

Тарбаєв С.І., Твердохліб М.Г. *Державний університет телекомунікацій, Київ.*

ПОРІВНЯННЯ СТРАТЕГІЙ РОЗПОДІЛУ РЕСУРСІВ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ LTE З ТОЧКИ ЗОРУ ВИКОРИСТАННЯ ЇЇ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ

Техніка передавання у радіозв'язку досягла високого ступеня досконалості і наблизилася до теоретичної межі. В цих умовах у мобільному зв'язку на перший план виходить задача максимізації ефективності використання радіоресурсу. Тут значну роль відіграє система диспетчеризації, яка забезпечує розподіл пропускної спроможності базової станції (БС) між мобільними терміналами. Вимоги до роботи системи є різноплановими. З одного боку необхідно забезпечити максимальне використання ресурсу. З іншого боку бажано забезпечити «справедливий» розподіл ресурсу пропускної спроможності БС між мобільними терміналами.

У роботі порівняно ефективність використання пропускної спроможності базової станції системи LTE при різних стратегіях роботи алгоритмів системи розподілу ресурсів між мобільними терміналами, а саме при: а) максимізації використання пропускної спроможності базової станції, б) рівному розподілу частотно-часового ресурсу між мобільними терміналами, в) рівному розподілу пропускної спроможності між терміналами. Реалізація стратегії «а» призводить до неприйняттого (вкрай нерівномірного) розподілу пропускної спроможності між терміналами. Показано, що реалізація стратегій «б» та «в» призводить до зменшення використання пропускної спроможності базової станції (в 3 – 4 рази). Реалізація розподілу за стратегією «в», яка більш «справедлива», ніж реалізація за стратегією б, у незначному ступені зменшує використання пропускної спроможності (з 30 до 25%).

Зроблений висновок, що доцільним можна вважати варіант максимізації мінімуму, тобто варіант «в». У ньому, у порівнянні з варіантом рівномірного розподілу частотно-часового ресурсу, значно зменшується «несправедливість» розподілу ресурсу між терміналами при помірному зменшенні використання пропускної спроможності БС.

Ключові слова: LTE, розподіл ресурсу мобільної мережі, диспетчеризація.

Tarbaiev S.I., Tverdokhlib M.H. *State University of Telecommunications, Kyiv*

COMPARISON OF RESOURCE ALLOCATION STRATEGIES FOR LTE BASIC STATIONS FROM THE POINT OF VIEW OF USING ITS THROUGHPUT

The transmission technique in radio communications has reached a high degree of perfection and has approached the theoretical limit. In these conditions, the task of maximizing the efficiency of using radio resources comes to the fore in mobile communications. Here, a scheduling system plays a significant role, which ensures the distribution of the base station (BS) bandwidth between mobile terminals. The requirements for the operation of the system are diverse. On the one hand, it is necessary to ensure maximum use of the resource. On the other hand, it is desirable to ensure a “fair” allocation of BS bandwidth resource between mobile terminals.

The work compares the efficiency of bandwidth usage of the base station of the LTE system for different strategies of the operation of the algorithms of the resource allocation system between mobile terminals, namely: a) maximizing the use of the throughput of the base station, b) equal distribution of the time-frequency resource between mobile terminals, c) equal throughput allocation between terminals. The implementation of strategy “a” leads to an unacceptable (extremely uneven)

distribution of throughput between terminals. It is shown that the implementation of strategies “b” and “c” leads to a decrease in the use of the bandwidth of the base station (3-4 times). Implementation of distribution according to strategy “c”, which is more “fair” than implementation according to strategy «b», slightly reduces the use of bandwidth (from 30 to 25%).

It is concluded that the option of maximizing the minimum, that is, option «c», can be considered appropriate. In it, in comparison with the uniform distribution of the time-frequency resource, the “injustice” of resource distribution between the terminals is significantly reduced with a moderate decrease in the use of BS bandwidth.

Keywords: LTE, mobile network resource allocation, scheduling.

