

ФОРМУВАННЯ ЗОНИ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗМІННОГО ВХІДНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

© Скулиш М. А., 2017

Запропоновано метод керування енергозбереженням у разі обслуговування абонентського навантаження групою обслуговуючих вузлів доступу до мережі, для забезпечення процесу обслуговування на заданому рівні якості в умовах багатоканального обслуговування, що враховує топологію розташування вузлів доступу та дає змогу перерозподіляти навантаження між станціями доступу до гетерогенного телекомунікаційного середовища, з урахуванням показників якості обслуговування кінцевого користувача та сумарних енергетичних витрат на обслуговування системи.

Ключові слова: мережа LTE, розподіл навантаження, базова станція LTE, енергоефективність мережі, оптимізація ресурсів.

М. А. Skulysh

National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”

FORMATION SERVICE AREA OF THE TRANSCEIVER STATION DEPENDING ON THE VARYING INPUT LOAD

© Skulysh M. A., 2017

The method of managing energy saving in maintaining a subscriber load by a group of service nodes of access to the network, to provide a service process at a given level of quality in the conditions of multi-channel service is proposed in this paper. It takes into account the topology of the location of access nodes, and allows redistributing the load between the access stations to the heterogeneous telecommunication environment, from taking into account end-user service quality and total energy system maintenance costs.

Key words: LTE network, load distribution, LTE base station, network energy efficiency, resource optimization.

Вступ

За останні декілька років істотно збільшилась кількість трафіку, який передається через мережі мобільного зв'язку. Найбільший потік припадає на передачу даних у режимі реального часу (голосова телефонія, передача відео з високою розподільною здатністю тощо). Щоб задовольнити потреби сучасних користувачів, мобільні оператори повинні надавати доступ до високопродуктивних онлайн-медіасервісів, таких як цифрова і відеотелефонія або цифрове телебачення. Все це призводить до значного збільшення навантаження на мережу, що потребує розроблення ефективних стратегій керування ресурсами, які будуть одночасно враховувати вимоги до якості обслуговування абонентів та оптимізувати енергетичні витрати системи [1].

Сучасні методи оптимізації використання мережевих ресурсів ґрунтуються на побудові короткострокових прогнозів та аналізі статистичних даних, на основі яких відбувається розподіл ресурсів сервера, однак не враховується можливість зменшення потужності базових станцій після встановлення з'єднання. У статті запропоновано метод керування енергозабезпеченням прий-

мально-передавальної станції, залежно від зміни вхідного навантаження на мережу. Цей метод враховує вимоги до показників якості обслуговування абонентів та топологію розташування вузлів мережі. Він дає змогу зменшити потужність базової станції так, щоб параметри якості залишились на заданому рівні. У такий спосіб можна підвищити ефективність споживання енергоресурсів і зменшити витрати на обслуговування системи.

Основні недоліки сучасних мереж доступу

Активне зростання мобільного трафіку, яке спостерігається сьогодні, характеризується такими особливостями:

- різноманітням та масштабністю (від голосової телефонії через соціальні мережі до мультимедійного відео з високою розподільною здатністю);
- унікальністю та персоналізацією (контекст, місцезнаходження, час, пристрій, ОС, контент користувача);
- постійною активністю (постійний попит та динамічне навантаження);
- чутливістю до зміни якості обслуговування (невисокі параметри QoS погано впливають на розвиток бізнесу та викликають невдоволення користувачів);
- шифруванням (спостерігається тенденція до збільшення кількості зашифрованого контенту) [2].

Всі ці особливості зумовлюють зростання вимог до параметрів якості обслуговування мережі. Зокрема, різноманітність прикладних програм та збільшення кількості трафіку, що передається в реальному часі, призводять до підвищення вимог до ресурсозабезпечення мережі. Користувачі очікують від провайдера можливості доступу до Інтернету в будь-якому місті з безшовними параметрами QoE.

Необхідність зробити телекомунікаційний сервіс максимально доступним дотепер забезпечувалася за рахунок налаштування параметрів роботи базових станцій на максимальну конфігурацію, що в умовах необхідності зменшувати енергоспоживання неефективно. Методи контролю енергоефективності пропонують використання динамічних моделей керування абонентськими пристроями для забезпечення вибору точки доступу до мережі, яка забезпечить енергоефективність системи загалом, або ж методи оптимізації обробки інформації на багатоядерному процесорі базової станції. Однак немає комплексних моделей, які б ґрунтувалися на аналізі навантаження на заданій території обслуговування, враховували вимоги до таких показників якості передачі, як затримка інформаційних пакетів, відсоток втрат, водночас забезпечуючи контроль потужності випромінювання сайта (базової станції).

