LTE/LTE-A  
МОДИФІКАЦІЯ АЛГОРИТМА БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В  
СЕТЯХ LTE/LTE-A  
MODIFICATION OF LOAD BALANCE ALGORITHM for LTE/LTE-A  
NETWORKS**

*Анотація.* В даній роботі описані існуючі підходи до балансування навантаження в стільникових мережах LTE/LTE-A. Також був запропонований метод кластеризації для оптимізації цих підходів.

*Ключові слова:* LTE, балансування навантаження, алгоритм кластеризації.

*Аннотация.* В данной работе описаны существующие подходы балансировки нагрузки в сотовых сетях LTE/LTE-A. Также был предложен метод кластеризации для оптимизации этих подходов.

*Ключевые слова:* LTE, балансировка нагрузки, алгоритм кластеризации.

*Summary.* This paper describes a study of existing approaches to the technology of load balancing in cellular LTE/LTE-A networks. Clustering method was proposed as an optimization for mentioned purpose.

*Key words:* LTE, load balancing, clustering algorithm.

**Вступ.** Протягом кількох останніх десятиліть розвиток бездротових технологій невинно зростає. Нещодавнє впровадження високопродуктивних мобільних пристроїв ще більше посилює попит абонентів на високу пропускну спроможність. Поточні стільникові пристрої потребують ручної конфігурації та керування мережами, що є трудомістким і схильним до помилок, внаслідок експоненціально

зростаючої кількості мобільних користувачів та вузлів. Це призводить до впровадження самоорганізаційних можливостей для управління мережею з мінімальним залученням людини. Таким чином, підвищується якість обслуговування (QoS) для кінцевого користувача, а також зменшуються експлуатаційні та технічні витрати для постачальників послуг зв'язку. Самоорганізовані стільникові мережі включають в себе сукупність функцій для автоматичного налаштування, оптимізації та обслуговування стільникових мереж. Оскільки кінцеві мобільні користувачі продовжують використовувати мережеві ресурси при переміщенні з однієї базової станції до іншої, навантаження на трафік у комірці не залишається постійним.

Таким чином, балансування навантаження, як частина самоорганізованого мережевого рішення, є однією з найбільш активних і перспективних напрямків досліджень у стільникових мережах. Це передбачає перенесення навантаження з перевантажених комірок у сусідні комірки з вільними ресурсами для більш збалансованого розподілу навантажень.

**Механізм балансування навантаження.** На сьогодні 4G - це набір бездротових стандартів, що реалізуються за допомогою різних конкуруючих технологій, до яких можна віднести Long-Term Evolution (LTE) і LTE-Advanced. LTE та LTE-A підтримують IP (Інтернет-протокол) на основі пакету комутаційної системи зв'язку з передачею багатонесучих OFDM (метод поєднання кількох потоків даних в один спільний простір) та інших частотних областей схем, які пропонують високі швидкості передачі даних і мають можливість збільшуватися за допомогою антенних масивів MIMO (Multiple Input Multiple Output), щоб уникнути втрат при великих кількостях даних, що передаються.

Навантаження на базову станцію вимірюється з точки зору використання різних ресурсів, враховуючи їх обмеження. Це:

1. Загальна потужність передачі;

2. Отримана потужність;
3. Втручання в комірку;
4. Пропускна спроможність базової станції у вхідній/вихідній лініях зв'язку;
5. Підвищення рівня блокування;
6. Частота відмов у передачі.

Методи балансування навантаження можуть базуватися на режимі очікування або на активному режимі користування.

### ***Балансування навантаження активного режиму***

Активний режим балансування навантаження дозволяє пристроям користувачів мати збалансоване навантаження по всіх базових станціях, щоб знизити загальний рівень завантаження окремої станції. Перевагою активного балансування навантаження є те, що система має прямий механізм вимірювання та визначення вимог до трафіку кожного користувача та умов радіозв'язку, перш ніж приймати рішення про балансування навантаження. Тому з планувальником та інтерфейсами з інших базовими станціями (X2 інтерфейс для внутрішнього LTE та/або інтерфейсу S1 для інтер-RAT) можна балансувати навантаженням при передачі повідомлень. Код передачі зі збалансованим навантаженням додається до повідомлення, щоб базова станція могла контролювати надходження.

