

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Хуссам Дхеа Каміль Ал-Джанабі

УДК 621.396

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ЗВ'ЯЗКУ В ТЕХНОЛОГІЇ LTE З МІМО
НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ АДАПТИВНОГО ПРОСТОРОВО-
ЧАСОВОГО КОДУВАННЯ**

05.12.02 - Телекомунікаційні системи та мережі

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лошаков Валерій Андрійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
професор кафедри телекомунікаційних систем.

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор
Горобець Микола Миколайович,
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,
завідувач кафедри прикладної електродинаміки;

кандидат технічних наук, доцент
Макаров Сергій Анатолійович,
Харківський університет Повітряних Сил,
начальник науково-дослідного відділу проблем розвитку та науково-технічного супроводження засобів зв'язку і радіотехнічного забезпечення
Наукового центру Повітряних Сил.

Захист відбудеться " 30 " _____ серпня _____ 2013 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 в Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Леніна, 14, ауд. 13.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, проспект Леніна, 14.

Автореферат розісланий " 26 " _____ червня _____ 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Є.В. Дуравкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток мобільного зв'язку йде двома шляхами – революційним та еволюційним. Революційний шлях полягає в розробці принципово нових радіотехнологій. Еволюційний підхід більш прагматичний, він вимагає менших капітальних витрат і часу, оскільки спирається на існуючі добре освоєні операторами технології та передбачає активне залучення останніх досягнень революційних технологій. Однією з найбільш досконалих концепцій безпроводових стільникових мереж покоління 4G, що відбиває еволюційний розвиток систем мобільного зв'язку, є програма LTE, відображена в документах Release 8 проекту 3GPP.

Використання множинних антен MIMO є одним з найбільш важливих напрямків у розвитку технології LTE. При цьому висока пропускна здатність, яку мають забезпечувати ці системи, залежить від ефективності використання каналів зв'язку, а, отже, від здатності адаптуватися до реальних швидкозмінливих характеристик ширококутових каналів зв'язку. Напрями вдосконалення систем LTE з MIMO та вибір методу адаптації до зміни цих характеристик залежать від наявності або відсутності прямої видимості.

В умовах відсутності прямої видимості канали MIMO виявляються практично некорельованими, що значно підвищує ефективність застосування MIMO. У MIMO-системах для розділення каналів застосовується просторово-часове або просторово-частотне кодування. При цьому важливим резервом підвищення якості зв'язку систем LTE з MIMO є їх адаптація до змін параметрів окремих просторових каналів, що забезпечує найбільш повну реалізацію наявного просторового та частотного ресурсу за рахунок відповідних змін параметрів сигналів у часовій і частотній областях.

За наявності прямої видимості різко зростає ступінь кореляції сигналів у MIMO-каналах, що уможливорює організацію зв'язку з абонентом по вузькому променю, який формується відповідно до замовлення. Для формування пучка вузьких променів можуть бути використані програмні методи й алгоритми адаптивних антенних решіток, синтезовані для нестаціонарної сигнально-завадової обстановки, тобто, фізичне і математичне формування променів, де перший метод фізично залежить від зміни напрямку передачі та прийому, а другий обирає найкращу складову каналу математично. При цьому вдосконалення методів адаптивної просторово-часової обробки сигналів у системах LTE також є досить актуальним.

Вочевидь подальший еволюційний розвиток технології стільникового зв'язку LTE з множинними антенами неможливий без використання всіх наявних ресурсів у часовій, частотній, просторово-часовій та просторово-частотній областях, а також завадостійкого кодування, щоб мінімізувати

передану потужність і водночас збільшувати пропускну здатність системи зв'язку шляхом її адаптації до стану радіоканалу.

Таким чином, актуальною є наукова задача, яка полягає в розробці методів підвищення якості передачі інформації в технології LTE з MIMO на основі просторово-часового кодування з використанням адаптивних методів модуляції та адаптивної просторово-часової обробки сигналів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційні дослідження пов'язані з реалізацією положень "Концепції національної інформаційної політики" і "Основних засад розвитку інформаційного суспільства в Україні на 2007-2015 роки". Матеріали дисертації використані в науково-дослідній роботі № 261-1 "Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління" (№ ДР 0111U002627), яка виконувалася в Харківському національному університеті радіоелектроніки (ХНУРЕ), де дисертант був виконавцем.

Мета роботи полягає у розробці методів підвищення якості передачі інформації в технології LTE з MIMO з використанням адаптивних методів модуляції та адаптивної просторово-часової обробки сигналів.

Завдання дослідження:

- дослідження впливу завмирань у просторових каналах на характеристики якості зв'язку технології LTE із застосуванням імітаційного моделювання та аналіз можливостей підвищення якості зв'язку за рахунок раціонального вибору конфігурації MIMO і методів просторово-часового та просторово-частотного кодування;

- аналіз впливу виду багатопозиційної модуляції на показники якості технології LTE при різних конфігураціях MIMO та різних методах просторово-частотного кодування в умовах реальної істотної відмінності характеристик окремих просторових каналів;

- розробка методу адаптивної модуляції в каналах MIMO, який забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик системи за рахунок більш повного використання просторового та частотного ресурсів багатопроменевого каналу зв'язку;

- розробка моделі управління модуляцією в каналах MIMO, у якій для оцінки змін параметрів окремих просторових каналів використовується калманівська фільтрація;

- розробка методу просторово-часової обробки сигналів у технології LTE, заснованого на використанні адаптивних антенних решіток.

