

АРХІТЕКТУРНІ РІШЕННЯ РЕТРАНСЛЯЦІЙ В МЕРЕЖІ LTE-ADVANCED

Сучасні безпроводові телекомунікаційні мережі у своєму розвитку наближаються до мереж широкосмугового доступу, в яких швидкості передачі даних значно перевищують швидкості існуючих мереж [1]. Даний розвиток реалізується через два основні підходи, що базуються на технології довгострокової еволюції, розробленої об'єднанням 3GPP/3GPP2 в релізі 10 (LTE-Advanced) [2] та специфікації IEEE 802.16j і m стандарту IEEE 802.16 консорціуму WiMAX [3]. Однією з важливих задач розвитку широкосмугового радіодоступу є підвищення пропускної здатності такої мережі та розширення області її радіопокриття. Одним із рішень задачі є розробка багатопролітної ретрансляційної системи, що потребує введення в мережу ретрансляційних станцій (РС) [4]. Даний метод лежить в основі обох напрямків розвитку.

В найпростіших моделях ретрансляції використовують повторювачі, які підсилюють отриманий сигнал перед подальшою його передачею [5]. В основі розширених моделей ретрансляції лежить процес обробки сигналу. Підсилювальні РС здійснюють лінійну трансформацію сигналу, РС з декодуванням – декодують з подальшим кодуванням перед передачею [6]. Інші гібридні типи ретрансляційної передачі можуть включати процеси компресії чи демодулювання [7]. Перші безпроводові комерційні мережі, що використовували багатопролітні ретрансляційні системи, спроектовані на основі специфікації IEEE 802.16j. Архітектура такої мережі спроектована таким чином, що РС обслуговуються однією базовою станцією (БС) та взаємодіють одночасно лише в одному напрямку (в напрямку прямого або зворотнього каналу), що, в свою чергу, обмежує пропускну здатність усієї мережі [8]. Крім цього, функція РС не зосереджена на боротьбі з інтерференцією. Таким чином, проблема залишається до кінця невирішеною і потребує свого розв'язання.

Постановка задачі

Метою даної роботи є підвищення пропускної здатності широкосмугової мережі шляхом реалізації запропонованих методів

ретрансляції для мережі LTE-Advanced: однонаправленої, двонаправленої ретрансляції та ретрансляції виду «зі спільною РС».

Для аналізу кожної із моделей отримуються вирази можливих швидкостей при передачі гаусівських сигналів, які ілюструють інші сектори та стільники, що вносять інтерференцію. Для справедливості результатів порівняння ведеться з системою координації БС [9], ідея якої полягає в тому, що координуючи передачу багатьох БС-й, загальних даних та CSI (інформація про стан каналу), можливо усунути інтерференцію ефективною роботою багатьох БС-й як одного трансивера.

Модель системи

Розглядається мережа з трьома гексагональними стільниками, що проілюстровано на рис. 1. Базові станції розміщуються в центрах кожного стільника і складаються з шести направлених антен, які обслуговують різні сектори соти. За основу беруться моделі каналів специфікації IEEE 802.16j з фіксованими РС [10]. Припускається незмінність довжини пакету та передача CSI в кожному із сценаріїв для порівняння виразів пропускної здатності. Доступ в секторі ортогональний: кожна антена обслуговує одного абонента у виділеному частотно-часовому ресурсі. Канали вузькосмугові в кожному частотному/часовому ресурсі, довжина пакету постійна. Розглянута модель поблочного замирання. Такі припущення відповідають ідеальному підканалу LTE OFDM (ортогональне частотне розділення каналів з мультиплексуванням) і хоча нереальні на практиці, можуть бути використані для отримання рівнянь пропускної здатності для знаходження значень швидкості передачі даних та верхньої межі пропускної здатності. Аналіз зосереджується на прямому каналі, але аналогічно може застосовуватись і при розрахунках зворотнього в кожному з випадків.

Однонаправлена модель містить одну РС на сектор для обслуговування абонентів лише цього сектору, ретрансляція «зі спільною РС» – абонентів трьох секторів в суміжних стільниках (рис. 1, рис. 2). При аналізі немає припущень щодо кількості стільників. Робота зосереджується в центрі трикутного регіону мережі.

