

Представлено аналіз впровадження стільникових мереж четвертого покоління (4G). Запропоновано метод збільшення пропускної здатності в системі MIMO LTE мережі за рахунок формування діаграми спрямованості антенної системи. Для порівняння пропускної здатності проведено моделювання з формуванням діаграми спрямованості антени і без нього для двох типів модуляції передачі потоку даних за допомогою програми Matlab

Ключові слова: LTE, MIMO, SU-MIMO, MU-MIMO, діаграма спрямованості, пропускна здатність, адаптивна антена

Представлен анализ внедрения сотовых сетей четвертого поколения (4G). Предложен метод увеличения пропускной способности в системе MIMO LTE сети за счет формирования диаграммы направленности антенной системы. Для сравнения пропускной способности проведено моделирование с формированием диаграммы направленности антенны и без него для двух типов модуляции передачи потока данных с помощью программы Matlab

Ключевые слова: LTE, MIMO, SU-MIMO, MU-MIMO, диаграмма направленности, пропускная способность, адаптивная антенна

ФОРМУВАННЯ ДІАГРАМИ СПРЯМОВАНОСТІ АНТЕННИХ СИСТЕМ ТЕХНОЛОГІЇ MIMO МЕРЕЖІ LTE

Ю. І. Хлапонін

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент
Кафедра засобів захисту інформації
Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова,
1, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: yfcnz0408@ukr.net

1. Вступ

Для користувачів мережевих ресурсів важливо завжди отримувати високошвидкісний якісний доступ незалежно від місця знаходження. Одним з можливих рішень цього питання є впровадження стільникових мереж четвертого покоління (4G). В жовтні 2010 року Міжнародний Телекомунікаційний Союз (International Telecommunications Union) завершив оцінку шести технологій, що претендували на стандарт 4G та визначив кращими з них технології LTE-Advanced1 (на основі стільникового стандарту LTE (Long Term Evolution) і WirelessMAN-Advanced2 (на основі WiMAX 802.16m), які є тепер офіційними технологіями 4G. З вимогами до цих технологій можна ознайомитися в [1]. Сьогодні телекомунікаційний світ стоїть на порозі революції – масового переходу до технологій широкосмугової бездротової передачі даних (ШБПД). Всі революційні передумови дозріли – є вже відпрацьована технологія WiMAX і впригол підійшла до початку промислового втілення технологія LTE. Обидві вони створювалися для більш повного задоволення вимог користувачів і для кращого надання послуг на масовому ринку широкосмугової бездротової передачі даних (ШБПД).

У технології LTE є кілька сторін, які завжди хотілося доопрацювати, щоб зробити її більш досконалою. Серед них: питання безпеки, проблеми розподілу трафіку між декількома клієнтами, а також швидкість передачі даних.

Цим обґрунтовується актуальність проведення даних досліджень.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Сучасні мережі LTE підтримують швидкість передачі даних до 100 Мбіт/с (при цьому, максимальна швидкість 3G – 20 Мбіт/с). Однак цей показник може варіюватися залежно від місцезнаходження користувача і поточного мережевого навантаження. Технологія передбачає швидкості більше 300 Мбіт/с, з теоретично можливою піковою пропускною здатністю до 1,2 Гбіт/с. У жовтні 2013 група німецьких інженерів з Технологічного інституту Карлсруе продемонструвала швидкість 100 Гбіт / с на частоті 237,5 ГГц [2].

Одна з основних відмінностей технології LTE заключається в принципово новому радіоінтерфейсі з повністю зміненим способом модуляції в порівнянні з радіоінтерфейсом W-CDMA. В технології LTE для прямого каналу застосовується радіоінтерфейс OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), а для зворотнього каналу – радіоінтерфейс CS-FDMA [3].

У поточний та наступні роки динаміка ринку ШБПД поставить бездротових операторів перед реальним складним вибором стратегічних пріоритетів і стратегій розвитку.