Об'єкт дослідження. Процеси функціонування систем LTE з MIMO фізичного рівня.

Предмет дослідження. Моделі та методи підвищення якості зв'язку в системах LTE з MIMO.

Методи дослідження базуються на головних положеннях радіофізики, теорії електрозв'язку, системного аналізу, математичної статистики, теорії ймовірності, теорії оптимізації, теорії оцінювання та управління, методах просторово-часової обробки сигналів, математичного моделювання та натурального експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів. Під час розв'язання поставлених задач автором були отримані такі нові наукові результати:

- запропоновано новий метод адаптивної модуляції у каналах MIMO-технології LTE, заснований на виборі більш високої кратності багатопозиційної модуляції у просторових каналах з малим рівнем завмирань і з меншою кратністю модуляції у каналах з високим рівнем завмирань сигналу;

- удосконалено метод оцінювання параметрів просторових каналів MIMO на основі калманівської фільтрації, який забезпечує необхідні для адаптивного вибору виду багатопозиційної модуляції підвищені якість та швидкість оцінювання;

- запропоновано удосконалений метод просторово-часової обробки сигналів у технології LTE, заснований на використанні адаптивних антенних решіток з однорежимним алгоритмом адаптації за пілотним сигналом.

Практичне значення отриманих результатів. Розроблені математичні моделі LTE з MIMO та метод адаптивної модуляції в каналах MIMO, що враховують особливості базових станцій і терміналів користувачів, дозволили виявити та запропонувати нові практичні шляхи підвищення продуктивності LTE на основі більш повного використання просторового і частотного ресурсу. Результати дисертації використані в науково-дослідній роботі №261-1 "Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління", яка виконувалася в Харківському національному університеті радіоелектроніки, де дисертант був виконавцем. Запропонований метод адаптивної модуляції в каналах MIMO використано у навчальному процесі кафедри телекомунікаційних систем, зокрема, в дисципліні "Системи абонентського радіодоступу". Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях. У роботах [1-13] автору належать такі наукові результати: у роботі [1] – запропоновано використання методу лінійного передбачення коефіцієнтів передачі каналів MIMO; у роботі [2] – аналіз особливостей використання OFDM та MIMO у технології LTE; у роботі [3] – дослідження залежності ймовірності помилок від відношення сигнал/шум при різних конфігураціях MIMO; у роботі [4] – аналіз ефективності використання методу еквалізації у технології LTE; у роботі [5] – адаптивне керування параметрами сигналів LTE з MIMO у частотній області; у роботі [6] – автору належить постановка задачі з підвищення енергоефективності безпроводових сенсорних мереж з MIMO; у роботі [7] – використання адаптивної модуляції в технології LTE з MIMO; у роботі [8] –

порівняльний аналіз радіоінтерфейсів WiMAX та LTE; у роботі [9] – автор брав участь у розробці рекомендацій з покращання характеристик якості зв'язу у сенсорних мережах за рахунок використання LTE з MIMO; у роботі [10] – аналіз продуктивності LTE з MIMO при OFDMA та SC-FDMA; у роботі [11] – порівняльний аналіз методів адаптації; у роботі [12] – методика експериментального дослідження мобільного WiMAX; у роботі [13] – використання адаптивної модуляції у системах безпроводового радіодоступу з MIMO у частотній області.

Апробація результатів дисертації. Результати доповідались на наукових семінарах кафедри телекомунікаційних систем ХНУРЕ, а також на п'яти міжнародних конференціях. Усі виступи за темою дисертації.

Публікації. Основні положення дисертації відображені у восьми статтях, опублікованих у спеціалізованих виданнях, включених до переліку МОН України, а також у п'яти тезах доповідей на міжнародних форумах.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 161 сторінку, з них – перелік використаних скорочень на 2 сторінках, список використаних джерел на 8 сторінках, який містить 98 найменувань, 3 додатки на 15 сторінках та 2 акти впровадження результатів роботи. Дисертація містить 92 рисунки та 5 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дослідження, наукова новизна, практичне значення отриманих результатів, наведено інші необхідні характеристики роботи.

У першому розділі проведено аналіз особливостей нової мережної інфраструктури для технології LTE, спрямованої на підтримку комерційного використання будь-яких послуг на основі IP та забезпечення безперервного обслуговування абонентів у ході їх переміщення між мережами радіодоступу не тільки стандартів 3GPP, але практично усіх існуючих стандартів GSM, UMTS, WCDMA та ін.

Технологія LTE потенційно забезпечує кращі характеристики порівняно з іншими системами радіодоступу. Її найближчим конкурентом є технологія WiMAX. Тому аналіз особливостей багатостанційного доступу, організації каналних ресурсів, диспетчеризації частотних ресурсів та задіяних механізмів адаптації проведено порівняно саме з цією технологією [1,8]. Показано, що специфікація LTE вже містить велику частину функцій систем 4G.