Тарбаев С.И., Твердохлеб Н.Г. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

СРАВНЕНИЕ СТРАТЕГИЙ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ LTE С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

Техника передачи в радиосвязи достигла высокой степени совершенства и приблизилась к теоретическому пределу. В этих условиях в мобильной связи на первый план выходит задача максимизации эффективности использования радиоресурса. Здесь значительную роль играет система диспетчеризации, которая обеспечивает распределение пропускной способности базовой станции (БС) между мобильными терминалами. Требования к работе системы разноплановы. С одной стороны необходимо обеспечить максимальное использование ресурса. С другой стороны желательно обеспечить «справедливое» распределение ресурса пропускной способности БС между мобильными терминалами.

В работе проведено сравнение эффективности использования пропускной способности базовой станции системы LTE при разных стратегиях работы алгоритмов системы распределения ресурсов между мобильными терминалами, а именно при: а) максимизации использования пропускной способности базовой станции, б) равном распределении частотно-временного ресурса между мобильными терминалами, в) равном распределении пропускной способности между терминалами. Реализация стратегии «а» приводит до неприемлемого (крайне неравномерного) распределения пропускной способности между терминалами. Показано, что реализация стратегий «б» и «в» приводит к снижению использования пропускной способности базовой станции (в 3 – 4 раза). Реализация распределения по стратегии «в», которая более «справедлива», чем реализация по стратегии «б», в незначительной степени уменьшает использование пропускной способности (с 30 до 25%).

Сделан вывод, что целесообразным можно считать вариант максимизации минимума, то есть вариант «в». В нем, по сравнению с вариантом равномерного распределения частотно-временного ресурса, значительно снижается «несправедливость» распределения ресурса между терминалами при умеренном снижении использования пропускной способности БС.

Ключевые слова: LTE, распределение ресурса мобильной сети, диспетчеризация.

Вступ.

На теперішній час техніка передавання у радіозв'язку досягла високого ступеня досконалості і наблизилася до теоретичної межі, яка визначається рівнянням Шеннона-Гартлі. У цих умовах у мобільному зв'язку на перший план виходить задача максимізації ефективності використання наявного радіоресурсу [1]. Значну роль у забезпеченні ефективності використання радіоресурсу відіграє система диспетчеризації, тобто система розподілу ресурсів між мобільними терміналами [2, 3]. Вимоги до роботи системи диспетчеризації є різноплановими. З одного боку необхідно забезпечити ефективно використання ресурсу базової станції (БС) системи мобільного зв'язку, а саме максимальне

використання її пропускної спроможності. З іншого боку бажано забезпечити «справедливий» розподіл ресурсу пропускної спроможності БС між мобільними терміналами.

Базова станція LTE має фіксований частотно-часовий ресурс, що визначається заданою частотною смугою роботи БС. Цей ресурс характеризується кількістю ресурсних блоків. Система диспетчеризації розподіляє ресурсні блоки між мобільними терміналами. Швидкість передавання від БС до терміналу, що забезпечується одним ресурсним блоком, залежить від співвідношення потужності сигналу до суми потужностей перешкод з-за інтерференції та шуму на вході приймача терміналу (SINR). Значенням SINR визначається використаний вид модуляції (кратність QAM) та використана відносна швидкість коду, що виправляє помилки [3]. Вимоги ефективності використання пропускної спроможності БС та справедливості розподілу ресурсів між мобільними терміналами не є сумісними оскільки для максимізації використання пропускної спроможності базової станції необхідно наявний частотно-часовий ресурс надавати мобільним терміналам, що знаходяться у найкращих умовах приймання радіосигналу. При цьому інші термінали можуть не отримати можливість передавання даних або отримати можливість роботи з невеликою швидкістю; і це не є справедливим.

Процесом диспетчеризації керує базова станція. Вона передає мобільним терміналам інформацію про виділені ресурсні блоки та параметри модуляції і коду виправлення помилок. Від терміналів БС отримує інформацію про стан тракту передавання радіосигналу. Технологія LTE детально стандартизована організацією 3GPP. Стосовно роботи систем диспетчеризації стандартизовані формати обміну керуючими та інформаційними повідомленнями. Власне стратегія та алгоритми роботи системи диспетчеризації не стандартизовані і розробляються та реалізуються виробниками обладнання [2]. Оцінка стратегій (мети роботи) та розробка ефективних алгоритмів диспетчеризації та оцінка їх роботи є актуальною задачею.