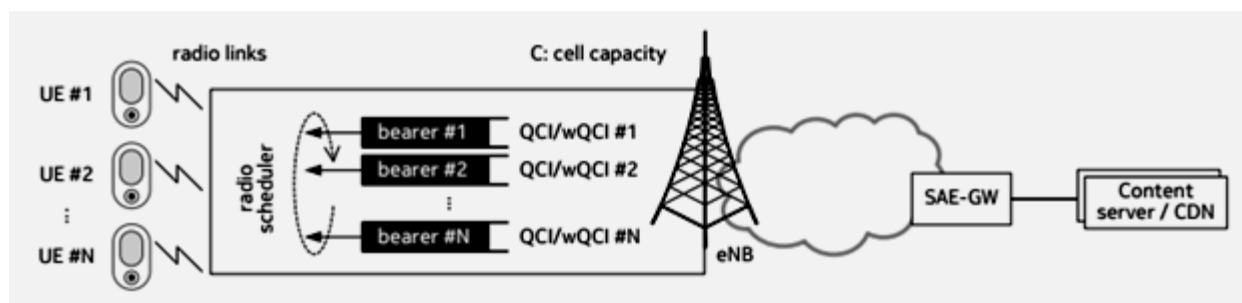
Основні недоліки стандартних радіосистем LTE такі:

- буферизація пакетів на основі носіїв та розподіл ресурсів на підставі агностики прикладних програм та агностик ресурсного попиту;
- розподіл ресурсів ґрунтується на статичних параметрах QoS, а не на динамічних вимогах QoE: $QCI \rightarrow \{GBR1, wQCI2, MBR, AMBR \text{ та ін.}\}$;
- відсутність деталізації оброблення трафіку на рівні сесії;
- відсутність стандартизованої диференціації між носіями [3].

Одним із перспективних напрямів удосконалення мереж LTE є створення ефективних механізмів керування ресурсами базових станцій. Тому сьогодні постає завдання – знайти спосіб оптимального використання та керування обмеженим спектральним ресурсом. Гнучкість керування ресурсами мережі може бути досягнута за рахунок заміни компонентів апаратного забезпечення гнучкими і багаторазовими програмно визначеними функціями. Отже, за допомогою технології хмарних обчислень можна досягти можливості ефективного керування ресурсами БС, а також уможливити групове керування ресурсами. Це дасть змогу оптимізувати використання обчислювальних ресурсів БС та збільшити ефективність оброблення потоку [4].

Недоліком сучасних мереж LTE є відсутність ефективних механізмів розподілу ресурсів на основі попиту користувачів. Необхідність створення розкладу роботи базових станцій

зумовлена відомостями про періодичність навантаження, а також можливість програмно регулювати потужність випромінювання базової станції. Загальну архітектуру мережі LTE зображено на рисунку.



Архітектура мережі LTE

Метод керування енергозбереженням у разі обслуговування абонентського навантаження групою обслуговуючих пристроїв

Метод керування енергозбереженням мережі, запропонований у цій статті, враховує динаміку зміни навантаження на обслуговуючі вузли мережі.

Постановка задачі. Рухомі абонентські термінали зв'язуються із вузлами доступу, створюючи навантаження на обслуговуючий вузол. Середнє значення навантаження лінійно зменшується. Необхідно розрахувати, на скільки можна знизити потужність базової станції, в результаті чого зменшиться зона покриття. Абонентів, які втратять достатній рівень сигналу базової станції, почнуть обслуговувати сусідні базові станції. Припустимо, заявки відключених абонентів рівномірно розподіляться між базовими станціями-сусідами. Потрібно розрахувати, на скільки можна знизити потужність базової станції, щоб показники якості обслуговування залишилися на заданому рівні, а кількість спожитих енергоресурсів була мінімальною.

Вхідні дані

G – граф вузлів обслуговування,

$|g|_{i,j=\overline{1,n}}$ – матриця зв'язності графа G ; n – кількість вузлів графа; $g_{ij}=1$, якщо вузол j є вузлом-сусідом вузла i , $g_{ij}=0$ – інакше.

μ_i – інтенсивність обслуговування заявки у вузлі i ($i = \overline{1,n}$), згідно з цим методом не змінюється;

λ_i – інтенсивність вхідного потоку заявок у вузол i до перерозподілу ($i = \overline{1,n}$),

$f_i(r_i, \rho_i)$ – значення функції енергоспоживання вузла i ($i = \overline{1,n}$) за завантаженості вузла $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$ та радіуса дії r_i , функція задана технічними характеристиками вузла обслуговування або отримана експериментально;

$\lambda_{i \max}$ – інтенсивність вхідного потоку заявок, оптимальна для вузла i ($i = \overline{1,n}$), яку розраховано за методом формування вхідного потоку навантаження для ефективного використання ресурсів обслуговування, описаного вище;

$\{0, r_i^1, r_i^2, \dots, r_i\}$ – неспадна послідовність можливих значень радіуса дії вузла i ($i = \overline{1,n}$).