Суттєве поліпшення характеристик якості зв'язку в мережах LTE пов'язано з використанням MIMO-систем. При цьому забезпечується суттєве підвищення пропускну здатності або зниження кількості помилок в ході

передачі даних без зниження швидкості передачі в умовах множинних перевідбиттів сигналів. MIMO забезпечує також розширення зон покриття та згладжування в них мертвих зон, збільшення пропускної здатності каналів зв'язку за рахунок використання просторово-часового, частотного та поляризаційного розподілу каналів. Повнота реалізації зазначених технічних рішень залежить від ефективності використання каналів зв'язку, а, отже, від здатності системи зв'язку в цілому адаптуватися до реальних швидкозмінливих умов поширення сигналів та завадової обстановки, що, в свою чергу, залежить від наявності або відсутності прямої видимості.

В умовах відсутності прямої видимості можлива адаптація сигнально-кодових конструкцій до сигнально-завадової обстановки, що частково вже реалізовано у стандарті LTE Release 8. Додатковим важливим резервом розвитку мереж LTE з MIMO є їх адаптація до змін параметрів окремих просторових і частотних каналів. Це забезпечує найбільш повне використання наявного часового, просторового та частотного ресурсу, щоб мінімізувати передану потужність і водночас збільшити пропускну здатність системи зв'язку або в ході збереження пропускної здатності зменшити ймовірність помилок [3,4].

За наявності прямої видимості на перший план виступають методи адаптивної просторово-часової обробки сигналів, які перетворюють MIMO в активну фазовану антенну решітку (ФАР). При цьому для режекції завад і виділення корисної інформації можуть бути використані алгоритми адаптивних антенних решіток, синтезовані для нестационарної сигнально-завадової обстановки [11].

У другому розділі за допомогою математичного моделювання проведено аналіз характеристик якості LTE за різних конфігурацій MIMO та різних методів модуляції сигналів [3, 4, 7].

Відомі різноманітні моделі радіоканалів систем зв'язку. Для вирішення завдань адаптації найбільший інтерес являють релеєвські та райсівські моделі, які описують зміни амплітуди і фази сигналу в точці прийому при багатопробієвому поширенні відповідно за відсутності та наявності прямої видимості. Дослідження характеристик якості LTE з MIMO за різних видів багатопозиційної модуляції проводилося з використанням імітаційної моделі, зображеної на рис. 1, в якій відображені особливості просторових каналів з амплітудними завмираннями. Використовувалися такі характерні для систем LTE види модуляції: BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM та 256QAM. Рознесення на приймальній і передавальній сторонах вибирається залежно від конфігурації MIMO, тобто може бути змінена кількість передавальних і приймальних антен, а також просторово-часове кодування.

Модель каналу містить канал з амплітудними завмираннями, а також канал з адитивним білим гаусівським шумом. Опціонально модель також може містити і OFDM-модуляцію з паралельною передачею символів по каналу в частотній

області. Працездатність певного типу рознесення контролюється відправкою структурованого блока даних по каналу та порівнянням отриманих даних з переданими для розрахування частоти появи помилкових бітів. У процесі моделювання змінювались також такі параметри, як відношення сигнал/шум або швидкість пересування терміналу абонента. Залежності ймовірності бітових помилок від відношення сигнал/шум у релеївському каналі для BPSK, QPSK, 16QAM, 32QAM, 64QAM та 256QAM сигналів подано на рис. 2.