Аналіз літературних джерел та завдання дослідження.

У літературі розглядаються різні варіанти задач роботи алгоритмів диспетчеризації [1, 2]. Аналізу роботи та пропозиція по способу роботи систем диспетчеризації технології LTE присвячена значна кількість робіт. Ці роботи стосуються аналізу та огляду відомих алгоритмів роботи системи диспетчеризації [4, 5, 6], пропозицій по їх удосконаленню, розробці нових алгоритмів диспетчеризації [7, 8, 9]. Щодо аналізу роботи алгоритмів треба виділити роботу [4], у якій проведено класифікацію та детальний аналіз роботи основних відомих алгоритмів. Але поза увагою цих робіт залишається питання, які потенційно можуть біти досягнуті результати, щодо використання пропускної спроможності базової станції при різних стратегіях диспетчеризації.

Дана робота присвячена визначенню ступеня використання пропускної спроможності базової станції системи LTE у напрямку від БС до мобільного терміналу для трьох варіантів стратегії роботи алгоритмів диспетчеризації, а саме.

Варіант А - максимальна ступінь використання пропускної спроможності БС;

Варіант Б - рівномірний розподіл частотно-часового ресурсу БС між усіма терміналами, що бажають передавати дані;

Варіант В - усі терміналами, що бажають передавати дані, отримують однакову середню швидкість передавання даних.

Основна частина.

Розрахунок ведемо при таких спрощуючих умовах. Розглядаємо ізольовану БС. При цьому вважаємо, що:

- термінали розташовані рівномірно на площині дії БС,
- кількість терміналів, які бажають приймати дані у зоні дії БС, достатня для використання усього ресурсу пропускної спроможності БС,
- розповсюдження випромінювання БС відбувається на рівній площині, вільній від перешкод для розповсюдження,
- потужність перешкод (шумів та перешкод, спричинених інтерференцією) однакова на території, що розглядається.

У системі LTE для передавання від базової станції до терміналу використовується технологія багатостанційного доступу OFDMA. Розподіл ресурсу виконується одночасно у часі та за частотою. Найменший елемент розподілу зветься ресурсним елементом (RE). Швидкість передавання інформації одним RE залежить від виду модуляції та виду каналного кодування для виправлення помилок (MCS – Modulation and Coding Scheme). В LTE використовуються варіанти модуляції 64QAM, 16QAM та QPSK (в LTE Advanced Pro доданий ще варіант 256QAM) та відносні швидкості турбокоду від 1/3 до 4/5. Максимальна пропускна спроможність одного ресурсного елемента LTE складає 960 біт/с, мінімальна – 133 біт/с.

Пропускна здатність ресурсного елемента залежить від співвідношення SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio). Параметри модуляції та кодування обираються обладнанням автоматично таким чином, щоб при наявному SINR забезпечити максимальну швидкість передавання при припустимому коефіцієнті помилок.

Для вирішення поставленої задачі необхідно знати залежність швидкості передавання інформації ресурсним елементом (s) від відстані від терміналу до БС (r). Ця залежність має характер, який показаний на рис. 1.

При умові відсутності перешкод розповсюдженню радіосигналу між БС та терміналом потужність прийнятого терміналом сигналу зменшується пропорційно квадрату відстані. При відстанях від 0 до деякого значення r_b рівень прийнятого сигналу забезпечує передавання на максимальній швидкості s_m . При $r > r_b$ обладнання для забезпечення якості передавання автоматично зменшує кратність модуляції та швидкість кодування – швидкість передавання інформації зменшується. А починаючи з деякої відстані $r = r_b R$ приймання сигналу з визначеною якістю стає неможливим.

