

УДК. 621.396.677.859

О.О. Болюбаш

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ВПЛИВ ПОТУЖНОСТІ СИГНАЛУ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ НА СЕРЕДНЮ ЗАТРИМКУ ПАКЕТА ДАНИХ В МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛІННЯ (4G)

*Досліджується вплив потужності сигналів базових станцій на середню затримку пакета даних в мережі мобільного зв'язку четвертого покоління в випадку активації процедури хендоверу унаслідок збільшення інтерференції сигналу від базових станцій.*

**Ключові слова:** хендовер, мобільна станція, базова станція, середня затримка пакета даних.

### Вступ

**Постановка проблеми.** В останній час швидко розвивається технологія зв'язку четвертого покоління (4G) у мережах мобільного зв'язку. Вони дозволяють отримувати такі швидкості передачі інформації, які обумовлюють можливість отримання абонентом інтернет-послуг, проведення відеоконференцій та інше. До сімейства 4G, як правило, відносять технології, які дозволяють передавати дані в стільникових мережах з швидкістю вище 100 Мбіт/сек. У широкому розумінні 4G - це ще і технології бездротової передачі інтернет-даних Wi-Fi (швидкісні варіанти цього стандарту) і WIMAX (у теорії швидкість може перевищувати 1 Гбіт/сек).

Голова Держінформнауки відзначає, що розуміння необхідності подальшого розвитку, розповсюдження і популяризації технології зв'язку четвертого покоління в українському суспільстві існує. Так, в Стратегії розвитку інформаційного суспільства в Україні, яку уряд схвалив на засіданні 15 травня 2013, наголошується, що одним із стримуючих чинників впровадження електронного управління в Україні є проблеми організації широкопasmового доступу для користувачів і низькі показники якості доступу до інтернету.

Одним з найважливіших аспектом, який характеризує якість обслуговування у цьому стандарті є середня затримка пакета даних в мережі передачі даних (МПД), яка в свою чергу напряму залежить від реалізації процедури хендоверу. В випадку активації процедури хендоверу в 4G визначено, що одного абонента одночасно «ведуть» до 6 базових станцій (БС).

Дослідження взаємозв'язку між потужністю сигналу базових станцій та середньою затримкою пакета даних в мережі в випадку активації процедури хендоверу унаслідок збільшення інтерференції сигналів від базових станцій або виникнення перешкод є актуальною проблемою.

**Аналіз останніх публікацій.** У опублікованих раніше матеріалах дослідженню питання взає-

мозв'язку між потужністю сигналу базової станції та середньою затримкою пакета даних в мережі при активації процесу хендоверу приділяється недостатньо уваги [5, 6, 8, 11]. Наприклад, в деяких дослідженнях хендовер заснований на визначенні дистанції, тобто рішення про хендовер або збільшення потужності сигналу ухвалюється на підставі аналізу відстані мобільної станції (МС) від базової [7]. Важливо, що інтерференція, що створюється абонентом при хендовері, апроксимується як подвоєння інтерференції від абонента поза процесом хендоверу [5, 8]. Для мереж третього та четвертого покоління (3G, 4G), у яких МС супроводжуються не однією, а багатьма БС (3-6 БС), визначення залежності середньої затримки пакета даних, як одного із найважливіших показників якості обслуговування, від потужності сигналу, є найбільш важливим так, як від цього залежить можливість надання послуг, що визначені цими стандартами [5, 11]. В свою чергу, середня затримка пакету даних в мережі передачі даних може бути використана в якості показника, що характеризує необхідність змінювати потужність сигналу базової станції та взагалі активувати процедуру хендоверу [1 – 4].

**Метою статті** є дослідження впливу потужностей сигналів базових станцій на середню затримку пакета даних у мережах мобільного зв'язку четвертого покоління в випадку активації процедури хендоверу.

### Виклад основного матеріалу

Як досліджуване радіосередовище пропонується використовувати макростільники [11]. Математична модель радіоканалу описується формулою:

$$L(r, \zeta) = r^{-\alpha} \cdot 10^{\frac{\zeta}{10}}, \quad (1)$$

де  $r$  – відстань від МС до обслуговуючої БС;  $\alpha$  – показник загасання з типовим значенням 4;  $\zeta$  (у дБ) – розподіл гауса, що показує загасання унаслідок затінення, з нульовим середнім і стандартною девіацією  $\sigma$ , яка залежить від відстані.

Пропонується застосувати для дослідження модель мережі, що ідеалізується, складається з дев'ятнадцяти соканальних макростільників ( $M=19$ ). Відомо, що в CDMA-мережах інтерференція є обмежуючим чинником, тому необхідно визначити основні джерела інтерференції, можливі види прояву інтерференції і параметри, що впливають на інтерференцію. Інтерференція може бути поділена на два типи: інтерференція усередині стільника (intra-cell) і інтерференція між стільниками (inter-cell) [5].

