

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

продовжиться 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 станций 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:** хэндовер, 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.