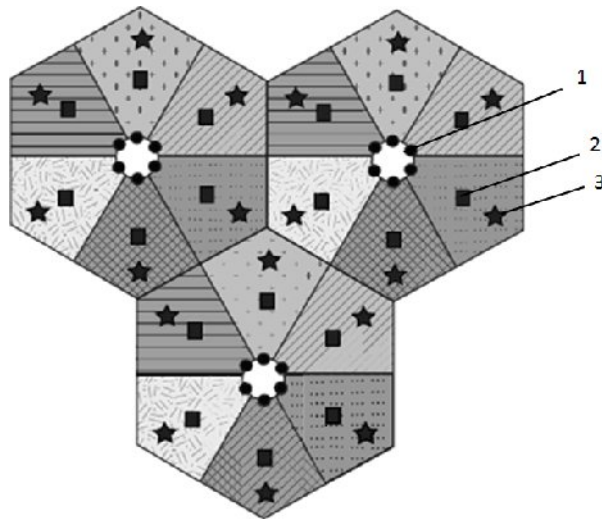


Рис. 1. Одно— та двонаправлена ретрансляції:
1 – антена БС; 2 – РС; 3 – мобільна станція (МС)

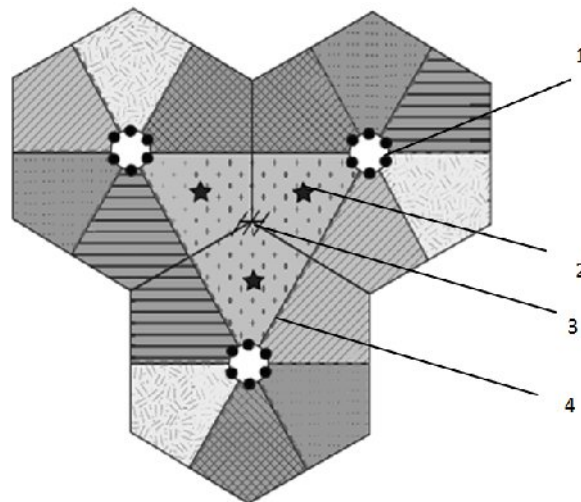


Рис. 2. Ретрансляція «зі спільною РС» та координація БС:
1 – антена БС; 2 – МС; 3 – РС; 4 – межі об'єднаних секторів
«зі спільною РС»

Двонаправлена модель ретрансляції включає одну підсилювальну РС на сектор. В системах передачі з координацією БС відсутні втрати, так як оптоволоконний кабель між суміжними секторами дозволяє передавати сигнали БС-й в прямий канал та отримувати зі зворотнього так, ніби вони є одним багатоантенним трансивером. Всі вузли ланки мають ідентичний шум з дисперсією σ_N^2 .

Однонаправлена ретрансляція

Розглядається одна ретрансляційна станція з декодуванням на сектор стільника. При обслуговуванні мобільної станції РС отримує:

$$y_R = hs + h_I^* s_I + v_R, \quad (1)$$

де h – канал БС – РС, s – символ, переданий базовою станцією, h_I – вектор каналів між РС та інтерферуючими базовими станціями, s_I – вектор переданих символів станцій, котрі вносять інтерференцію, v_R – адитивний білий гаусівський шум на РС з дисперсією σ_N^2 . Індекс I вказує на інтерференцію, N – шум, R – РС. Припускається, що $h_I^* s_I$ – гаусівський шум з дисперсією $\sigma_{h_I}^2$, РС декодує s з довільною надійністю та швидкістю:

$$R_1 \leq \lg \left(1 + \frac{|h|^2}{\sigma_{h_I}^2 + \sigma_N^2} \right). \quad (2)$$

РС перекодує s в x зі швидкістю R_2 і передає x в другій фазі ретрансляції. Мобільна станція отримує:

$$y_M = gx + g_I^* x_I + v_M. \quad (3)$$

де g – РС – МС канал, g_I – вектор каналів між МС та РС, котрі вносять інтерференцію, x_I – вектор переданих символів під час інтерференції, інтерференція припускається гаусівського характеру з дисперсією $\sigma_{h_I}^2$.

Теоретично мобільна станція може декодувати x з довільною надійністю та швидкістю:

$$R_2 \leq \lg \left(1 + \frac{|g|^2}{\sigma_{g_I}^2 + \sigma_N^2} \right). \quad (4)$$

За припущенням тривалість першої та другої фаз передачі t і $(1-t)$ відповідно, $0 \leq t \leq 1$. Пропускна здатність в прямому каналі:

$$r_{OW,DL} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}. \quad (5)$$

Двонаправлена ретрансляція

РС спроектовані передавати s в прямому та u у зворотньому каналах, де $u = [u_1 u_2 \dots]^T$ – вектор переданих символів від кожної МС та аналогічно одночасно переданих символів вектор s в двох таймслотах, уникаючи напівдуплексні втрати однонаправленої ретрансляції. Кадр ділиться на чотири частини [11]. В першому таймслоті інформація надсилається РС, в другій фазі РС поширюють символи від вузлів мережі БС та МС (рис. 3, рис. 4).