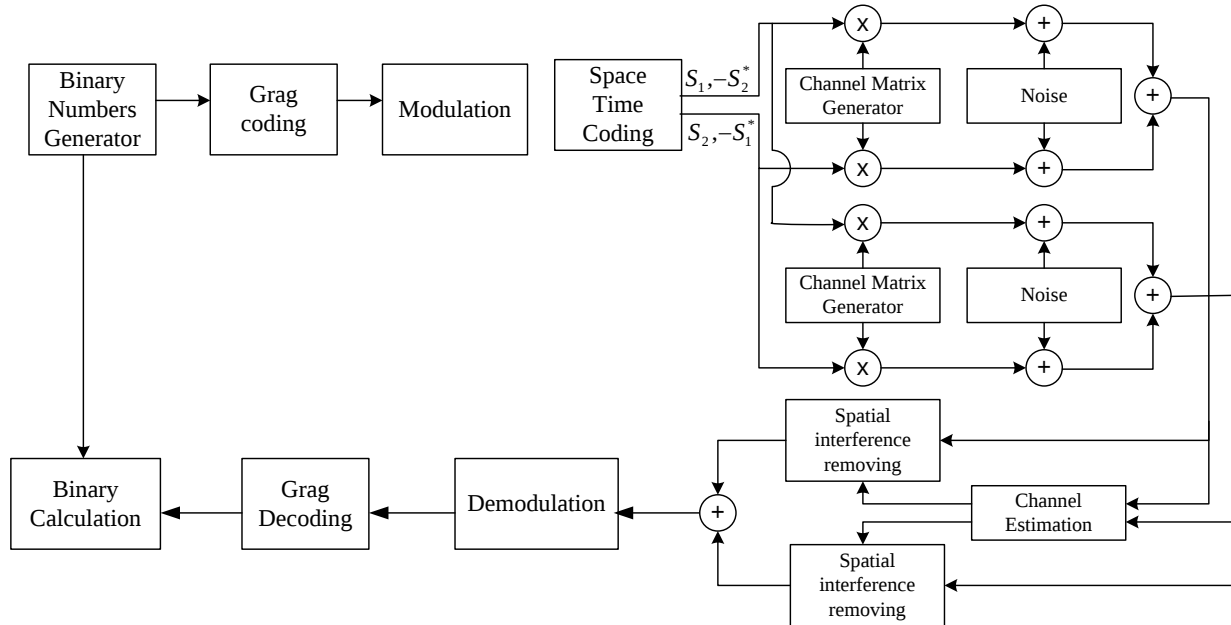


Рис. 1. Блок-схема імітаційної моделі

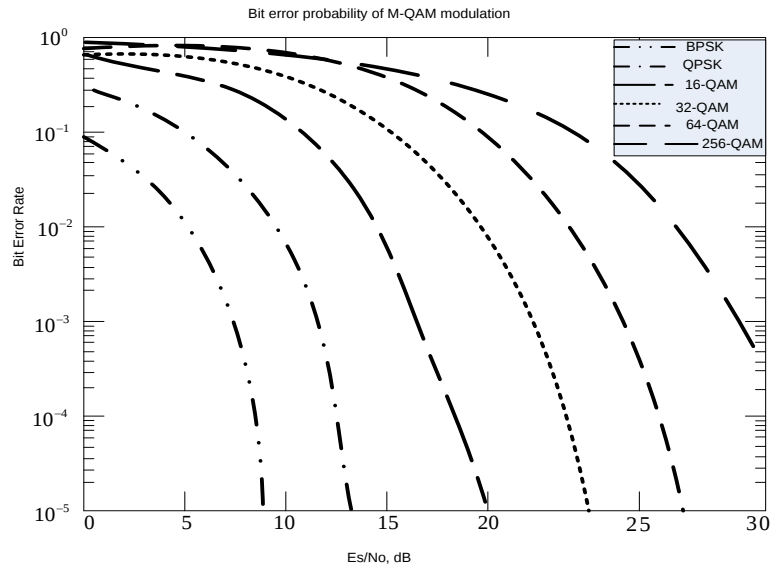


Рис. 2. Залежність ймовірності бітових помилок від відношення сигнал/шум у релеївському каналі

Рознесення на приймальній і передавальній стороні обиралось залежно від конфігурації MIMO. Нижче наводяться результати моделювання фізичного рівня системи LTE за різної кратності багатопозиційною модуляції. Для

розділення просторових каналів передбачається застосування просторово-часового блочного кодування Аламоуті [1, 7].