### ***Балансування навантаження в режимі очікування***

Балансування навантаження в режимі очікування складніше реалізувати, оскільки eNB не може виявити користувачів режиму простою. eNB стає відомо про користувача лише тоді, коли він стає активним або коли область відстеження користувача змінюється, і повідомлення відправляється на UE. Можливим рішенням для переадресації в цьому стані для системи може бути коригування параметрів переадресації базових станцій для користувачів з простоем на основі поточної

активності користувачів, оскільки в LTE балансування міжчастотного навантаження у режимі очікування здійснюється за допомогою процедури повторного вибору базової станції. Системні параметри, які контролюють переадресацію викликів базової станції та параметри частоти каналу оператора передані до UE в Системних інформаційних блоках (SIBs).

Трафік у режимі реального часу призводить до збільшення навантаження на базову станцію, тому вона може налаштувати параметри повторного вибору для того, щоб користувачі обирали сусідню станцію або ініціювати переадресацію на базову станцію, на якій більше доступних ресурсів. Неточна ініціалізація цих параметрів може привести до розриву зони покриття.

Так класичні підходи до балансування навантаження наступні:

- 1) На основі географічного положення з використанням динамічного призначення каналів: у цій схемі перевантажена базова станція використовує канали з інших менш завантажених сусідніх станцій. Ця схема широко використовувалася в комутаційному каналі GSM систем, де сусідні станції використовують різні частотні канали. У випадку LTE і LTE-A радіо-інтерфейс базується на OFDMA, де запозичення каналу неможливе через перешкоди всередині станцій. Отже, цей метод не застосовується в LTE/LTE-A.
- 2) Балансування навантаження на базі покриття. Цей метод залежить від механізмів зміни ефективної площі покриття базової станції відповідно до зміни навантаження. Наступні методи можуть бути використані для балансування:
  1. модифікація пілот-сигналу;
  2. нахил антени;
  3. змінення параметру хендовера (HO).

При адаптації потужності, за допомогою схеми модифікації потужності пілот-сигналу покриття базових станцій зменшується (або

розширюється), зменшуючи (або підвищуючи) пілотну потужність. Це має кілька недоліків, для перевантаженої станції це зменшує потужність, яка може погіршити покриття. Для низько завантажених сусідніх станцій необхідна більша потужність передачі, і тому можуть знадобитися підсилювачі потужності.

Другий підхід базується на антенах базових станцій, які динамічно змінюють розміри та форми покриття стільникового зв'язку відповідно до розподілу навантаження. Цей підхід обмежений наявністю дистанційних контролерів (RET) . Окрім цих двох методів, є гібридні підходи, які включають як зміну нахилу антени так і модифікацію потужності сигналу. Метод на основі зміни параметру хендовера був найбільш широко вивчений в контексті LTE/LTE-A, і це є однією з найперспективніших технік завдяки її гнучкості та ефективності у складних стільникових мережах.

Балансування навантаження на базі параметрів хендовера спрямовано на пошук оптимального значення  $H_0$  між перевантаженим  $eNB$  і цільовим  $eNB$ .

Більшість із вищезазначених методів балансування навантаження були розроблені для стільникових мереж без вимог QoS (Quality of Service), і тому лише деякі можуть бути застосовані в мережах LTE, яка покликана обслуговувати користувачів з певними вимогами QoS. Далі у всіх існуючих рішеннях успішне використання методу балансування навантаження залежить від наявності низько навантажених суміжних сусідніх базових станцій, які зможуть легко взяти на себе навантаження з перевантажених станцій. Однак можливі випадки в LTE, коли сусідні станції можуть не мати достатньої потужності. Крім того, в LTE-A HetNets (гетерогенні мережі – мережі, в яких об'єднуються комірки різних розмірів) навантаження трафіку має бути збалансованим серед станцій, що мають різний розмір максимальної потужності передачі та інші відмінні

показники продуктивності; отже, необхідно впроваджувати нові підходи для балансування навантаження в мережах LTE-A.

