

**МЕТОД БАЛАНСУВАННЯ АБОНЕНТСЬКОГО НАВАНТАЖЕННЯ
МЕРЕЖІ КОМІРКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ**

© Бак Р.І., Чайковський І.Б., Бурачок Р.А., 2013

Bak R.I., Tchaikovsky I.B., Burachok R.A.
Lviv Polytechnic National University,**METHOD OF SUBSCRIBER NETWORK LOAD BALANCING
IN CELULAR NETWORK**

© Bak R.I., Tchaikovsky I.B., Burachok R.A., 2013

This paper is devoted to the solving the problem which occurs in cellular networks at times of peak busy hour when the radio resources are ended in one or more cells. Proposed method increases the availability of radio resources of mobile network through radio resources forced redistribution. Radio resources forced redistribution is transfer of a part of network load from congested sector to lower loaded sector. This is done by transferring subscriber load (forced handover) between closely-spaced sectors within the common coverage area. To perform a forced handover is necessary to the power of the signal that the user receives from a base station of destination sector was equal to or above the minimum operating value and the movement of the user was negligible relative to the radius of the cell during the average duration of a communication session. Classification of active subscribers at speeds of movement (the lower the speed, the higher the priority for forced handover) and class of service (the lower the rating, the higher the priority for forced handover) is made to limit the dimension of the problem of radio resource forced redistribution. The set of mobile network sectors is represented by a network graph. In this graph each node is a sector of the cell. Connecting nodes indicate the existence of a common coverage area for the relevant sectors. This connection is a prerequisite for the forced redistribution of network radio resource. Edge weighting coefficients indicate the value of bandwidth used by subscribers of one sector, when the signal power level from second sector is equal to or greater than the minimum operating value for these subscribers. Subscriber load balancing algorithm in a mobile network consists of five steps. Scanning the sector i with the highest factor loading K_i . Finding routes set H from node i to node j , in which the paths bandwidth is not less than $C_{i\min}$, and the load factor the sector j would not exceed $K_{\text{дон}}$ value after transferring to it the loads $C_{i\min}$. Searching in the set H the path h_{ij} with the minimum rank $R(h_{ij})$. Selecting subscribers in each node of the way h_{ij} (except the sector j), which will change the service sector. Transferring the user's load from the sector i to the sector j is a forced handover of the subscribers on the h_{ij} way, starting from the penultimate node in j , and ending from the i to the second node. For systems with more computing power complicated graph is offered, which allows to perform load balancing of mobile network more effectively.

Key words: cellular network, handover, sector load factor, load balancing.

Запропоновано алгоритм балансування абонентського навантаження у мережі мобільного зв'язку з метою зменшення коефіцієнта завантаження сектору. Цей метод підвищує доступність радіоресурсів мережі мобільного зв'язку за допомогою вимушеного перерозподілу радіоресурсу. Запропоновано класифікацію активних абонентів за швидкістю переміщення та класом використовуваних послуг на основі моніторингу стану абонентських терміналів.

Ключові слова: мережа коміркового зв'язку, хендовер, коефіцієнт завантаження сектору, балансування навантаження.

Вступ

У мобільному зв'язку поширеною проблемою є вичерпання радіоресурсу комірки у моменти пікового абонентського навантаження. У таких випадках абоненти, які намагаються здійснити дзвінок чи скористатися іншими послугами зв'язку (наприклад, Інтернет), отримують відмову в обслуговуванні. Така поведінка характерна і для мереж мобільного зв'язку стандартів GSM та LTE [2].

Запропоновано розв'язання задачі підвищення доступності мережевих радіоресурсів методом балансування абонентського навантаження. У разі підвищеного навантаження або перевантаження одного чи більше секторів мережі мобільного зв'язку з трисекторними антенами використовується вимушений перерозподіл радіоресурсів.

Умови вимушеного перерозподілу радіоресурсу та моніторинг стану абонентських терміналів

Суть вимушеного перерозподілу радіоресурсу полягає у перенесенні частини абонентського навантаження з сектору з підвищеним завантаженням чи перевантаженням до сектору з меншим рівнем завантаження. Це здійснюється шляхом перенесення абонентського навантаження (вимушеного хендоверу) між суміжними секторами в межах спільної території покриття.

Для здійснення вимушеного хендоверу необхідно задовольнити дві умови:

- потужність сигналу, який абонент отримує від сусідньої базової станції, дорівнює або перевищує мінімальне робоче значення;
- переміщення абонента за середню тривалість сеансу зв'язку незначне порівняно з радіусом комірки.