Інтерференція в МПД усередині стільника intra-cell, створювана БС<sub>1</sub>, розраховується як

$$I_{intra-cell} = P_{T1} (1-a) r_1^{-\alpha} 10^{\zeta_1/10}, \quad (2)$$

де  $P_{T1}$  – загальна потужність передачі БС<sub>1</sub>;  $r_1$  – дистанція між UE і БС<sub>1</sub>;  $\alpha$  – показник втрат на шляху розповсюдження;  $a$  – коефіцієнт ортогональності.

Інтерференція між стільниками inter-cell може бути обчислена таким чином:

$$I_{inter-cell} = \sum_{i=2}^M P_{Ti} r_i^{-\alpha} 10^{\zeta_i/10}, \quad (3)$$

де  $P_{Ti}$  – макстимальна потужність передачі БС<sub>i</sub>;  $r_i$  – дистанція між МС і БС<sub>i</sub>;  $\alpha$  – показник втрат на шляху розповсюдження;  $M$  – кількість БС, що є джерелами інтерференції між стільниками.

Припускаючи, що навантаження розподілене рівномірно усередині системи, тобто всі БС переда-

ють з однаковими рівнями потужності, вираз для потужності  $P_s$  виділеного низхідного каналу при граничних співвідношеннях, тобто не враховуючи тепловий шум, може бути записано у вигляді:

$$P_s = \frac{vR}{W} \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_t \left[ 1-a + \sum_{i=2}^{19} \left( \frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10} \right] \cdot P_T = \beta_1 \cdot P_T, \quad (4)$$

де  $W$  – швидкість обробки пакета даних процесором БС;  $R$  – швидкість передачі службових пакетів даних;  $v$  – коефіцієнт активності для даного типу послуги;  $(E_b/I_0)_t$  – опорне значення відношення енергії бита до спектральної щільності потужності шуму  $(E_b/I_0)$ , встановлюване контролером БС відповідно до значень помилок BER;  $\beta_1$  – коефіцієнт, що показує відносний рівень необхідної потужності для UE без «м'якого» хендвера.

Сумарная швидкість передачі службових пакетів даних в МПД визначається виразом:

$$R + W = l_p / T_p, \quad (5)$$

де  $l_p$  – середній об'єм пакета (у бітах) переданих у МПД даних;  $T_p$  – середня затримка службового пакета даних у МПД.

При м'якому хендвері в двох і трьох напрямках загальна потужність, необхідна для підтримки МС, виражається формулами:

$$P_{S1} + P_{S2} = \frac{2 \frac{vR}{W} \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_t}{\frac{1}{1-a + \sum_{i=2}^{19} \left( \frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10}} + \frac{1}{1-a + \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq 2)}}^{19} \left( \frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}}} \cdot P_T = \beta_2 \cdot P_T; \quad (6)$$

$$P_{S1} + P_{S2} + P_{S3} = \frac{3 \frac{vR}{W} \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_t}{\frac{1}{1-a + \sum_{i=2}^{19} \left( \frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10}} + \frac{1}{1-a + \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq 2)}}^{19} \left( \frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}} + \frac{1}{1-a + \sum_{\substack{k=1 \\ (k \neq 3)}}^{19} \left( \frac{r_k}{r_3} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_k - \zeta_3)/10}}} \cdot P_T = \beta_3 \cdot P_T. \quad (7)$$

Тут  $\beta_2$  і  $\beta_3$  показують відносний рівень загальної необхідної потужності для UE при «м'якому» хендвері в двох і трьох напрямках відповідно.

Потужність, призначена для певного користувача, є інтерференцією для інших користувачів. От-

же  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  також відображають інтерференцію, зведену на UE. Із формул 4, 5 отримуємо, що середня затримка пакета даних у МПД при активації процедури «м'якого» хендверу, тобто МС обслуговується трьома БС, дорівнює:

$$P_{S1} + P_{S2} + P_{S3} = P_T \cdot \frac{\sqrt{(l_p/T_p - W)}}{W} \times \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_t \left/ \frac{1}{1-a + \sum_{i=2}^{19} \left( \frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10}} + \frac{1}{1-a + \sum_{\substack{j=1 \\ (j \neq 2)}}^{19} \left( \frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}} + \frac{1}{1-a + \sum_{\substack{k=1 \\ (k \neq 3)}}^{19} \left( \frac{r_k}{r_3} \right)^{-\alpha} 10^{(\zeta_k - \zeta_3)/10}} \right, \quad (8)$$

$$T_p = l_p / W \times \left[ v \cdot \left( \frac{E_b}{I_0} \right)_t \frac{1}{1-a + \sum_{i=2}^{19} \left( \frac{r_i}{r_1} \right)^{-\alpha} \frac{1}{10^{(\zeta_i - \zeta_1)/10}}} + \frac{1}{1-a + \sum_{j=1}^{19} \left( \frac{r_j}{r_2} \right)^{-\alpha} \frac{1}{10^{(\zeta_j - \zeta_2)/10}}} + \frac{1}{1-a + \sum_{k=1}^{19} \left( \frac{r_k}{r_3} \right)^{-\alpha} \frac{1}{10^{(\zeta_k - \zeta_3)/10}}} \cdot P_T \right]^{-1} \cdot (9)$$