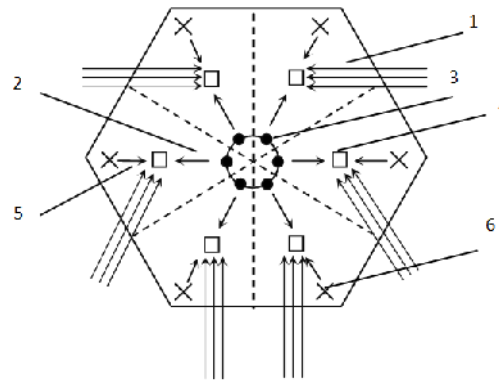


Рис. 3. Перша фаза двонаправленої ретрансляції:

- 1 – міжстільникова інтерференція від інших БС та МС;
 2 – канал від БС до РС; 3 – антена БС; 4 – РС;
 5 – канал від МС до РС; 6 – МС

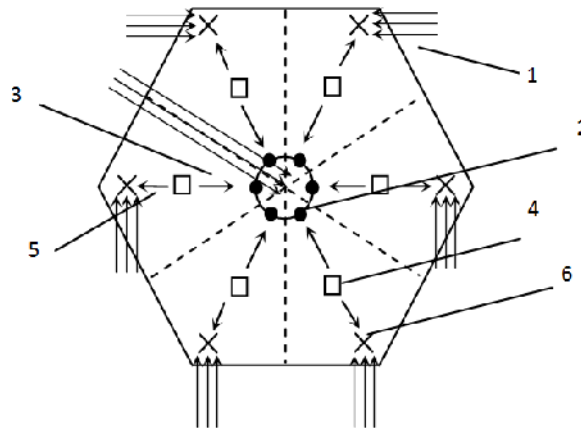


Рис. 4. Друга фаза двонаправленої ретрансляції:

- 1 – міжстільникова інтерференція від інших РС; 2 – антена БС;
 3 – канал від РС до БС; 4 – РС; 5 – канал від РС до МС; 6 – МС

Фаза 1. Позначення $\tilde{\mathbf{H}}$ та $\tilde{\mathbf{G}}$ – канали від БС та МС до РС відповідно. Отриманий сигнал РС:

$$\mathbf{y}_R = \mathbf{H}\mathbf{s} + \mathbf{G}\mathbf{u} + \mathbf{H}_{IC}\mathbf{s}_{IC} + \mathbf{G}_{IC}\mathbf{u}_{IC} + \mathbf{v}_R, \quad (6)$$

$\mathbf{H}$ та $\mathbf{G}$ містять лише діагоналі $\tilde{\mathbf{H}}$ та $\tilde{\mathbf{G}}$. $\mathbf{H}_{IC}$ – канал від БС, обслуговуючих інші стільники до кожної РС, $\mathbf{G}_{IC}$ – канал від МС інших стільників, $\mathbf{v}_R$ – σ_N^2

адитивний білий гаусівський шум на РС з дисперсією .
 Індекс IC відображає міжсекторну інтерференцію, R – РС, N – шум.

Фаза 2. На виході кожної РС отримується сигнал , де $\mathbf{\Gamma}$ – діагональна матриця, визначена обмеженням потужності $\mathbf{E}[\tilde{\mathbf{y}}_R\tilde{\mathbf{y}}_R^H] = \mathbf{I}$. Отриманий сигнал БС описується наступним виразом:

$$, \quad (7)$$

де $\mathbf{W}_{IC}$ – канална матриця від РС інших стільників до БС, $\hat{\mathbf{y}}_R$ – підсилений сигнал від усіх РС в стільнику, $\hat{\mathbf{y}}_{R,IC}$ – підсилений сигнал від РС сусідніх стільників. Індекс B позначає БС. Просторова коваріація інтерференції та шуму на БС описується формулою (8):

$$(8)$$

Пропускна здатність у зворотному каналі в цілому стільнику:

$$R_{TW,UL} = \frac{1}{2} \lg \left| \mathbf{I} + \mathbf{R}_{IN}^{-1} \tilde{\mathbf{H}}^* \mathbf{\Gamma} \mathbf{G} \mathbf{G}^* \tilde{\mathbf{H}} \right|. \quad (9)$$