Для того, щоб обмежити розмірність задачі вимушеного перерозподілу радіоресурсу, потрібно провести класифікацію активних абонентів за швидкістю переміщення (чим нижча швидкість, тим вищий пріоритет для вимушеного хендоверу) та класом послуг (чим нижчий клас, тим вищий пріоритет для вимушеного хендоверу).

Отже, запропоновано такий розподіл мобільних абонентів на групи:

- 1) за їх швидкістю переміщення $V_{a\bar{b}}$, м/с [3]:
 - 1) майже нерухомі ($V_{a\bar{b}} < 0.28$);
 - 2) малорухомі ($0.28 < V_{a\bar{b}} \leq 1$);
 - 3) рухомі ($1 < V_{a\bar{b}} \leq 5$);
 - 4) швидкі ($5 < V_{a\bar{b}} \leq 16$);
 - 5) дуже швидкі ($V_{a\bar{b}} > 16$).
- за класом використовуваних послуг [1]:
 - 1) трафік реального часу;
 - 2) передавання даних, дуже інтерактивний трафік (сигнальна інформація);
 - 3) передавання даних, інтерактивний трафік;
 - 4) трафік з низькими втратами (дрібні пересилання, великий трафік, відеопотоки);
 - 5) традиційні додатки IP мереж.

Швидкість переміщення абонента визначається за такою формулою:

$$V_{a\bar{b}} = \frac{\sqrt{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2}}{\Delta t}, \quad (1)$$

де $(x_n - x_{n-1}), (y_n - y_{n-1})$ – зміна абсолютного значення прямокутних координат абонента за період Δt , що є інтервалом визначення стану термінального пристрою абонента і обчислюється за співвідношенням

$$\Delta t = \frac{R_{ком}}{V_{zp} \cdot k}, \quad (2)$$

де $R_{ком}$ – радіус комірки; V_{zp} – верхня межа швидкості у групі, до якої належить абонент (за замовчуванням, абонента зараховують до групи “рухомі”); k – кількість фіксацій стану термінального

пристрою абонента за тривалість переміщення на $R_{ком}$. Чим більше значення k , тим вища завантаженість системи, загалом, оскільки частіше потрібно визначати координати абонента та параметри його термінального пристрою.

Визначення координат абонентів здійснюється одночасно в межах однієї групи і окремо для кожної з груп.

Координати та параметри абонентських пристроїв зберігаються в системі моніторингу у вигляді динамічного масиву даних, у якому записано такі величини:

- координати (x,y) ;
- швидкість переміщення $V_{аб}$, м/с;
- середня швидкість $V_{сер}$, м/с;
- рівень потужності сигналу Ps_n від базових станцій із сусідніх секторів ($n = \overline{1,4}$ або $n = \overline{1,10}$ залежно від обчислювальної потужності системи).

Цей масив система ініціалізує тільки для активних абонентів у момент початку сеансу зв'язку і видаляє після його завершення. Дані в масив заносяться кожні Δt секунд.

Алгоритм балансування абонентського навантаження у мережі мобільного зв'язку

Сукупність секторів мережі мобільного зв'язку (рис. 1, а) можна зобразити графом (рис. 1, б), де кожен вузол – це сектор відповідної комірки.

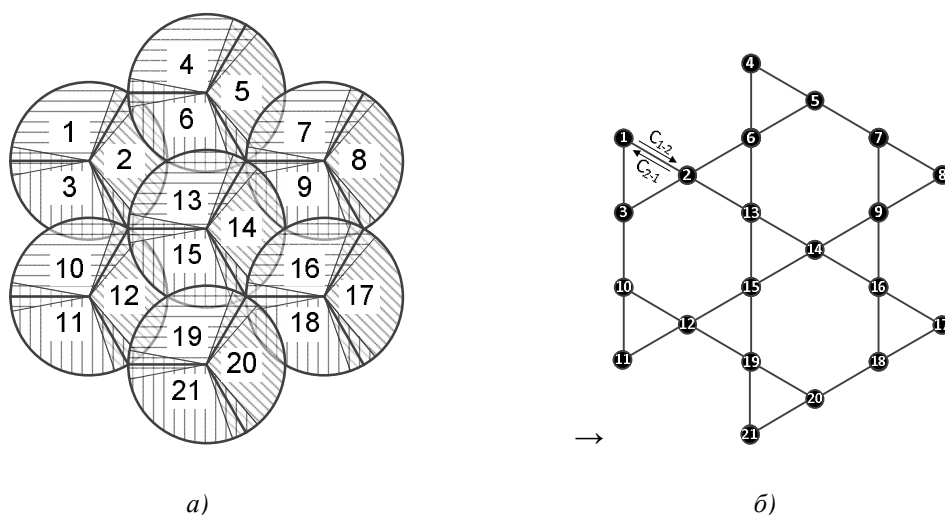


Рис. 1. Зображення графом сукупності секторів мережі мобільного зв'язку

З'єднання вузлів означають існування спільної території покриття для відповідних секторів, що є передумовою для вимушеного перерозподілу радіоресурсів мережі.

