

**РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ І ПОРІВНЯЛЬНОГО АНАЛІЗУ
МОДЕЛІ РОЗПОДІЛУ БЛОКІВ ПЛАНУВАННЯ В
НИЗХІДНОМУ КАНАЛІ ЗВ'ЯЗКУ ТЕХНОЛОГІЇ LTE**

Гаркуша С.В., *Харківський національний університет
радіоелектроніки*
sv.garkusha@mail.ru

В технології LTE (Long-Term Evolution), розробленої 3GPP (3rd Generation Partnership Project), одним з ефективних шляхів підвищення продуктивності і поліпшення основних показників якості обслуговування (Quality of Service, QoS) є удосконалення мережних протоколів і механізмів, що відповідають за планування доступних мережних ресурсів. До подібного роду ресурсів, перш за все, відносяться часовий ресурс – OFDM-символи і частотний ресурс – частотні піднесучі. В технології LTE, як і в HSDPA або WiMAX, механізми планування ресурсів низхідного каналу зв'язку не визначені стандартом, залишаючи право вибору за виробниками обладнання базових станцій (evolved NodeB, eNodeB) [1].

Проаналізовано підходи [2, 3] до розподілу частотного і часового ресурсів, що використовують алгоритм Round Robin Scheduler, Max C/I Ratio і Proportional Fair Scheduling. Проведений аналіз показав, що використання зазначених методів направлено на застосування інтерактивного «best effort» класу даних. Використання зазначеного класу обслуговування (Class of Service, CoS) забезпечує доставку даних для користувачьких станцій (User Equipment, UE) в міру можливостей без гарантій швидкості передачі даних. Підвищення якості обслуговування при плануванні частотно-часового ресурсу кожної UE має бути спрямовано на забезпечення гарантованої швидкості передачі з можливістю доступу до додаткової (не гарантуємої) смуги пропускання.

У зв'язку з цим розроблено математичну модель планування частотно-часового ресурсу в низхідному каналі зв'язку технології LTE, сформульованої як задача розподілу блоків планування (Scheduling Block, SB), для забезпечення гарантованої швидкості передачі UE [4].

Запропонована математична модель спрямована на застосування в бездротових мережах технології LTE, що використовують часовий та частотний розподіл каналів. У ході вирішення задачі розподілу блоків планування в рамках запропонованої моделі необхідно

виконати ряд важливих умов-обмежень: умова закріплення кожного SB низхідного каналу зв'язку протягом передачі кожного підкадру не більше ніж за однією UE; умова виділення UE блоків планування тільки низхідного каналу; умова закріплення за кожною UE кількості SB, що забезпечує необхідну швидкість передачі в низхідному каналі зв'язку при використуваній схемі модуляції і кодування (Modulation and Coding Scheme, MCS); умова об'єднання SB в групі ресурсних блоків (resource block groups, RBG), що задовольняють ширині використуваного частотного каналу. Задача розподілу SB вирішується з використанням критерію оптимальності, спрямованого на максимізацію загальної продуктивності низхідного каналу зв'язку.

В якості прикладу отримано рішення сформульованої в роботі оптимізаційної задачі з використанням системи MatLab R2012b. При цьому задіяна програма `minlpAssign` пакету оптимізації TOMLAB. Для прикладу всім користувачьким станціям були встановлені однакові необхідні швидкості передачі, які приймали значення $R_{необ}^n = 0 \div 0,26$ Мбіт/с.

Як показали результати моделювання загальна продуктивність низхідного каналу зв'язку, при використанні відомих методів, протягом всього інтервалу вимірювання не змінювалася і становила для методу Round Robin – 0,9622 Мбіт/с, методу Proportional Fair – 1,2377 Мбіт/с, а для методу Max C/I Ratio – 1,4192 Мбіт/с. Загальна продуктивність низхідного каналу зв'язку при використанні запропонованої моделі на ділянці $R_{необ}^n = 0 \div 0,15$ Мбіт/с мала максимальне значення, відповідне методом Max C/I Ratio і становила 1,4192 Мбіт/с. На інтервалі $R_{необ}^n = 0,15 \div 0,26$ Мбіт/с загальна продуктивність зменшилася на 3 % до значення 1,3641 Мбіт/с.

На рис. 1 наведені результати моделювання, що відображають динаміку зміни ступеня балансування пропускної здатності низхідного каналу між UE, який визначався у відповідності з виразом

$$F^i = 1 - (\max_n R_n^i - \min_n R_n^i) / \sum_{n=1}^N R_n^i,$$

де R_n^i – швидкість передачі n -й UE на i -му інтервалі вимірювання, $n = \overline{1, N}$, N – кількість UE.