Деякі методи, що розглядаються на сьогодні для балансування навантаження в стільникових мережах LTE-A наступні.

Динамічний підхід до балансу навантаження, запропонований в [1], поєднує в собі традиційні стільникові технології та технології бездротової мережі для забезпечення економічно ефективного рішення для сильно завантажених мереж. Спеціальні ретрансляційні станції (ARS) використовуються для передачі сигналів. Таким чином використання ARS-навантаження переноситься з перевантаженої станції в неперевантажену.

Основною проблемою з вищезазначеними класичними схемами балансування навантаження є виникнення ірраціонального балансування навантаження, що спричиняє проблему "пінг-понга". Тобто навантаження буде повернене до вихідної станції за короткий проміжок часу. Для подолання цієї проблеми необхідно оптимізувати методологію аналізу управління ресурсами для самоорганізованого бездротового стільникового зв'язку. Крім того, це збільшує використання ресурсів в мережі, навіть якщо eNB відрізняються алгоритмами для балансування навантаження.

Адаптивний нейро-нечіткий підхід. В [2] було запропоноване використання м'якого підходу до обчислення динамічного розподілу навантаження на основі QoS. Для досягнення балансування навантаження використовуються три основні показники ефективності, а саме кількість задоволених користувачів, віртуальне навантаження та індекс розподілу.

Інший підхід, що базується на комунікації D2D (Device-to-Device), був запропонований в [3], який пропонує забезпечити ефективне управління трафіком у багаторівневих станціях відповідно до їхнього трафіку в реальному часі.

В даній роботі ми пропонуємо алгоритм на основі кластеризації, який був адаптований з [4] шляхом застосування його для LTE-A мереж.

**Опис алгоритму кластеризації.** Запропонований алгоритм є розподіленим, оскільки він виконується у кожній перевантаженій станції та контролюється з головної станції. Вхідні параметри для цього алгоритму — поточне навантаження кожної сусідньої станції, а також поточний запас хенодевра.

Алгоритм працює таким чином: спочатку кожна мобільна станція повідомляє про свої параметри обслуговуючій станції  $j$ . Ці виміри включають SNIR (відношення сигналу до шуму та інтерференції) вимірювання сусідніх станцій, а також обслуговуючої станції. У будь-який час  $i$  для будь-якої станції у системі, якщо відношення заблокованих викликів до загальної кількості прийнятих викликів більше певного значення QoS тоді станція вважається перевантаженою, і REQ\_Load\_Balance повідомлення надсилається головній станції.

Після цього головною станцією буде відправлене Load\_Balance\_Res повідомлення для виклику алгоритму на перевантаженій станції  $i$  в той же час ця станція додається до списку станцій для оновлення. Цей процес необхідний перед запуском алгоритму в будь-якій станції, для того щоб дана станція була виключена із пошуку для запобігання нескінченного циклу в системі. Проте, недоліком цього буде додаткова сигналізація, відповідно додаткові витрати між станціями, тому що кожна перевантажена станція спробує змістити перевантаження на сусідні, коли перевантажена більше ніж одна сусідня станція.

Після цього перевантажена станція запитує навантаження кожної сусідньої клітинки в списку. Це відображає поточне навантаження станцій. Кожна станція з навантаженням менше, ніж визначене буде додана до списку тих, яким буде призначено частину навантаження інших сусідніх перевантажених станцій. Таким чином є параметр для розрізнення перевантажених і неперевантажених станцій. Цей параметр є достатнім для виконання роботи, оскільки алгоритм буде рекурсивно вибирати наступну



перевантажену станцію та виключати повністю завантажені станції. Функція відображення використовується для оновлення параметру перевантажених станцій.