Зміна навантаження на вузол обслуговування відбувається за рахунок зміни потужності випромінювання базової станції (БС), що призводить до зменшення радіуса дії БС r_i , відповідно до зменшення кількості абонентів, які зв'язуються з БС та створюють навантаження. Припускається, що абоненти рівномірно розташовані на території, що покривається БС.

Вихідні дані

r_i^* – розрахований радіус дії БС i ($i = \overline{1,n}$), що забезпечить мінімізацію сумарного енергоспоживання мережі обслуговуючих вузлів ($W_{\min}$).

Запропонований метод

Цільова функція запропонованого методу:

$$\sum_{i=1}^n f_i(r_i, \lambda_i^*) \rightarrow \min$$

За умов:

$$\lambda_i^* \leq \lambda_{i \max} \quad (1)$$

У разі зменшення інтенсивності вхідного потоку у вузлі i на $(\lambda_i - \lambda_i^*)$ інтенсивність вузлів-сусідів збільшується на $\lambda_{ij} = (\lambda_i - \lambda_i^*) / \sum_{j=1}^n g_{ij}$.

$$r_i^* \in \{0, r_i^1, r_i^2, \dots, r_i\}$$

Для розв'язання цієї задачі пропонуємо застосовувати метод динамічного програмування, відповідно до якого на кожному етапі послідовно розраховується енергоспоживання вузла, якщо радіус його дії змінюється у значеннях множини $R_i = \{0, r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^k, \dots, r_i^K\}$, $r_i^K = r_i$

Введемо позначення $\vec{\lambda}^{xk}$ – вектор значень інтенсивності вхідного навантаження на вузли мережі обслуговування, розраховані на етапі x , що відповідає радіусу дії вузла обслуговування $x - r_x^k$. Координата вектора $\vec{\lambda}^{xk} - \lambda_i^{xk}$ – це інтенсивність надходження заявок у вузол i ($i = \overline{1, n}$), яка розрахована на етапі x та відповідає радіусу дії вузла обслуговування $x - r_x^k$, ($k = \overline{1, K}$). Ця величина збільшується у разі перерозподілу абонентів у вузлах $j \in \{j | g_{ij} = 1\}$ та зменшується у випадку перерозподілу абонентів у вузлі i .

Відповідно до припущення про рівномірність розташування абонентів у зоні покриття вузла зменшення радіуса дії з r_i до r_x^k зменшить λ_i^x , нове значення $\lambda_i^x = \frac{r_i^k \lambda_i^x}{r_i}$, перерозподілене навантаження становитиме величину $\lambda_{ij} = \left(\lambda_i^x - \frac{r_i^k \lambda_i^x}{r_i} \right) / \sum_{j=1}^n g_{ij}$.

Введемо позначення:

$W_n(r_n^k, \vec{\lambda}^{nk})$ – енергоспоживання вузла n , якщо радіус його дії r_n^k , а інтенсивність вхідного навантаження λ_n^x ;

$W_z(r_z^k, \vec{\lambda}^{zk})$ – сумарне енергоспоживання вузлів $z, z+1, \dots, n$, якщо радіус дії вузла $z - r_z^k$, а інтенсивність вхідного навантаження – λ_z^x ;

$W_1(r_1^k, \vec{\lambda}^{1k})$ – сумарне енергоспоживання усіх системи обслуговування, радіус дії вузла $1 - r_1^k$, а інтенсивність вхідного навантаження – λ_z^x .

Алгоритм пошуку оптимального значення:

Крок 1. Для вузла n , для кожного $r_n^k \in R_n$, ($k = \overline{1, K}$), розрахувати вектор $\vec{\lambda}^{nk}$ так, що

$$\vec{\lambda}^{nk} = \begin{cases} \lambda_n^{nk} = \frac{r_n^k \lambda_n}{r_i} \\ \lambda_i^{nk} = \frac{\left(\lambda_n - \frac{r_i^k \lambda_n}{r_i} \right)}{\sum_{j=1}^n g_{nj}}, & \text{для всіх } \{i | g_{in} = 1\} \\ \lambda_i^{nk} = \lambda_i, & \text{для всіх } \{i | g_{in} = 0\} \end{cases}$$

Якщо існує таке i , для якого не виконується нерівність $\lambda_i^{nk} \leq \lambda_{i \max}$, тоді відповідний радіус r_n^k вилучається з множини R_n . Отже, $R_n = \{r_n^k | \lambda_i^{nk} \leq \lambda_{i \max}\}$

Для всіх $r_n^k \in R_n$ вузла n розрахувати, $W_n(r_n^k, \vec{\lambda}^{nk})$.