Як показали результати моделювання (рис. 1) ступінь балансування пропускної здатності низхідного каналу при використанні відомих методів протягом всього інтервалу вимірювання не змінювався і становив для методу Round Robin – 0,9421, для методу

Proportional Fair – 0,9163, а для методу Max C/I Ratio – 0,8214. Ступінь балансування пропускної здатності низхідного каналу зв'язку при використанні запропонованої моделі на ділянці $R_{mp\sigma}^n = 0 \div 0,15$ Мбіт/с мала мінімальне значення, відповідне методу Max C/I Ratio і становила 0,8214, а на інтервалі $R_{mp\sigma}^n = 0,15 \div 0,26$ Мбіт/с збільшилася до значення 0,9859.

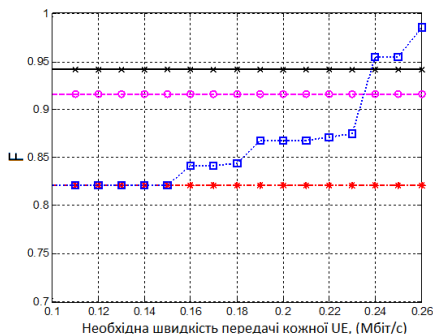


Рис. 1. Ступінь балансування пропускної здатності низхідного каналу зв'язку, де \times відповідає методу Round Robin, $-\ast-$ – методу Max C/I Ratio, $-\circ-$ – методу Proportional Fair, $-\square-$ – запропонованій моделі

На рис. 2 представлені результати розрахунку ймовірності виконання вимог по швидкості передачі, що виділяється всім UE, яка на i -му інтервалі вимірювання визначалась з виразу

$$P^i = \sum_{n=1}^N Q_n^i / N,$$

де $\sum_{n=1}^N Q_n^i$ – кількість UE, яким виділена необхідна швидкість передачі

на i -му інтервалі вимірювання, тобто $Q_n^i = \begin{cases} 0, & \text{если } R_n^i < R_{необ}^i; \\ 1, & \text{если } R_n^i \geq R_{необ}^i. \end{cases}$

Як показали результати моделювання виконання вимог щодо швидкості передачі відомими методами забезпечується тільки при невисоких значеннях $R_{необ}^n = 0 \div 0,15$ Мбіт/с. Використання запропонованої моделі забезпечує виділення необхідної швидкості передачі UE на всьому інтервалі вимірювання $R_{необ}^n = 0 \div 0,26$ Мбіт/с.

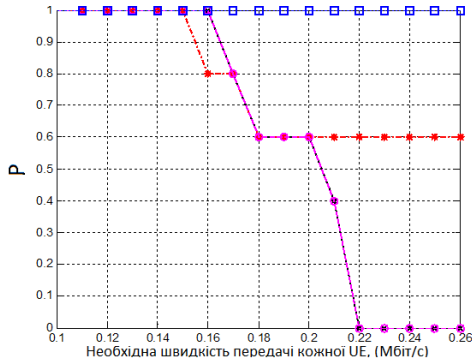


Рис. 2. Ймовірність виділення UE необхідної швидкості передачі, де \blacksquare — відповідає методу Round Robin, $\text{---}\ast\text{---}$ — методу Max C/I Ratio, $\text{---}\circ\text{---}$ — методу Proportional Fair, $\text{---}\square\text{---}$ — запропонованій моделі

Порівняльний аналіз показав, що в умовах високих вимог до швидкості передачі користувачських станцій використання запропонованої моделі, в порівнянні з відомими методами, дозволяє на 5-20 % підвищити ступінь балансування пропускної здатності низхідного каналу зв'язку (рис. 1), а також на 40-100 % підвищити ймовірність виділення користувачським станціям необхідної швидкості передачі (рис. 2). При цьому продуктивність низхідного каналу зв'язку, в умовах високих вимог до швидкості передачі, на 3 % менше продуктивності одержуваної з використанням методу Max C/I Ratio і на 10-42 % більше продуктивності з використанням методів Round Robin і Proportional Fair.

Література

- [1] Ghosh A., J. Zhang, R. Muhamed, Andrews J. Cr. *Fundamentals of LTE*. Prentice Hall, USA, 2010. – 464 p.
- [2] Kawser M. T., Farid H. M. A. B., Hasin A. R., Sadik A. M. J., Razu I. K. *Performance Comparison between Round Robin and Proportional Fair Scheduling Methods for LTE // International Journal of Information and Electronics Engineering*, 2012. – Vol. 2, No. 5. – P. 678-681.
- [3] Galaviz G., Covarrubias D. H., Andrade A. G., Villarreal S. *A resource block organization strategy for scheduling in carrier aggregated systems. EURASIP // Journal on Wireless Communications and Networking*, 2012. – P. 107-124.
- [4] Гаркуша С.В., Василенко Ю.А. *Модель планирования частотно-временного ресурса в нисходящем канале связи технологии LTE // Научно-технический Вестник информационных технологий, мехенники и оптики*, 2013. – Вып. 3(85). – С. 92-98.