Чому потрібно вибирати LTE:

- більша, ніж у WiMAX, промислова основа, підтримувана великими стільниковими операторами, і найбільш великими виробниками (основні: Qualcomm, Ericsson, NSN та ін.). Це обіцяє розвинути екосистему і підтримку глобального роумінга у світовому масштабі;
- вроджена інтеграція з 3G-мережами (підтримана стандартами 3GPP та індустрією) обіцяє м'яку інте-

грацію сервісів, спільну роботу і зв'язність в мережах 3G/LTE з дворежимними пристроями.

- архітектура мережі LTE значно спрощується в порівнянні зі своїми попередниками, тому що LTE є мережею тільки з комутацією пакетів. Вона не має можливостей для обробки голосових викликів і текстових повідомлень (які, як правило, обробляються з комутацією мереж, таких як GSM і CDMA).

Подальше підвищення пропускної здатності та якості послуг в мережах LTE пов'язано з MIMO. Одні називають це рішення технологією [3] або методом формування каналу зв'язку з кількома антенами, інше-ідеологією [4–6], в рамках якої пристрій зв'язку повинен мати декілька каналів передачі даних, чи то роутер або система телемовлення.

3. Мета та задачі дослідження

Метою проведених досліджень була розробка методу збільшення швидкості передачі даних і пропускної здатності в системі MIMO LTE мережі за рахунок формування діаграми спрямованості з фізичним поділом елементів антени.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

1. Обґрунтувати перспективність впровадження мереж LTE та застосування в них технології MIMO.
2. Проаналізувати існуючі способи підвищення швидкості передачі даних та пропускної здатності мережі LTE.
3. Запропонувати метод збільшення пропускної здатності MIMO LTE мережі.

4. Результати досліджень методу збільшення пропускної здатності MIMO LTE мережі

Всі різновиди технології MIMO спрямовані на збільшення швидкості передачі даних і пропускної здатності LTE мережі за рахунок покращення завадостійкості [3].

Абревіатура MIMO (Multiple Input Multiple Output) означає «множинний вхід, множинний вихід». Тобто будь-яку систему, що працює за принципом MIMO, можна розглядати як багатоканальний прилад, який поєднує в собі можливості кількох одноканальних. В подальшому все ж надамо перевагу визначенню «технологія» MIMO. Переваги технології MIMO пов'язані з використанням декількох антен [5, 6].

Функціонал MIMO означає, що пристрої мають кілька підключень до однієї соти, що підвищує стійкість з'єднання і зменшує затримки. Це також збільшує загальну пропускну здатність з'єднання. Ми вже бачимо реальні переваги MIMO по WiFi маршрутизаторах і мережевим адаптерам. MIMO це те, що дозволяє 802.11n WiFi досягати швидкості до 600 Мбіт, хоча більшість працює на швидкостях до 300–400 Мбіт. Але існує значний недолік. MIMO працює краще, якщо антени різних операторів знаходяться далі один від одного. На невеликих відстанях перешкоди, викликані довколишніми антенами, призводять до падіння LTE продуктивності.

Позначення MIMO узагальнює цілий ряд технологій:

- використання інтелектуальних антен (intelligent antennas), які дозволяють формувати вузьку направленість (промені), прибирати вплив перешкод за рахунок їх компенсації в приймальному пристрої; дана технологія дає можливість як підвищити завадостійкість каналу зв'язку так і підвищити ефективність використання спектру за рахунок передачі даних в паралельних променях;
- застосування просторово-часового кодування (Space Time Coding – STC);
- застосування поляризаційного розділення каналів, поляризаційної обробки сигналів.

В MIMO відбувається взаємне збільшення результуючої амплітуди двох або кількох когерентних сигналів при їх накладенні один на одного. Процес супроводжується чергуванням максимумів (пучностей) і мінімумів (вузлів) інтенсивності в просторі. Результат інтерференції (інтерференційна картина) залежить від різниці фаз сигналів, які накладаються. Інтерферувати можуть всі хвилі, проте стійка інтерференційна картина буде спостерігатися тільки в тому випадку, коли хвилі мають однакову частоту і коливання в них не ортогональні. При інтерференції енергія хвиль перерозподіляється в просторі [3]. Це не суперечить закону збереження енергії тому, що в середньому, для великої області простору, енергія результуючої хвилі дорівнює сумі енергій інтерферуючих хвиль. Процес інтерференції та перерозподілу енергії сигналів показано на рис. 1.