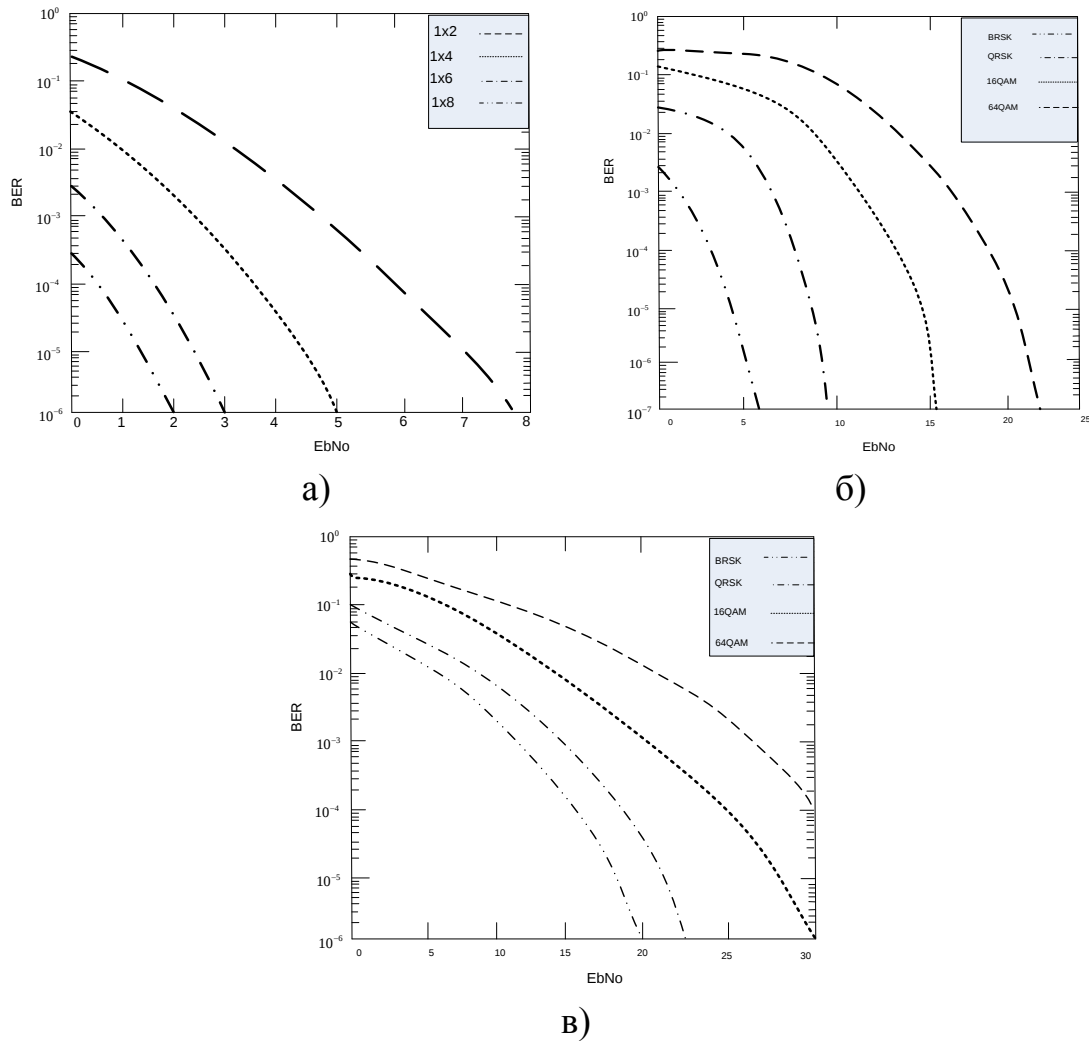


Рис. 3. Результати моделювання за різних конфігурацій MIMO та позиційності модуляції

Результати моделювання подано на рис. 3, а. Для 1x2 SIMO значення BER 10^{-4} забезпечується при SNR = 5,2 дБ, для 1x4 SIMO те саме значення BER – при 2,4 дБ, для 1x6 SIMO – 0,6 дБ, а для 1x8 SIMO значення BER взагалі менше 10^{-4} . Порівняння характеристик якості зв'язку LTE з SIMO за різної позиційності модуляції здійснювалось з використанням імітаційної моделі 1x4 SIMO (рис. 3, б). Для BPSK отримано значення SNR – 2,4 дБ, QPSK – 5 дБ, 16QAM – 13 дБ і 64QAM – 18 дБ. Графіки на рис. 3, б отримано за умови, що відношення сигнал-шум в усіх приймальних антенах однакові, що, як правило, не забезпечується на практиці. Тому проведено імітаційне моделювання з урахуванням впливу коефіцієнтів передачі каналів на потужність сумарного прийнятого сигналу. Результати моделювання показані на рис. 3, в. Як видно, в цьому випадку експлуатаційні характеристики системи нижче, ніж ті, що

подано на рис. 3, б. При BPSK отримано значення SNR, рівне 15.5 дБ, QPSK – 18 дБ, 16QAM – 25,1 дБ і 64QAM – 31 дБ.

У технології LTE передбачена адаптація потужності випромінювання антенами системи MIMO на передавальній стороні до зміни відношення сигнал/шум на приймальній стороні, що дозволяє підвищити надійність зв'язку, знизивши ймовірність бітових помилок. Для оцінки характеристик стану каналу зв'язку в стандарті LTE Release 8 передбачено спеціальний сигнал – індикатор якості каналу (CQI – Channel Quality Indicator). Коли відношення SNR високе – використовується однакова в усіх каналах MIMO більш висока позиційність модуляції. При погіршенні завадової обстановки та зменшенні SNR – позиційність зменшується. Такий механізм адаптації дозволяє зменшити вплив глибоких завмирань у мобільному LTE та викликаних цим порушення зв'язку за рахунок пристосування до мінливих умов. Однак така адаптивна модуляція не завжди достатньо ефективна, оскільки в ході її реалізації завідомо нехтується потенційно високою продуктивністю сильних просторових каналів.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено розробці методу адаптивної модуляції в MIMO-каналах LTE.

Запропоновано удосконалений метод адаптивної модуляції, заснований на використанні різних типів модуляції в різних просторових каналах MIMO, залежно від загасання сигналів у них. При заданому значенні BER для MIMO з ідеальними каналами вибирається тип модуляції, який забезпечує найбільшу можливу швидкість передачі. У сильних каналах використовується, наприклад, 64QAM або, навіть 256QAM, а у слабких – 16QAM або QPSK. Таким чином, у ході використання даного виду адаптивної модуляції кожна з MIMO-антен може використовувати сигнали з різною або однаковою позиційністю модуляції з набору станів, що реалізуються, залежно від відношення сигнал/шум на входах приймальних антен [5]. Схема модернізації LTE, яка забезпечує реалізацію запропонованого методу адаптації, зображена на рис. 4.