**Висновки**

Результати дослідження залежності значення  $T_p$  від радіопараметрів і місцеположення абонентів показали:

1. За відсутності затінювань для підтримки опорного значення  $E_b/I_0$  та необхідного значення  $T_p$  при м'якому хендовері в трьох напрямках потрібно більше потужності, чим при м'якому хендовері в двох напрямках..

2. Для МС, що знаходяться біля меж стільника, при м'якому хендовері в середньому необхідно менше енергії для підтримки опорного відношення  $E_b/I_0$ .

3. Для абонентів, що знаходяться в кутах соти, при «м'якому» хендовері в трьох напрямках виділяється менше енергії, чим при хендовері в двох напрямках.

4. Для МС, що знаходяться на лінії, яка сполучає БС, хендовер в двох напрямках завжди має кращі показники, чим трьохнаправлений.

5. Вочевидь, залежність середньої затримки пакета даних у МПД від потужності  $P_s$  виділеного низхідного каналу при граничних співвідношеннях при застосуванні «жорсткого» хендоверу.

Потужність, призначена для певного користувача, є інтерференцією для інших користувачів. Отже  $\beta_1$  також відображає інтерференцію, зведену на МС.

5. Інтерференція від інших БС є причиною погіршення якості обслуговування, а саме збільшення середньої затримки пакета даних у МПД.

Без застосування «м'якого» хендовера, для збереження  $E_b/I_0$  не нижче за опорне значення, абонентіві може бути відмовлено, або обслуговування

продовжитись з  $T_p$  нижче опорного. «М'який» хендовер вирішує цю проблему розділенням потужності між станціями. Крім того, «м'який» хендовер зменшує вірогідність погіршення  $T_p$ .

**Список літератури**

1. Болюбаш А.А. Характеристики процесса перегрузок маршрутизатора / А.А. Болюбаш // Вестник НТУ „ХПИ”. – Х.: НТУ „ХПИ”, 2003. – Вып. 26. – С. 141 – 146.
2. Бэкман Д. Системы обмена сообщениями на новом витке развития / Д. Бэкман // Сети и системы связи. – 1999. – №2. – С. 50 – 60.
3. Галлагер Р.Д., Бертсекас Д. Сети передачи данных / Под ред. Б.С. Цыбакова. – М., 1989. – 544с.
4. Зайченко Ю.П. Комп'ютерні мережі / Ю.П. Зайченко. – К.: Слово, 2003. – 283 с.
5. Карташевский В.Г. Сети подвижной связи / В.Г. Карташевский, С.Н. Семенов, Т.В. Фирстова. – М.: Эко-Трендз, 2001. – 300 с.
6. Веселовский К. Системы подвижной радиосвязи / К. Веселовский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 536 с.
7. Бабков В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – СПб.: СПбГУТ, 2000. – 196 с.
8. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи / Ю.А. Громаков. – М.: Эко-Трендз, 2007. – 238 с.
9. Назаров А.Н. Расчет структурно-сетевых параметров сети АТМ / А.Н. Назаров. – М.: «Горячая линия – Телеком», 2002. – 256 с.
10. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В.Г. Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2001. – 672с.
11. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения / Л.М. Невдяев. – М.: МЦНТИ, 2000. – 208 с.

Надійшла до редколегії 5.11.2013

**Рецензент:** д-р техн. наук ст. наук співр. Г.А. Кучук, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ СИГНАЛА БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ НА СРЕДНЮЮ ЗАДЕРЖКУ ПАКЕТА ДАННЫХ В СЕТИ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ЧЕТВЕРТОГО ПОКОЛЕНИЯ (4G)**

А.А. Болюбаш

*Исследуется влияние мощности сигналов базовых станции на среднюю задержку пакета данных в сети мобильной связи четвертого поколения в случае активации процедуры хэндовера в результате увеличения интерференции сигнала от базовых станций.*

**Ключевые слова:** хендовер, мобильная станция, базовая станция, средняя задержка пакета данных.

**INFLUENCING OF POWER OF SIGNAL OF BASE IS THE STATIONS ON DELAY OF PACKAGE OF INFORMATION IN NETWORK TO MOBILE COMMUNICATION OF FOURTH GENERATION (4G)**

A.A. Bolyubash

*Probed influencing of power of signals base the station on middle delay of package of information in a mobile communication of fourth generation network in the case of activating of procedure of handover as a result of increase of interference of signal from the base stations.*

**Keywords:** handover, mobile station, base station, middle delay of package of information.