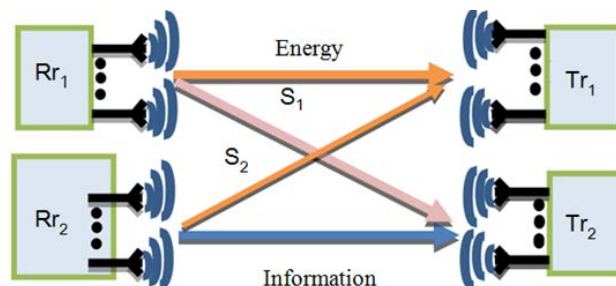


Рис. 1. Інтерференція і потік енергії при формуванні діаграми спрямованості

В запропонованому автором методі процес формування діаграми спрямованості об'єднує сигнал від кожного антенного елемента, помножений на комплексний ваговий вектор ω [3].

На виході вузькополосного формувача променя отримуємо результат шляхом знаходження суми з кожного антенного виходу.

$$y(t) = \sum_{p=1}^{M_t} \omega_p^* y_i(n) = w^H y(n), \tag{1}$$

де $y(n)$ – вектор прийнятого сигналу, p – індекс антени. Тоді результуюча діаграма спрямованості:

$$F(\theta) = \sum_{p=1}^{M_t} \omega_p^* e^{-j \frac{2\pi}{\lambda} (p-1) d \sin \theta}. \tag{2}$$

Комплексні вагові коефіцієнти обчислюються за допомогою алгоритму оптимізації, який максимізує

деяку функцію вартості, не обов'язково напрямком розповсюдження сигналу. При формуванні діаграми спрямованості променя, який є несучим щодо сигналу необхідно оцінити напрям приходу Direction of Arrival (DOA) із застосуванням вагових коефіцієнтів.

$$w_p = |w| e^{j[-(p-1)\frac{2\pi}{\lambda}d \sin\theta]} \quad (3)$$

Для знаходження оптимального рішення були запропоновані ітераційні методи, які називають адаптивними алгоритмами. Ці методи особливо підходять, коли мобільне середовище є змінним в часі, а вагові коефіцієнти повинні періодично оновлюватися. Розглядаючи проблему мінімізації середнього квадрату помилки (MSE) між прийнятими і переданими сигналами, функція витрат:

$$J(w) = E[|w^H y(n) - z(n)|^2], \quad (4)$$

де E – оцінка помилки.

Оптимальні вагові коефіцієнти для MSE виражені як

$$w_{opt} = R_{yy}^{-1} r_{yd} \quad (5)$$

де R_{yy} є кореляційна матриця $[M_r \times M_r]$ прийнятого сигналу, і r_{yd} є крос-кореляція між вектор переданих даних і прийнятого сигналу.

Так як напрямком випромінювання антенної системи залежить від співвідношення фаз сигналів на її антенних елементах, то напрямком сумарного випромінювання сигналів в різні моменти часу буде відрізнятися. Ця властивість може покращити проходження сигналу при складних умовах розповсюдження за відсутності прямої видимості [10]. Рис. 2 показує принцип МІМО формування діаграми спрямованості.

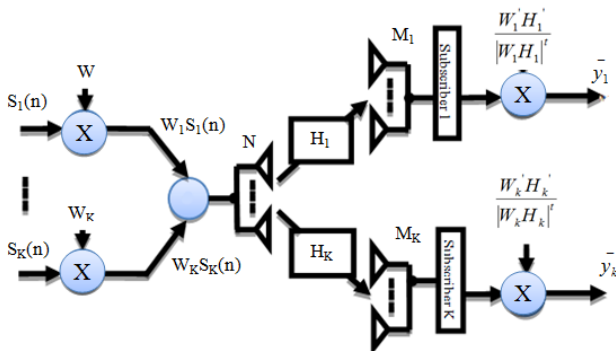


Рис. 2. Блок-схема формування діаграми спрямованості багатокористувачевої системи

На рис. 2 M_i – це число антен приймача для i -го абонента, S_i – потік даних від абонента в момент (t) , W_i – це вектор діаграми спрямованості перед передачею каналом.