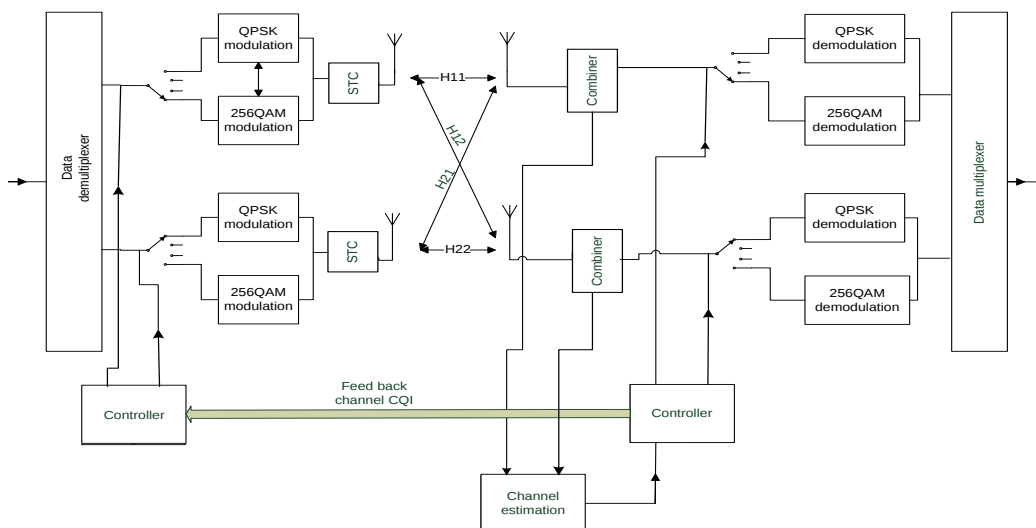


Рис. 4. Схема системи LTE з адаптацією в каналах MIMO

Для системи з замкненою петлею запропоновано використовувати алгоритм калманівської фільтрації для відстеження змін у матриці каналу [5, 9, 10]. Модель адаптивної системи з калманівською фільтрацією зображена на рис. 5. Головна задача фільтра в даному випадку – оцінка змін матриці каналу відповідно до основних рівнянь фільтра:

$$\hat{h}_{nm}(n) = a\hat{h}_{nm}(n-1) + k(n)[y_{nm}(n) - a\hat{h}_{nm}(n-1)]; \quad (1)$$

$$k(n) = \frac{c[a^2 p(n-1)\sigma_g^2]}{\sigma_v^2 + c^2\sigma_g^2 + c^2 a^2 p(n-1)}; \quad (2)$$

$$p(n) = \frac{1}{c}\sigma_v^2 k(n), \quad (3)$$

де $\hat{h}(n)$ – оцінка елемента матриці каналу; $y_{nm}(n)$ – коефіцієнт передачі вимірюваного каналу; $k(n)$ – коефіцієнт підсилення; σ_v^2 – дисперсія шуму; σ_g^2 – потужність корисного сигналу; $p(n)$ – середньоквадратична похибка вимірювання; a , c – вагові коефіцієнти.

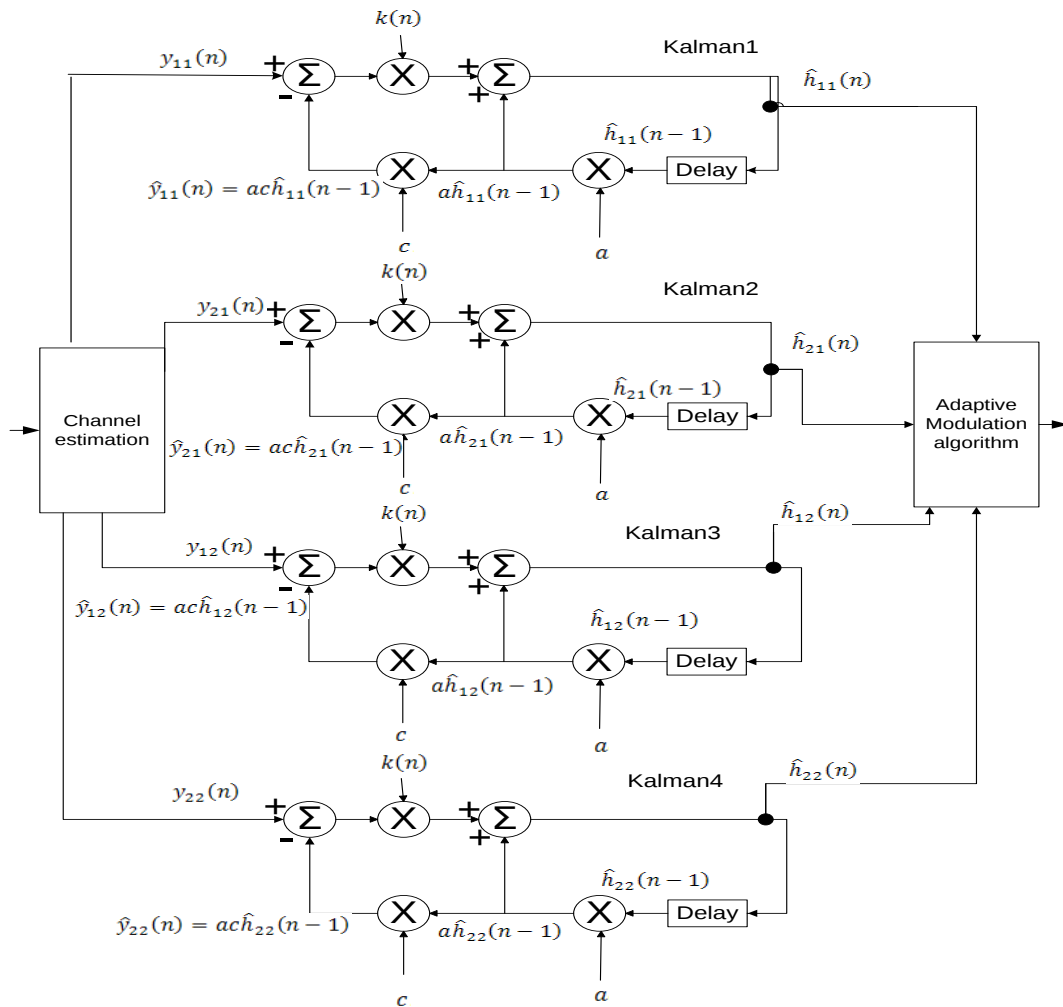


Рис. 5. Модель адаптивної системи з калманівською фільтрацією

Коефіцієнт каналу $\hat{h}(n)$ оцінюється на основі знання попереднього значення $\hat{h}(n-1)$ та коефіцієнта підсилення $k(n)$. Наступне значення $k(n)$

знаходиться з урахуванням похибки $p(n-1)$, після чого розраховується наступне значення $p(n)$. Фільтри Калмана зчитують коефіцієнти вимірювальних каналів $y_{nm}(n)$ за пілот-сигналами і передають розраховану матрицю каналу до блока алгоритмів адаптивної модуляції.