В прямому каналі абонент отримує сигнал виду:

$$\mathbf{y}_M = \mathbf{g} \hat{\mathbf{y}}_R + \mathbf{q}_{IS} \hat{\mathbf{y}}_{R,IS} + \mathbf{q}_{IC} \hat{\mathbf{y}}_{R,IC} + \mathbf{v}_M. \quad (10)$$

де $\mathbf{q}_{IS}$ – каналний вектор від РС інших секторів до абонента, $\mathbf{q}_{IC}$ – від РС інших сот до абонента, $\mathbf{v}_M$ – шум з дисперсією σ_N^2 . Дисперсія інтерференції:

$$\sigma_I^2 = |\mathbf{q}_{IS}^* \hat{\mathbf{y}}_{R,IS}|^2 + |\mathbf{q}_{IC}^* \hat{\mathbf{y}}_{R,IC}|^2 + |\mathbf{g}|^2 \|\mathbf{h}_I\|^2 + |\mathbf{g}|^2 \|\mathbf{g}_I\|^2, \quad (11)$$

де $\mathbf{h}_I$ – каналний вектор інтерференції від РС в першій фазі (відносяться до переданих символів $\mathbf{s}$ в прямому каналі), $\mathbf{g}_I$ – канал інтерференції з фази 1. Швидкість абонента в прямому каналі:

$$r_{TW,DL} = \frac{1}{2} \lg \left(1 + \frac{|\mathbf{g}|^2}{\sigma_I^2 + \sigma_N^2} \right). \quad (12)$$

Ретрансляція виду «зі спільною РС»

В сценарії використовується спільна РС для декількох БС. РС має $K \cdot M$ антен, де M – кількість антен БС на сектор, K – кількість БС, спільних для РС. Для простоти аналізу розглядається випадок $M = 1$ (рис. 2), але модель може бути розширена і до $M > 1$.

Як і в однонаправленому сценарії, передача в прямому каналі здійснюється в двох таймслотах. В першій фазі РС отримує [12, 13]:

$$\mathbf{y}_R = \sum_{k=1}^K \mathbf{h}_k \mathbf{s}_k + \mathbf{H}_I \mathbf{s}_I + \mathbf{v}_R, \quad (13)$$

де $\mathbf{h}_k$ – канал від k -ї «батьківської» БС до РС, $\mathbf{s}_k$ – переданий символ k -ю БС (призначений для k -го абонента, що обслуговується спільною РС), $\mathbf{H}_I$ – матриця каналних коефіцієнтів від інших БС, $\mathbf{s}_I$ – вектор переданих

символів від БС, що вносять інтерференцію, $\mathbf{v}_R$ – просторовий адитивний білий гаусівський шум на РС.

Перша фаза зв'язку – MIMO канал. Припустивши, що абоненти упорядковані по відношенню до каналу SNR (тобто $\|\mathbf{h}_1\| > \|\mathbf{h}_2\| > \dots > \|\mathbf{h}_k\|$), декодування відбувається у послідовності s_1 і т. д., s_k декодується лише за умов інтерференції від $(k+1)$ через K -й потік (і термін $\mathbf{H}_I \mathbf{s}_I$ – загальний для всіх потоків). Отже, інформація для абонента k в першій фазі наступна:

$$R_{1k} = \lg \left[\mathbf{I} + \mathbf{A}_k^{-1} \mathbf{R}_{I1}^{-1} \mathbf{h}_k \mathbf{h}_k^* \right], \quad (14)$$

де $\mathbf{R}_{I1} = \mathbf{H}_I \mathbf{H}_I^* + \sigma_N^2 \mathbf{I}$ та $\mathbf{A}_k$ визначені як:

$$\mathbf{A}_k = \mathbf{I} + \mathbf{A}_{k+1}^{-1} \mathbf{R}_{I1}^{-1} \mathbf{h}_{k+1} \mathbf{h}_{k+1}^*,$$

$$\mathbf{A}_k = \mathbf{I} \quad (15)$$

Абонент отримує сигнал від РС з інтерференцією від зовнішніх вузлів:

$$y_{M,k} = \mathbf{g}_k x_k + \mathbf{g}_{I,k}^* \mathbf{x}_I + v_{M,k}, \quad (16)$$

де $\mathbf{g}_k$ – ефективний канал після прекодування, заповнення та кодування між РС та k -ю МС, $\mathbf{g}_{I,k}$ – канальний вектор від усіх інтерферентів до k -ї МС, $\mathbf{x}_I$ – переданий вектор інтерферентів в другій фазі та $v_{M,k}$ – адитивний білий гаусівський шум на k МС.