Вагові коефіцієнти ребер (наприклад, для ребра 1–2) означають величину пропускної спроможності C_{1-2} , яку займають абоненти сектору 1, за умови, що рівень потужності сигналу Ps_2 , який абонент отримує із сектору 2, дорівнює або перевищує мінімальне робоче значення $Ps_{доп}$.

Кожен вузол графа має власний коефіцієнт K_i , який означає рівень завантаженості i -го сектору:

$$K_i = \frac{C_i}{C_{i\max}}, \quad i = \overline{1, 2 \dots N}, \quad (3)$$

де C_i , $C_{\max i}$ – зайнята та максимальна пропускна спроможність i -го сектору; N – кількість секторів (вузлів).

Алгоритм балансування абонентського навантаження у мережі мобільного зв'язку складається з п'яти кроків:

Крок 1. Пошук сектору i з найбільшим коефіцієнтом завантаження K_i . Якщо коефіцієнт завантаження K_i не перевищує допустиме значення $K_{\text{доп}} = 0.8$, то продовжуємо пошук, аналізуючи пропущені сектори, якщо такі є.

Якщо K_i перевищує $K_{\text{доп}}$, то знаходимо мінімальну величину пропускну спроможності $C_{i \min}$, яку необхідно вивільнити у секторі:

$$C_{i \min} = (K_i - K_{\text{доп}}) \cdot C_{\max i}, \quad K_i > K_{\text{доп}} \quad (4)$$

Якщо існує вихід з вузла i , тобто

$$C_{i \min} \leq C_{i-x}, \quad (5)$$

де x – номер будь-якого сусіднього з i -м сектору, то переходимо до кроку 2, якщо ні – то починаємо крок 1 спочатку, і пропускаємо проаналізований сектор.

Крок 2. Пошук множини маршрутів H від вузла i до вузла j , в яких пропускну спроможність шляхів не менша $C_{i \min}$, а коефіцієнт завантаження сектору j не перевищуватиме $K_{\text{доп}}$ після перенесення в нього навантаження $C_{i \min}$:

$$H = \left\{ h_{ij} \mid \left(K_j > K_{\text{доп}} - \frac{C_{\min i}}{C_{\max j}} \right) \wedge (C_{h_{ij}} \geq C_{\min i}) \wedge (i \neq j) \right\}, \quad j = \overline{1, 2 \dots N} \quad (6)$$

де h_{ij} – шлях від вузла i до вузла j .

Крок 3. Пошук у множині H шляху h_{ij} з мінімальним рангом $R(h_{ij})$.

$$R(h_{ij}) = \min(R(H)), \quad h_{ij} \in H \quad (7)$$

Крок 4. Вибір абонентів у кожному вузлі (секторі) шляху h_{ij} (крім сектору j), для яких буде змінено сектор обслуговування.

Для кожного вузла n шляху h_{ij} формуємо множину A_n з абонентів a_n , які обслуговуються в секторі n , отримують сигнал з достатнім рівнем потужності $Ps_{a_{n+1}}$ для обслуговування із сектору $(n+1)$ та знаходяться у групі з найменшою швидкістю переміщення.

$$A_n = \{a_n \mid (Ps_{a_{n+1}} \geq Ps_{\text{доп}}) \wedge (V_{\text{сер } a_n} < V_{\text{зр1}})\}, \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j) \quad (8)$$

Якщо

$$\sum_{a_n \in A_n} C_{a_n} < C_{\min i}, \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (9)$$

то

$$A_n = A_n \cup \{a_n \mid (Ps_{a_{n+1}} \geq P_{\text{доп}}) \wedge (V_{\text{зр1}} \leq V_{\text{сер } a_n} < V_{\text{зр2}}) \wedge (n \neq j)\} \quad (10)$$

Так продовжується доти, доки виконується умова (9).

Якщо умова не виконується, то множину абонентів AB_n для зміни сектору обслуговування з n на $(n+1)$ можна визначити як

$$AB_n = A_n, \quad (11)$$

якщо виконується така умова:

$$\sum_{a_n \in A_n} C_{a_n} - C_{A_n \min} < C_{i \min}, \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (12)$$

де $C_{A_n \min}$ – мінімальна пропускну спроможність, якою користується абонент множини A_n .