Інтерференційна картина означає, що сигнал передається від двох і більше антенних елементів до приймальної сторони в процесі формування діаграми спрямованості. Сигнал радіочастотної хвилі надходить з

антенних елементів в момент кращої їх спрямованості. Кореляція на рівні половини довжини хвилі РЧ-носія. Антенні елементи виконують передачу сигналу, сигнал передачі буде мати діаграму спрямованості від 0 до +/- 90 градусів (рис. 3).

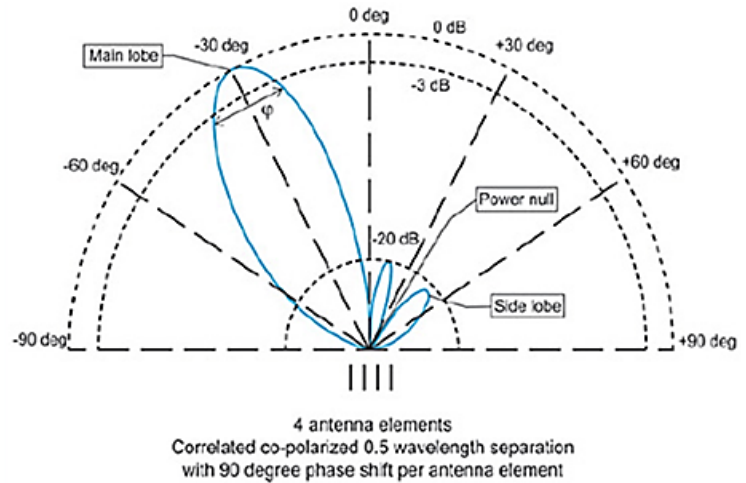


Рис. 3. МІМО-формування діаграми спрямованості

Робота була заснована на сингулярному розкладанні (SVD), використовуючи Single User (SU) в 3GPP Long Term Evolution (LTE). В LTE Single User - Multiple Input Multiple Output (SU-MIMO) – режим роботи, при якому дані від одного користувача передаються одночасно кількома паралельними потоками даних, використовуючи доступні ресурси мережі як за часом так і за частотою.

Ефективність методу МІМО-формування діаграми спрямованості була проаналізована за допомогою програми Matlab за критерієм ефективність/вартість. Для розрахунку пропускної здатності з формуванням діаграми спрямованості антени (BF) та без нього (without-BF) (рис. 4, 5). моделювання проводилося з використанням модуляції QPSK і 16-QAM модуляції.