Для абонента k швидкість в другій фазі:

$$R_{2k} = \lg \left(1 + \frac{|\mathbf{g}_k|^2}{\|\mathbf{g}_{I,k}\|^2 + \sigma_N^2} \right). \quad (17)$$

Проводиться оптимізація сумарної швидкості, так як неможлива оптимізація одного абонента. Сумарна швидкість наступна:

$$R_S = \max_{t \in [0,1]} \sum_{k=1}^K \min \{ t R_{1k}, (1-t) R_{2k} \}. \quad (18)$$

Координація БС

При координації БС вони взаємодіють як один багатоантенний трансивер завдяки передачі спільних даних через високоємнісний з низькою затримкою провідний канал, що дозволяє уникнути інтерференцію (рис. 2).

В даній архітектурі відсутня ретрансляція. Модель каналу - гаусівський широкомовний канал MIMO. МС k отримує:

$$\mathbf{y} = h_k s_k + \mathbf{h}_{I,k}^* \mathbf{s}_I + v_k$$

, (19)

де h_k – ефективне підсилення каналу від БС до k -ї МС після прекодування, кодування та заповнення, s_k – переданий символ належний до k -ї МС, $\mathbf{h}_{I,k}$ – каналний вектор від інтерферентів до k -ї МС, $\mathbf{s}_I$ – вектор переданих символів інтерферентами v_k – адитивний білий гаусівський шум на k -й МС. Швидкість k -го абонента:

$$r_{k,BC} = \lg \left(1 + \frac{|h_k|^2}{\|\mathbf{h}_{I,k}\|^2 + \sigma_N^2} \right). \quad (20)$$

Результати моделювання

Кожна система, описана попередньо, змодельована. Параметри моделювання подані в табл. 1.

Таблиця 1

Параметри моделювання стратегій ретрансляції

Потужність передавача БС	47 дБм
Модель каналу «БС-РС»	IEEE 802.16j, тип Н
Модель каналу «БС-МС»	IEEE 802.16j, тип Е
Модель каналу «РС-МС»	IEEE 802.16j, тип Е
Радіус соти	876 м
Частота несучої	2 ГГц
Потужність шуму	-134 дБВт
Висота МС	1 м
Висота РС	15 м
Висота БС	30 м
Середовище розповсюдження	Місто

На рис. 5 проілюстровані сумарні швидкості в прямому каналі для кожної з архітектур як функції потужності передачі РС. Координація БС та традиційна передача незмінні на графіку за рахунок відсутності РС в архітектурах.

При координації БС одержані найбільші сумарні швидкості в прямому каналі, що на 119% перевищує показник звичайної архітектури без ретрансляції чи координації. Однак ще більш вражаючим є те, що при ретрансляції «зі спільною РС» досягнуто 60% результатів з координацією. Порівнюючи дві системи, слід підкреслити, що в системі «зі спільною РС»

відсутня координація між БС за межами, що необхідно для синхронізації в каналі з множинним доступом під час першої фази. Основними недоліками систем з координацією є напівдуплексні втрати та затримка, пов'язана з декодуванням. Однонаправлена ретрансляція перевищує лише на 15% швидкість традиційної передачі.