У технології LTE для усунення міжсимвольної інтерференції в лінії “вниз” застосовується OFDM-модуляція, а в лінії “вверх” – SC-FDMA. Це забезпечує паралельну передачу даних на різних піднесучих і подовження переданих символів так, щоб вони були набагато довшими найбільшої часової затримки в каналі. Однак, за високошвидкісної передачі з використанням широкосмугових частотних каналів можливі досить глибокі селективні завмирання. Для зменшення впливу цих завмирань у технології LTE частотні канали поділяються на ресурсні блоки, в яких окремим користувачам виділяються досить вузькі смуги (180 кГц). Як наслідок, у межах смуги одного ресурсного блока частотно-селективні завмирання практично відсутні. Ця особливість LTE дозволяє скоротити кількість пілот-піднесучих, необхідних для оцінювання селективних завмирань. Метод особливо ефективний у поєднанні з адаптивною модуляцією в MIMO-каналах [2, 5, 13]. При цьому система стає адаптивною як у часовій, так і у частотній областях. Сутність адаптивної модуляції у частотній області полягає у виявленні селективних загасань, що виникають у конкретному частотному блоці (рис. 6). На підставі цієї інформації змінюється вид модуляції для даної групи піднесучих. Внаслідок цього помітно зменшується вплив селективних завмирань на якість зв'язку. Отриманий за результатами імітаційного моделювання виграв у SNR досягає 6дБ.

Реалізація методу адаптивної модуляції у передавальних пристроях окремих каналів MIMO передбачає вирішення задач управління. Можлива модель системи управління передавальними пристроями, в якій для оцінки матриці каналу застосовується фільтр Калмана, подана на рис. 7.

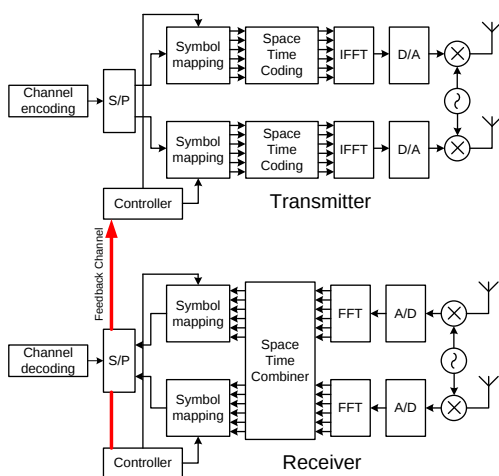


Рис. 6. Модель адаптивної модуляції
в частотній області

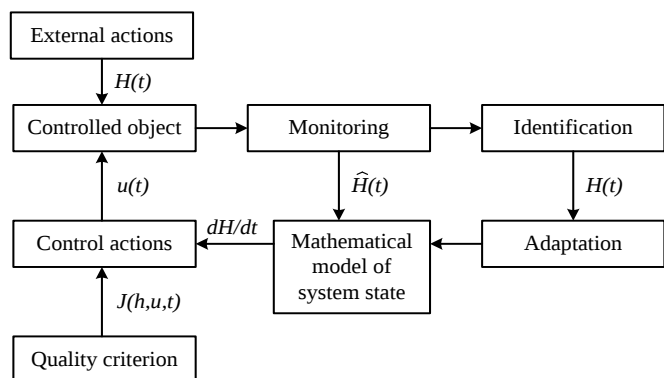


Рис. 7. Модель управління

У розробленій моделі під зовнішніми впливами (external actions) розуміється зворотний зв'язок радіоканалу, який забезпечує передавальний пристрій інформацією про матрицю каналу. Отриманий зворотний сигнал, окрім корисної інформації, містить шумову складову, тому спочатку оцінюється матриця каналу, а потім приймається рішення на управління. Зміни матриці каналу враховуються у блоці керуючих впливів під час формування керуючих дій (control action) $u(t)$.

Четвертий розділ присвячено розробці методу просторово-часової обробки сигналів у технології LTE, заснованого на використанні адаптивних антенних решіток.

За наявності прямої видимості різко зростає ступінь кореляції сигналів у каналах MIMO. У цьому випадку більш зручна організація зв'язку з абонентом по вузькому променю, який формується відповідно до заявки. Для формування пучка вузьких променів можуть бути використані програмні методи та алгоритми адаптивних антенних решіток, синтезовані для нестационарної сигнально-завадової обстановки.

У технології LTE можливо реалізувати два режими формування діаграми спрямованості (ДС):

- з підтримкою одного просторового рівня, коли діаграмоутворююча матриця на БС обирається відповідно до прийнятого від абонентської станції сигналу індикатора прекодууючої матриці (PMI – Precoding Matrix Indicator);
- адаптивне формування ДС, при якому БС проводить оцінку каналу за пілот-сигналами АС та обчислює комплексні вагові коефіцієнти передачі сигналів в кожному з паралельних каналів приймально-передавального тракту у відповідності з індикатором якості каналу (CQI – Channel Quality Indicator).