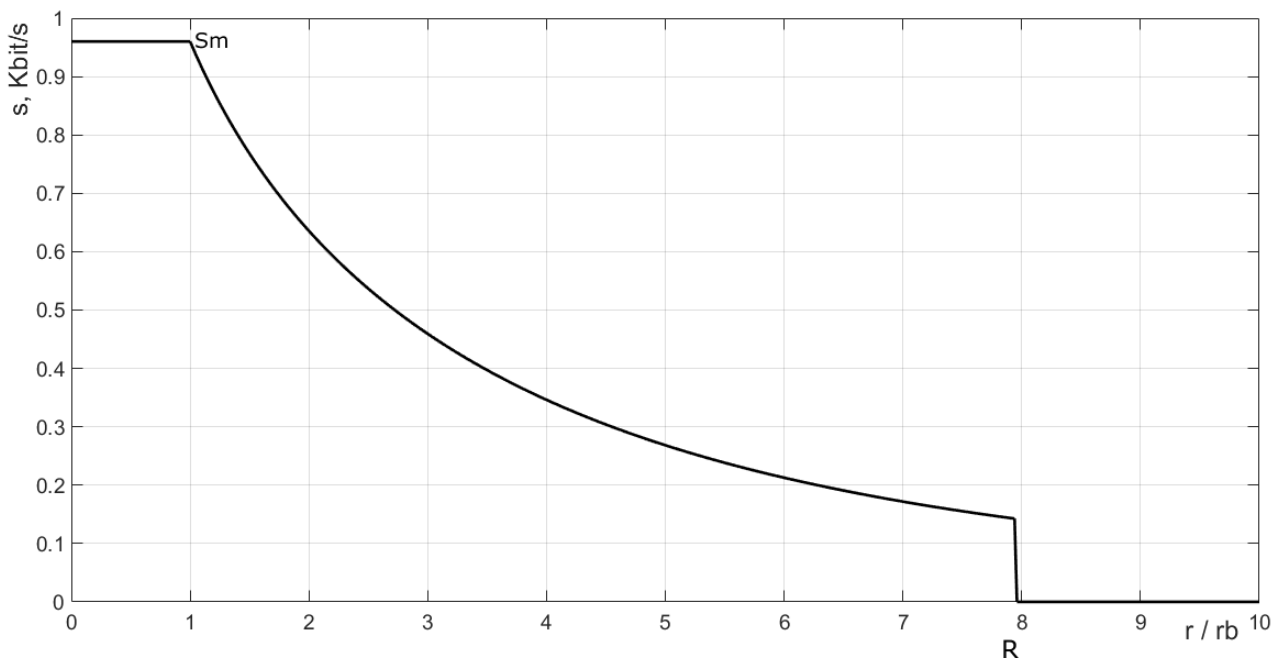


Рис. 1. Залежність швидкості передавання від відстані

Технологія LTE забезпечує ефективне використання радіоресурсу у такому ступені, що швидкість передавання близька до максимально досяжної величини, що визначається формулою Шеннона-Гартлі [3]. Тому можна написати для пропускної спроможності RE у точці графіку $r = r_b$.

$$s_m \approx \Delta f \frac{T_s}{T_{slot}} \log_2(1 + \Gamma_b), \quad (1)$$

де Δf – ширина смуги підканалу, T_s – довжина символу, T_{slot} – період повторення символів, Γ_b – значення SINR при відстані r_b .

При $r > r_b$ значення SINR зменшується пропорційно квадрату відстані, тому

$$s(r) \approx \Delta f \frac{T_s}{T_{slot}} \log_2 \left(1 + \Gamma_b \frac{r_b^2}{r^2} \right). \quad (2)$$

При $r > r_{max}$ передавання інформації неможливе.

Таким чином залежність пропускнуої спроможності RE від відстані

$$s(r) = \begin{cases} s_m & 0 \leq r \leq r_b \\ s_m \log_2 \left(1 + \Gamma_b \frac{r_b^2}{r^2} \right) / \log_2 (1 + \Gamma_b) & r_b < r \leq r_{max} \\ 0 & r_{max} \leq r \end{cases} \quad (3)$$

Примітка. У цьому виразі використаний знак дорівнює, тому що вираз заснований на співвідношенні величин (1) та (2), похибка у яких має однакову величину.

Графік на рис. 1 побудований для даних для системи LTE [3, глава 10], відповідно яким максимальна швидкість забезпечується при > 17 dB (64QAM, швидкість кода 4/5), а працездатність можлива при SINR > -1 dB. Для QPSK, швидкості кода 1/3 $s(r_{max})/s_m$ становить 7,2. Зміні SINR на 18 dB відповідає $r_{max}/r_b = 7,94$.