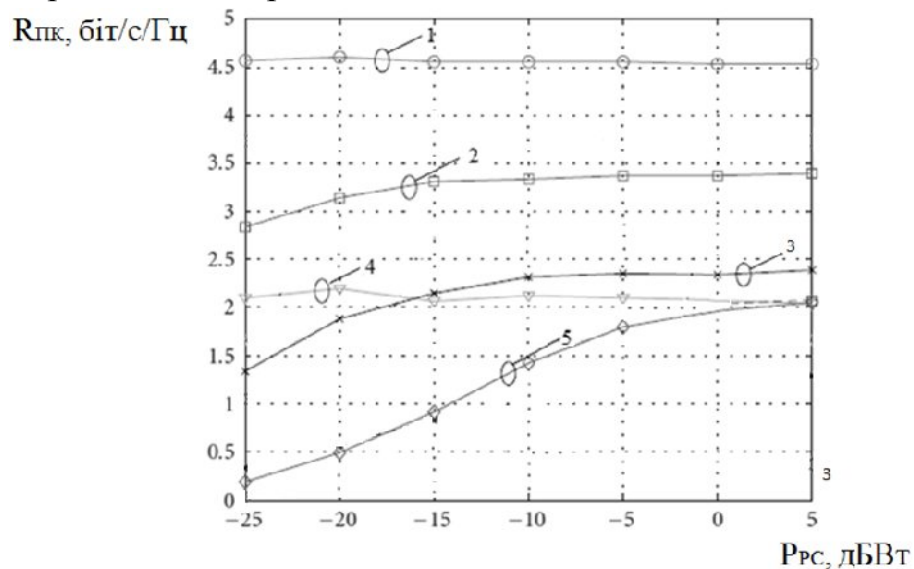


Рис. 5. Залежності максимальної пропускної здатності в прямому каналі від потужності РС для кожного методу ретрансляції: 1 – система з координацією БС; 2 – ретрансляція виду «зі спільною РС»; 3 – ретрансляція 802.16j; 4 – традиційна передача; 5 - двонаправлена ретрансляція.

Висновки

Дослідження математичної моделі показують, що у прямому каналі з ростом потужності РС пропускна здатність каналу зростає. При координації БС пропускна здатність на 119% перевищує пропускну здатність в моделі без ретрансляції чи координації. При ретрансляції «зі спільною РС» досягається 60% результатів системи з координацією. Однонаправлена ретрансляція перевищує на 15% пропускну здатність традиційної передачі, в той час як двостороння передача гірше традиційної.

В подальшій роботі проводитимуться дослідження ретрансляційної передачі для мережі IEEE 802.16j.

Список використаної літератури

1. Ільченко М. Ю., Кравчук С. О. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу. – К.: Наукова думка, 2009. – С. 312.

2. S. Parkvall, E. Dahlman, A. Furuskar. LTE-advanced — evolving LTE towards IMT-advanced// *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC '08)*, - 2008. - P.5.
3. Вишневский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. Энциклопедия WiMAX. Путь к 4G. – М.: Техносфера, 2009. – С. 115.
4. M. Qin, R. S. Blum. Capacity of wireless ad hoc networks with cooperative diversity: a warning on the interaction of relaying and multi-hop routing// *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, - 2005. - Vol. 2. - P. 1128.
5. E. H. Drucker. Development and application of a cellular repeater// *Proceedings of the IEEE Vehicular Technology Conference (VTC '88)*, - 1988. - P. 321.
6. O. Munoz-Medina, J. Vidal, A. Agustin. Linear transceiver design in nonregenerative relays with channel state information// *IEEE Transactions on Signal Processing*, - 2007. - Vol. 55, №. 6. - P. 2593.
7. D. Chen, J. N. Laneman. Modulation and demodulation for cooperative diversity in wireless systems// *IEEE Transactions on Wireless Communications*, - 2006. - Vol. 5, №. 7. - P. 1785.
8. M. Okuda. Multihop Relay Extension for WiMAX Networks – Overview and Benefits of IEEE IEEE 802.16j Standard// *FUJITSU Sci. Tech. Journal*, - 2008. – P. 292.
9. G. J. Foschini, K. Karakayali, R. A. Valenzuela. Coordinating multiple antenna cellular networks to achieve enormous spectral efficiency// *IEEE Proceedings: Communications*, - 2006. - Vol. 153, №. 4. – P. 548.
10. G. Senarath. Multi-hop relay system evaluation methodology (channel model and performance metric)// *Draft of IEEE 802.16j-06/013r3*, - 2007.
11. S. W. Peters, R. W. Heath Jr. The future of WiMAX: multi-hop relaying with IEEE 802.16j// *IEEE Communications Magazine*, - 2009. - Vol. 1, №. 47. – P.5.
12. S. A. Jafar, A. J. Goldsmith. Transmitter optimization for multiple antenna cellular systems// *Proceedings of the IEEE International Symposium on Information Theory*, - 2002. – P. 50.
13. M. K. Karakayali, G. J. Foschini, R. A. Valenzuela, R. D. Yates. On the maximum common rate achievable in a coordinated network// *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications*, - 2006. - Vol. 9. – P. 4333.
14. Ильченко М. Ю., Кравчук С. О. Сучасні телекомунікаційні системи. – К.: Наукова думка, 2008. – 328с.