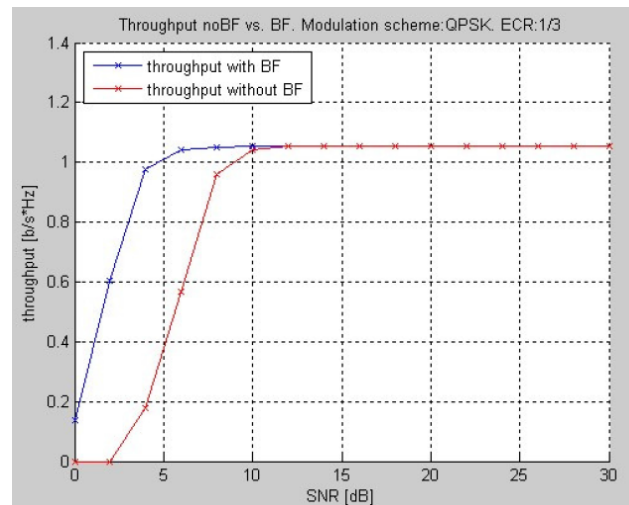


Рис. 4. Пропускна здатність BF в порівнянні з відсутністю з 16-QAM модуляцією

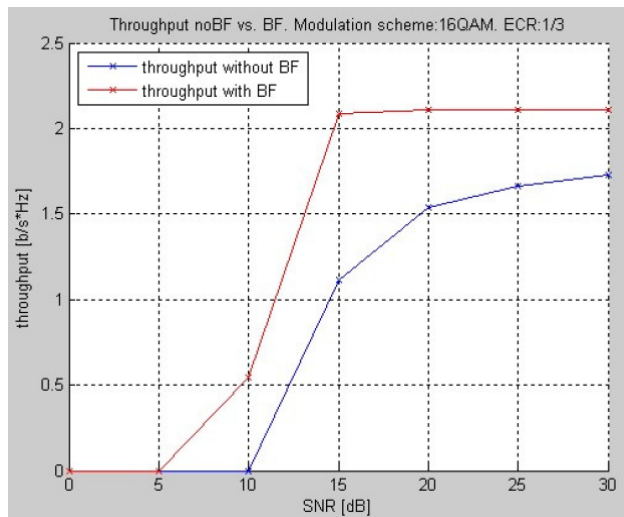


Рис. 5. Пропускна здатність BF в порівнянні з відсутністю BF з QPSK модуляцією

Аналіз рис. 4, 5 показує, що пропускна здатність каналу передачі з формуванням MIMO-діаграми спрямованості на 30 % вище, ніж без застосування методу.

5. Висновки

1. Обґрунтовано перспективність впровадження мереж LTE в порівнянні з іншими технологіями. Індустрія LTE робить ставку на розвиток операторів мереж 3GPP і планує почати продовжувати розгортати мережі в 2014–2015 роках (власне, 3GPP-орієнтовані компанії вже приступили до цього).

2. Проаналізовано існуючі способи підвищення швидкості передачі даних та пропускної здатності мережі LTE. Швидкість передачі даних при технології MIMO лінійно збільшується зі збільшенням числа антен (метод формування каналу зв'язку з кількома антенами).

3. Запропоновано метод збільшення пропускної здатності MIMO LTE мережі. Для порівняння пропускної здатності проведено моделювання з формуванням

діаграми спрямованості антени і без нього для двох типів модуляції передачі

Література

1. Официальные 4G - WiMAX и LTE [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://nag.ru/news/newsline/19789/oficialnye-4g---wimax-ilte.html>
2. GSA – The Global mobile Suppliers Association [Electronic resource] // Available at: <http://www.gsacom.com/>
3. Тихвинский, В. О. Сети мобильной связи: технологии и архитектура [Текст] / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – М.: Эко-трендз, 2010. – 284 с.
4. Шуклин, А. В. Wi-Fi MIMO: как разбросать беспроводные каналы? [Электронный ресурс] / А. В. Шуклин. – Режим доступа: http://citforum.ru/nets/wireless/wifi_mimo/
5. 3GPP TR 25.876. Technical Specification Group Radio Access Network [Text] / Multiple Input Multiple Output in UTRA (Release 7).
6. 3GPP TR 25.996. Technical Specification Group Radio Access Network [Text] / Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations (Release 6).
7. Khlaponin, Yu. Improving throughput network using MIMO-beamforming / [Текст] / Yu. Khlaponin, M. T. Al-Shurayfi, H. H. Al-Zayadi, M. Reznikov // Ukrainian Scientific Journal of Information Security. – 2014. – Vol. 20, Issue 1. – P. 12–16.
8. Pinnes, E Operations and Management for Next Generation Network Presentation in ASTRAP IP-based Network Management & Internet Charging Semiran Bangkok [Text] / E Pinnes. – February, 2001.
9. А. с. 1663661 СССР. Антенна [Текст] / Хлапонин Ю. И., Филимонов Б. Д., Смирнов А. В., Чибисов О. Г. (СССР). – заявл. 30.03.89; опубл. 15.07.91. Бюл. № 26.
10. Interference management in wireless networks: Practice and Theory [Text] / Imperial College London, Eurecom, Bruno Clerckx, 2013