При стратегії диспетчеризації А (максимальна ступінь використання пропускнуої спроможності БС) алгоритм диспетчеризації повинен розподіляти весь частотно-часовий ресурс терміналам, що працюють у ближній зоні, тобто в межах зони з радіусом r_b . Використання пропускнуої спроможності B буде максимально можливим

$$B = B_{max} = s_m N_{RE}, \quad (4)$$

де N_{RE} – число ресурсних елементів.

При стратегії диспетчеризації Б, тобто рівномірному розподілу ресурсних елементів між мобільними терміналами, що знаходяться у зоні дії БС ($0 > r > r_{max}$) термінали отримують неоднакову швидкість передавання даних, тим меншу, чим далі вони розташовані від БС. Для розрахунку використання пропускнуої спроможності БС необхідно сумувати пропускнуої спроможності ресурсних елементів $s(r)$ по площині зони дії БС. З урахуванням значної кількості RE суму можна приблизно замінити на інтегрування. Діаграма пропускнуої спроможності ресурсних елементів має кругову симетрію, тому інтегрування по поверхні замінюємо інтегруванням по радіусу з коефіцієнтом $2\pi r$.

$$\begin{aligned} B &\approx \iint_p s(r) dp = \frac{N_{RE}}{\pi r_{max}^2} \int_0^{r_{max}} s(r) \cdot 2\pi r dr \approx \\ &= s_m \frac{N_{RE}}{\pi r_{max}^2} \left(\pi r_b^2 + \frac{2\pi}{\log_2 (1 + \Gamma_b)} \int_{r_b}^{r_{max}} r \log_2 \left(1 + \Gamma_b \frac{r_b^2}{r^2} \right) dr \right) \end{aligned} \quad (5)$$

де $\frac{N_{RE}}{\pi r_{max}^2}$ – щільність розподілу RE по площині дії БС, p – площа зони дії БС.

Назвемо $R = r_{max}/r_b$ відносним радіусом зони дії БС. Після інтегрування та з урахуванням (4) отримуємо

$$B \approx B_{\max} \frac{1}{\log_2(1 + \Gamma_b)} \left[\log_2 \left(1 + \frac{\Gamma_b}{R^2} \right) + \frac{\Gamma_b}{R^2} \log_2 \left(\frac{\Gamma_b + R^2}{\Gamma_b + 1} \right) \right] \quad (6)$$

Приклад. За отриманим виразом коефіцієнт використання пропускної спроможності БС, тобто B/B_{\max} , при умовах, наведених вище (при побудові графіка рис. 1), для відносного радіуса дії БС 7,94 становить 30,9%.

При стратегії диспетчеризації В, тобто рівномірному розподілі швидкісного ресурсу БС між усіма терміналами, що бажають передавати дані, терміналам повинна надаватися кількість RE обернено пропорційна пропускній спроможності RE. Це забезпечує максимізацію мінімальної швидкості передавання даних, яку отримують термінали. При цьому використання пропускної спроможності БС на одиницю площини буде однаковою по усій площині. (Але використання пропускної спроможності БС у порівнянні з варіантом Б зменшується оскільки більша частина RE надається терміналам, розташованим на периферії зони дії БС). Для виконання заданої умови просторова щільність числа RE повинна бути

$$n(r) = \begin{cases} k & 0 \leq r \leq r_b \\ k \frac{\log_2(1 + \Gamma_b)}{\log_2(1 + \Gamma_b \frac{r_b^2}{r^2})} & r_b < r \leq r_{\max} \\ 0 & r_{\max} < r \end{cases} \quad (7)$$

Тут k - просторова щільність числа RE у ближній зоні.

Значення k можна обчислити, виходячи з умови відомої загальної кількості числа ресурсних елементів N_{RE} . З рівняння

$$\iint_p n(r) dp = \int_0^{r_{\max}} n(r) d(\pi r^2) = N_{RE}$$

отримуємо

$$k = \frac{N_{RE}}{\pi r_b^2} \left/ \left(1 + 2 \log_2(1 + \Gamma_b) \int_1^R \frac{x}{\log_2(1 + \frac{\Gamma_b}{x^2})} dx \right) \right. \quad (8)$$

де $R = r_{\max}/r_b$ відносний радіус зони дії БС, $x = r/r_b$ відносна відстань терміналу від БС.