Крок z. Для вузла z, для кожного $r_z^k \in R_z$ розрахувати вектор $\overrightarrow{\lambda^{zk}}$, ($k = \overline{1, K}$), так, що

$$\overrightarrow{\lambda^{zk}} = \begin{cases} \lambda_z^{zk} = \frac{r_z^k \lambda_z^{(z+1)k}}{r_z} \\ \lambda_i^{zk} = \frac{\left(\lambda_n^{(z+1)k} - \frac{r_i^k \lambda_n^{(z+1)k}}{r_i} \right)}{\sum_{j=1}^n g_{nj}}, \text{ для усіх } \{i | g_{iz} = 1\} \\ \lambda_i^{zk} = \lambda_i^{(z+1)k}, \text{ для усіх } \{i | g_{iz} = 0\} \end{cases} \quad (2)$$

Перевіряємо виконання умови (1) та формуємо множину $R_z = \{r_z^k | \lambda_i^{zk} \leq \lambda_{i \max}\}$

Для всіх $r_z^k \in R_z$ вузла z розрахувати

$$W_z(r_z^k, \overrightarrow{\lambda^{zk}}) = \min_{r_{z+1}^k \in R_{z+1}} \left(f(r_z^k, \lambda_z^{zk}) + W_{z+1}(r_{z+1}^k, \overrightarrow{\lambda^{(z+1)k}}) \right) \quad (3)$$

Крок n. Для вузла 1, для кожного $r_1^k \in R_1$ розрахувати вектор $\overrightarrow{\lambda^{1k}}$, ($k = \overline{1, K}$), за формулами (2), якщо z=1, знайти множину $R_1 = \{r_1^k | \lambda_i^{1k} \leq \lambda_{i \max}\}$

Для всіх $r_1^k \in R_1$ за формулою (3) розрахувати $W_1(r_1^k, \overrightarrow{\lambda^{1k}})$.

Мінімальне значення енергоспоживання системи обслуговуючих вузлів знайдемо за формулою:

$$W_{\min} = \min_{r_1^k \in R_1} \left(W_1(r_1^k, \overrightarrow{\lambda^{1k}}) \right)$$

Значення оптимального радіуса r_i^* , для i-го вузла обслуговування визначимо за такою схемою: $r_1^* = \operatorname{argmin} W_{\min}$, $r_2^* = \operatorname{argmin} W_1(r_1^*, \overrightarrow{\lambda^{1k}})$, ..., $r_n^* = \operatorname{argmin} W_{n-1}(r_{n-1}^*, \overrightarrow{\lambda^{(n-1)k}})$.

Застосування запропонованого методу дасть змогу оптимізувати використання ресурсів мережі доступу, зменшивши інтенсивність надходження абонентського трафіку. Розрахунок оптимального розподілу радіуса дії базових станцій необхідно здійснювати ковзковим способом, виконуючи розрахунок послідовно для різних множин n базових станцій, які перетинаються.

Висновок

У статті запропоновано метод керування енергозбереженням мережі оператора мобільного зв'язку в разі обслуговування абонентського навантаження групою обслуговуючих вузлів. Оптимізація використання ресурсів здійснюється за рахунок зменшення потужності базової станції на основі аналізу динаміки навантаження на систему, а параметри якості обслуговування залишаються на заданому рівні. Цей метод дає змогу підвищити енергоефективність мережі та зменшити витрати на її обслуговування.

1. Radics N. *Insight Based Dynamic QoE Management in LTE* / N. Radics, P. Szilágyi P., Cs. Vulkán // *IEEE 26th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'15)*. – 2015. – Hong Kong, China.
2. Skulysh M. *The method of resources involvement scheduling based on the long-term statistics ensuring quality and performance parameters* / M. Skulysh // *The Second International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics UkrMiCo'2017*. – 2017.
3. Szilágyi P. *Latency Control at Network and Transport Layer* / P. Szilágyi // *International Summer School on Latency Control for Internet of Services 27th*. – 2017, Karlstad, Sweden.
4. Тимченко І. О. *Модель міграції базових станцій між технологіями радіодоступу при використанні SDR та хмарного контролера базових станцій* / І. О. Тимченко, М. А. Скулиш // *Збірник матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції "ІТТ-2017"*. – 2017.