Алгоритм не є складним з точки зору реалізації, складність може бути в реалізації процесу обміну значеннями навантаження. Така додаткова сигналізація залежить тільки від кількості сусідній базових станцій і коефіцієнту періодичності. Описаний алгоритм зазначений на рис.1.

```
Мобільна станція повідомляє свої вимірювання обслуговуючому
станції j за допомогою (5)

Обслуговуюча станція j виявляє перевантаження, використовуючи
(11), і відправляє повідомлення Req_Load_Balance.

Головна станція додає станцію j до списку на оновлення і
відповідає відправивши Load_Balance_Res.

    Для кожної станції j (перевантажена станція), виконується
функція кластеризації для визначення частини трафіку, який
перегружає станцію з обмеженням (10)

        Для кожної станції i сусідньої для j, де i = 1... k
виконується оновлення (i, j) використовуючи (12) для
зменшення зони покриття, яка залежить від доступності
ресурсів сусідів

            i = i + 1

    Головна станція інформецься повідомленням Update_Balance_
Fin та видаляє j зі списку на оновлення

        j = j + 1
```

**Рис. 1. Алгоритм балансування навантаження на основі кластеризації**

**Аналіз алгоритму кластеризації.** Розглянемо площину покриття  $C$ , яка складається з  $n$  станцій:  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$  та множину мобільних

пристроїв  $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$ .  $M_{i,j}$  - мобільний пристрій  $i$ , підключений до базової станції  $C_j$ . Отримана потужність на пристрої  $i$  від станції  $j$ :

$$P_{rM_{i,j}} = \frac{P_{t_i} G_{i,j}}{L_{i,j}} \quad (1)$$

де  $P_{t_j}$  – потужність, надана станцією  $j$ ;  $G_{i,j}$  – потужність, отримана станцією  $i$ ;

$L_{i,j} = l \cdot d_{i,j}^\alpha \gamma$ , де  $l$  - константа частоти;  $d_{i,j}$  – відстань між  $i$  та  $j$ ;  $\alpha$  – витрати на шляху;  $\gamma$  – коефіцієнт ефекту затухання .

Вимірний сигнал з перешкодами та шумом:

$$SINR_{M_{i,j}} = \frac{P_{rM_{i,j}}}{I_{i,j} + N_s} \quad (2)$$

де  $N$  – шум, а  $I_{i,j}$  визначається як

$$I_{i,j} = \sum_{p \neq j} X(j,p) \rho_p P_{rM_{i,j}} \quad (3)$$

де  $X(j,p)$  визначається як

$X(j,p) = 1$ , якщо  $j,p$  використовують спільний діапазон частот;  $0$  — в іншому випадку

$$X(j,p) = \begin{cases} 1, & \text{коли } j,p \text{ використовують один бенд} \\ 0, & \text{коли } j,p \text{ використовують різні бенди} \end{cases} \quad (4)$$

де  $\rho_p$  — загрузка ресурсів, які використовуються.

Нехай відстані  $M_{i,j}$  як об'єкт в просторі, розміри якого обмежуються списком сусідніх базових станцій та обслуговуючої станції:

$$D_{M(i,j)} = f(SINR_{i,1}, \dots, SINR_{i,k}, SINR_{i,j}) \quad (5)$$

де  $\{1, \dots, k\}$  - довжина списку сусідніх станцій. Таким чином  $C_j$  – об'єкт в просторі такого ж розміру.

$$D_{C(j)} = f(SINR_1, \dots, SINR_k, SINR_j) \quad (6)$$

Припускаємо, що якщо станція вимірює отриману від сусідів потужність, вона є центроїдою кластеру. Тоді евклідова відстань між  $M_{i,j}$  та  $C_j$ :

$$X_{mi,j} = |D_{M(i,j)} - D_{C(j)}| \quad (7)$$

Алгоритм кластеризації виконується рекурсивно. Навантаження в кожній перевантаженій станції зіставляється з кластером, а потім це відображення використовується для налаштувати параметру хендоверу з кожною сусідньою коміркою. Загальне навантаження перевантаженої станції визначається як

$$L_{C_j} = \sum_{k=1}^2 S_k \quad (8)$$

де  $S_1$  – перший розмір кластеру, дані з якого будуть передані на іншій станції.  $S_2$  — розмір кластеру з нормальною завантаженістю  $C_j$ , причому

$$S_2 \leq L_{th} \quad (9)$$

де  $L_{th}$  – визначена межа завантаженості для кожної станції.