Пропускна спроможність на одиницю площини у ближній зоні становить $s_m k$. Оскільки вона однакова в усій зоні дії БС загальна пропускна спроможність

$$B \approx s_m k \pi r_{\max}^2.$$

З урахуванням (8) та (4) отримуємо

$$B \approx B_{\max} R^2 \left/ \left(1 + 2 \log_2(1 + \Gamma_b) \int_1^R \frac{x}{\log_2(1 + \frac{\Gamma_b}{x^2})} dx \right) \right. \quad (9)$$

Де $R = r_{\max}/r_b$ відносний радіус зони дії БС.

Приклад. За отриманими рівняннями коефіцієнт використання пропускної спроможності БС, тобто B/B_{max} , при умовах, наведених вище (при побудові графіка рис. 1), для відносного радіуса дії БС 7,94 становить 24,6%.

Проведені обчислення відповідають теоретичному варіанту, коли зони дії БС не перекриваються. При більш щільному розташуванні БС радіус зони дії БС зменшується і коефіцієнт використання пропускної спроможності БС збільшується. Для ілюстрації на рис. 2 наведені за отриманими результатами графіки залежності ступеня використання пропускної спроможності БС (B/B_{max}) від діаметра зони дії БС для алгоритмів диспетчеризації, що діють за двома варіантами цілей: рівномірний розподіл частотно-часових ресурсів між терміналами, що бажають передавати дані (графік а) та забезпечення однакової пропускної спроможності для таких терміналів (графік б).

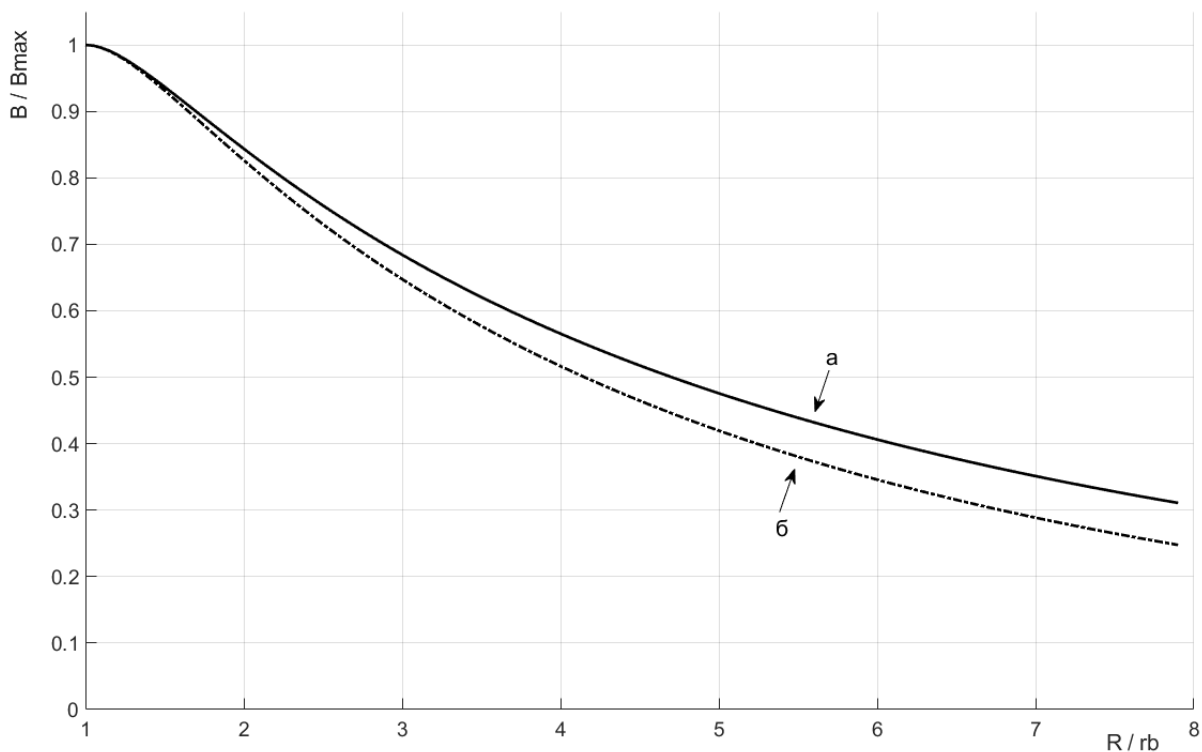


Рис. 2. Залежність використання пропускної спроможності від радіуса зони дії БС

Висновки.