Якщо умова (12) не виконується, то з множин A_n формуємо множини абонентів B_n , керуючись класом сервісу q (початкове значення $q = 5$).

$$B_n = \{a_n \mid (a_n \in A_n) \wedge (ToS_{a_n} = q)\} \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j) \quad (13)$$

Якщо

$$\sum_{a_n \in B_n} C_{a_n} < C_{i \min}, \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (14)$$

то $q = q - 1$.

$$B_n = B_n \cup \{a_n \mid (a_n \in A_n) \wedge (ToS_{a_n} = q)\} \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j) \quad (15)$$

Так продовжується, поки виконується умова (14).

Якщо умова не виконується, то множину абонентів AB_n для зміни сектору обслуговування з n на $(n + 1)$ можна визначити як

$$AB_n = B_n, \quad (16)$$

якщо виконується така умова:

$$\sum_{a_n \in B_n} C_{a_n} - C_{\min B_n} < C_{\min i}, \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (17)$$

де $C_{B_n \min}$ – мінімальна пропускна спроможність, якою користується абонент множини B_n .

Якщо умова (17) не виконується, то визначення множини AB_n відбувається за мінімальною швидкістю переміщення абонентів множин B_n .

$$AB_n = \{a_n \mid (a_n \in B_n) \wedge (V_{cep a_n} = V_{\min B_n})\} \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (18)$$

де $V_{B_n \min}$ – мінімальна швидкість переміщення абонентів множини B_n .

Якщо

$$\sum_{a_n \in AB_n} C_{a_n} < C_{\min i}, \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (19)$$

то

$$B_n = B_n \setminus AB_n, \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j) \quad (20)$$

$$AB_n = AB_n \cup \{a_n \mid (a_n \in B_n) \wedge (V_{cep a_n} = V_{\min B_n})\} \quad (n \in h_{ij}) \wedge (n \neq j), \quad (21)$$

Так продовжується доти, поки виконується умова (19). Якщо умова не виконується, то переходимо до кроку 5.

Крок 5. Переміщення абонентського навантаження з сектору i в сектор j , тобто вимушений хендовер абонентів по шляху h_{ij} , починаючи з передостаннього в j -й, і закінчуючи з i -го в другий.

Зауважимо, що для систем з високою обчислювальною потужністю граф зображений на рис. 1, δ можна замінити ускладненим графом (рис. 2). Це дозволить ефективніше здійснювати балансування абонентського навантаження мережі мобільного зв'язку у разі виникнення перевантаження одного чи більше секторів.

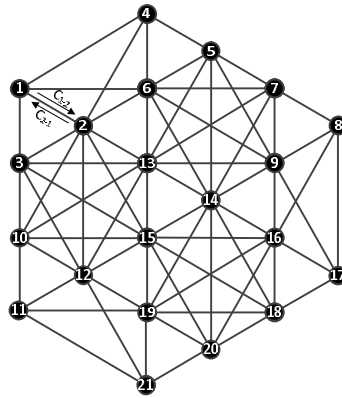


Рис. 2. Зображення ускладненим графом секторів мережі мобільного зв'язку

Висновки

Запропоновано спосіб підвищення доступності радіоресурсів перевантажених секторів мережі мобільного зв'язку методом балансування абонентського навантаження. Для розв'язання цієї задачі запропоновано класифікацію активних абонентів за швидкістю переміщення та класом використовуваних послуг на основі моніторингу стану абонентських терміналів та розроблено алгоритм балансування абонентського навантаження у мережі мобільного зв'язку. У такий спосіб буде здійснено вивільнення радіоресурсу, який є необхідним для надання послуг абонентам у перевантаженій комірці. Також запропоновано ускладнений граф (рис. 2) для систем з більшою обчислювальною потужністю, для ефективнішого балансування абонентського навантаження у години найбільшого навантаження.

1. Аналіз класів трафіку мультисервісних мереж з точки зору вимог до пока зників QoS. / Фунтакова О.В., Воропаєва В.Я. // "Информатика и компьютерные технологии-2011". Донецьк, 22 листопада 2011 року. Матер. конф. – 2011. С. 401-404. 2. M. Chiang, C. W. Tan, D. Palomar, D. O'Neill, and D. Julian, "Power control by geometric programming," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 6, no. 7, pp. 2640–2651, July 2007. 3. Бак Р.І., Чайковський І.Б., Шийка Я.В., Гнатчук М.М. Спосіб підвищення доступності радіоресурсу систем мобільного зв'язку в перевантаженому режимі роботи. // *Наук.-метод. конф. "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій – 2012"*, Львів, 7–9 листопада 2012 р. Матеріали конференції. – 2012. – С. 89–91.