Обчислення розмірності одного кластера визначає розмір іншого. Для цього необхідно відсортувати станції відповідно до їх евклідових відстаней від перевантаженої станції і додавати ресурси для кожної станції, поки не буде досягнене максимальне порогове навантаження. Ця відстань позначатиме точку перетину між двома кластерами.

Розмір кластера  $S_1$  може бути обмежений сумою всіх наявних ресурсів у сусідніх станціях:

$$S_1 \leq \sum_{i=1}^k (1 - L_i) \quad (10)$$

де  $L_i$  – обчислена навантаженість сусідньої станції  $i$ .

Рівняння (10) потрібне, щоб попередити нескінчений цикл між станціями під час виконання алгоритму.

Перед виконанням алгоритму, необхідно виявити перевантажені клітини. В даній роботі для цього використовується наступна нерівність:

$$CBR \leq B_{th} \quad (11)$$

де  $CBR$  - заблоковані запити / загальна кількість отриманих запитів;  
 $B_{th}$  - попередньо визначений QoS поріг. В даній роботі приймаємо  $B_{th} = 2\%$ .

Параметр хендоверу (НМ) між перевантаженою станцією  $j$  та сусідньою станцією  $i$  визначається як:

$$HM(j, i) = HM_{def} + (HM_{def} - HM_{max})S_{j,i} \quad (12)$$

**Експериментальні результати.** Для оцінки запропонованого алгоритму була розроблена модель LTE на базі Opnet Modular 16. У сценарії моделювання ми порівнюємо продуктивність запропонованої система з запропонованим алгоритмом балансування навантаження і баз нього. Продуктивність вимірюється в термінах CBR. Таким чином CBR знизився майже до нуля для перевантажених станцій. Наприклад, до того, без алгоритму, CBR в станціях 1, 2 і 3 становив 6%, 9% та 10% відповідно, тобто 8% в середньому. Це значення було зменшене майже до 1%, після впровадження алгоритму.

Однією з найважливіших функцій будь-якого алгоритму балансування навантаження - це швидка адаптація до динамічної зміни в навантаженні в перевантажених станціях, що приводить до зменшення CBR.

**Висновки.** Умови роботи в стільниковій мережі різняться залежно від попиту абонентів, що може стати причиною несподіваного навантаження на певні мережеві ресурси з раптовим збільшенням використання мобільних даних. Балансування навантаження виконується для вивантаження надлишку трафіку на низько завантажені базові станції.

У даній роботі адаптований алгоритм балансування навантаження на основі методу кластеризації для мережі LTE. Результати показують зменшення відсотка відхилених викликів (CBR) на 80%. Розподіл навантаження перевантаженої клітини між сусідніми станціями

виконується лише за один крок, який значно зменшує накладні витрати ресурсів в мало навантажених станціях.

### **Література**

1. Куао К. Балансування навантаження через реле в бездротових системах наступного покоління / К. Куао, Х. Ву, О. Тонгуз; Proc. IEEE Mobile Ad-hoc Networking & Computing, 2000. – 149-150 с.
2. Адерамі А. "Адаптивна система нейро-нечітких висновків для балансу динамічного навантаження в 3GPP LTE" / А. Адерамі, К. Лука; Міжнародний журнал поглиблених досліджень в галузі штучного інтелекту 1.1, 2012. – 11-16 с.
3. Лиу Д. Зв'язок пристрою з пристроєм забезпечує ефективне балансування навантаження в сучасних мережах LTE / Д. Лиу, Ю. Кавамото, Х. Нішіяма; WirelessCommunications, IEEE, vol.21, no.2, 2014. – 57, 65 с.
4. Альтрад О. Балансування навантаження методом кластеризації / First A. Author, O. Altrad; Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT), Volume 3, Issue 2, 2013. – 50-56 с.