Розглянуті три варіанти стратегій диспетчеризації при розподілі ресурсу базової станції між терміналами та обчислені ступені використання при цьому пропускної спроможності базової станції.

1. При диспетчеризації для досягнення максимальної пропускної спроможності весь ресурс надається працюючим терміналам, що знаходяться у ближній зоні дії БС; інші термінали не отримують ресурсів. Коефіцієнт використання пропускної спроможності БС становить 100%. Але цей варіант неприйнятний з точки зору задоволення користувачів.

2. При диспетчеризації з рівномірним розподілом частотно-часового ресурсу між працюючими терміналами усі термінали отримають можливість передавання даних, але отримана терміналами пропускна спроможність суттєво різниться. При умовах роботи за стандартами LTE пропускна спроможність різниться у 7,2 рази. Використання пропускної спроможності БС для взятих для прикладу умов становить 30,9%.

3. При диспетчеризації з рівномірним розподілом пропускної спроможності між працюючими терміналами (задача максимізації мінімуму) рівномірний розподіл досягається

за рахунок більшого виділення частотно-часового ресурсу терміналам, що знаходяться на більшій відстані від БС. Використання пропускної спроможності БС для взятих для прикладу умов становить 24,6%.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що доцільним можна вважати варіант максимізації мінімуму. У варіанті значно зменшується «несправедливість» розподілу ресурсу між терміналами при помірному зменшенні використання пропускної спроможності у порівнянні з варіантом рівномірного розподілу частотно-часового ресурсу (наприклад, зменшенні з 30,9% до 24,6%).

References

1. Miao G., Zander J., Won Sung K., Slimane Ben Slimane. (2016) "Fundamentals of mobile data networks". Cambridge University Press, 304 p.
2. Dahlman E., Parkvall S., Skold J. (2016) "4G, LTE-Advanced Pro and The Road to 5G". 3rd ed. Academic Press. 590 p.
3. Sesia S., Toufik I. (2011) "LTE – the UMTS long term evolution: from theory to practice" 2nd ed. John Wiley & Sons. 752 p.
4. Capozzi F. Piro G., Grieco L.A., Boggia E. G., Camarda P. (2013) "Downlink Packet Scheduling in LTE Cellular Networks: Key Design Issues and a Survey". IEEE Communications Surveys & Tutorials. Vol. 15, No.2. P. 678 - 700. DOI:10.1109/SURV.2012.060912.00100.
5. Gadam M. A., Miajama'a L., Usman I.H. (2013) "Review of resource allocation techniques for throughput maximization in downlink LTE". Journal of Theoretical and Applied Information Technology. ISSN: 1992-8645. Vol. 58, No.2. P. 413 – 420.
6. Ahmad A., Berg M.T., Ahmad S.N. (2015) "Resource allocation algorithms in LTE: A comparative analysis". IEEE Conference Paper, New Delhi, India, 17-20 Dec. 2015. DOI: 10.1109/INDICON.2015.7443115.
7. Kwan R., Leung C., Zhang J. (2010) "Downlink Resource Scheduling in an LTE System". Mobile and Wireless Communications Physical Layer Development and Implementation, S. Fares and F. Adachi (Ed.), InTech, Chapter 11. P. 189 – 207. DOI: 10.5772/7687.
8. Mamman M., Hanapi Z.M., Abdullah A., Muhammed A. (2019) "Quality of Service Class Identifier (QCI) radio resource allocation algorithm for LTE downlink". PLOS ONE. Jan. 25 2019. 22 p. DOI:10.1371/journal.pone.0210310.
9. Mohseni M. Banani S., Eckford A., Adve R. (2019) "Scheduling for VoLTE: Resource Allocation Optimization and Low-Complexity Algorithms". IEEE Transactions on Wireless. Vol. 18, No.3. P. 1534 - 1547. DOI: 10.1109/TWC.2019.2892128.