Для другого методу характерне застосування «інтелектуальних» цифрових активних антенних систем (Smart-антен). Принцип роботи таких антен ґрунтується на припущенні про помітну відмінність напрямків надходження корисного сигналу та завади. Це дозволяє водночас забезпечувати максимум ДС у напрямку корисного сигналу і мінімум – у напрямку завади і, зрештою, істотно до 10...15 дБ – підвищити відношення сигнал/шум+завада на вході приймача або збільшити спектральну ефективність до 30 біт/с/Гц (на лінії вниз у системі SU-MIMO у смузі 20 МГц).

На виставці Mobile Asia Expo 2012 компанія ZTE Corporation продемонструвала активно-пасивну антенну систему LTE A8808 AAS. Пасивна частина замінює наявні в операторів антени систем попередніх поколінь і дозволяє використовувати 2G- і 3G-інфраструктури, а активна складається з антенної решітки з вбудованим радіомодулем, який містить усі необхідні для забезпечення адаптивної просторово-часової обробки сигналів елементи. На базі таких систем можуть бути реалізовані трисекторні ФАР базових станцій LTE.

Під час використання активних антенних систем задача оптимізації полягає в підборі вагових коефіцієнтів у каналах активної антенної решітки таким чином, щоб відношення сигнал/шум+завада на виході АР було

максимальним [10]. Шлях вирішення цієї задачі відомий. Він зводиться до знаходження оптимального вектора відповідно до рівняння Вінера-Хопфа

$$\vec{W}_{opt} = \mu \vec{H} \vec{S}^*, \quad (4)$$

де $\vec{S}$ – вектор сигналу АР; $\vec{H}$ – матриця просторової кореляції суміші сигналу завад та шуму; μ – коефіцієнт.

Рівняння (4) дозволяє знайти оптимальний вектор коефіцієнтів АР. Однак, таке рішення адекватне тільки для стаціонарної сигнально-завадової обстановки. Тому являють інтерес рекурсивні алгоритми оцінювання оптимального вектора

$$\vec{W}_i(L+1) = \vec{W}_i(L) + f(\vec{W}(L), \vec{S}(L), U(\vec{L})), \quad (5)$$

де L – номер ітерації у часі. У роботі вирішення цієї задачі проведено з використанням методу мінімуму середньоквадратичної помилки. Виходячи з інформації про значення сигналу, завади та поточного вектора коефіцієнтів АР, робиться подальше наближення вектора коефіцієнтів АР у напрямку оптимального рішення згідно з рівнянням Вінера-Хопфа. Структурна схема пристрою, який реалізує алгоритм мінімізації середньоквадратичної помилки, наведена на рис. 8. За відомих прийнятому сигналу $S(L)$ та значенні сигналу на виході АР у L -й момент часу $Z(L)$, величина помилка буде $e(L)$. Алгоритм мінімізації середньоквадратичної помилки полягає у зміні коефіцієнтів АР таким чином, щоб ця помилка була мінімальною:

$$\left. \begin{aligned} e(L) &= S(L) - \vec{W}(L)^T \{ \vec{S}(L) + \vec{U}(L) \} \\ \vec{W}(L+1) &= \vec{W}(L) + 2\mu e(L) \{ \vec{S}(L) + \vec{U}(L) \}^* \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

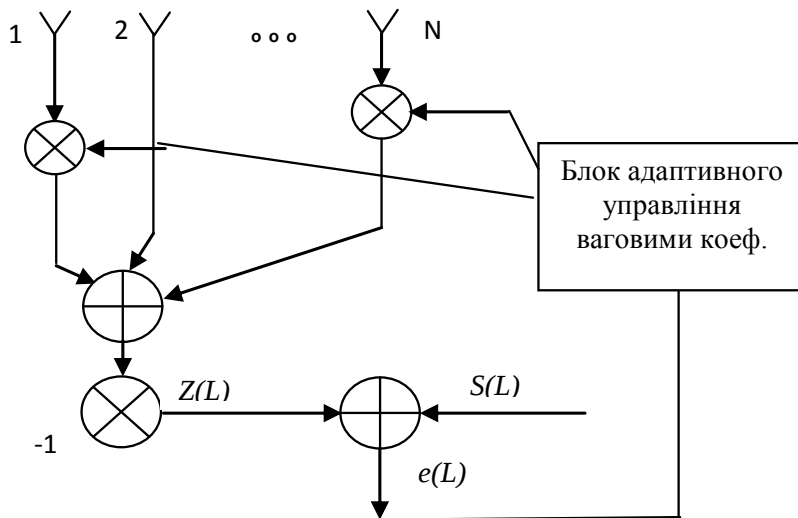


Рис. 8. Структурна схема АР з реалізацією алгоритму мінімізації середньоквадратичної помилки

Структурна схема АР з однорежимним алгоритмом адаптації зображена на рис. 9. Адаптивний процесор використовується як допоміжний, лише для покрокового пошуку коефіцієнтів АР, а для формування вихідного сигналу АР використовується основний процесор. Використання такого алгоритму має помітну перевагу, оскільки блок адаптації розділено з блоком прийому корисного сигналу. Останній лише використовує вагові коефіцієнти блока адаптації. Під час такої побудови схеми АР корисний сигнал не заглушується.

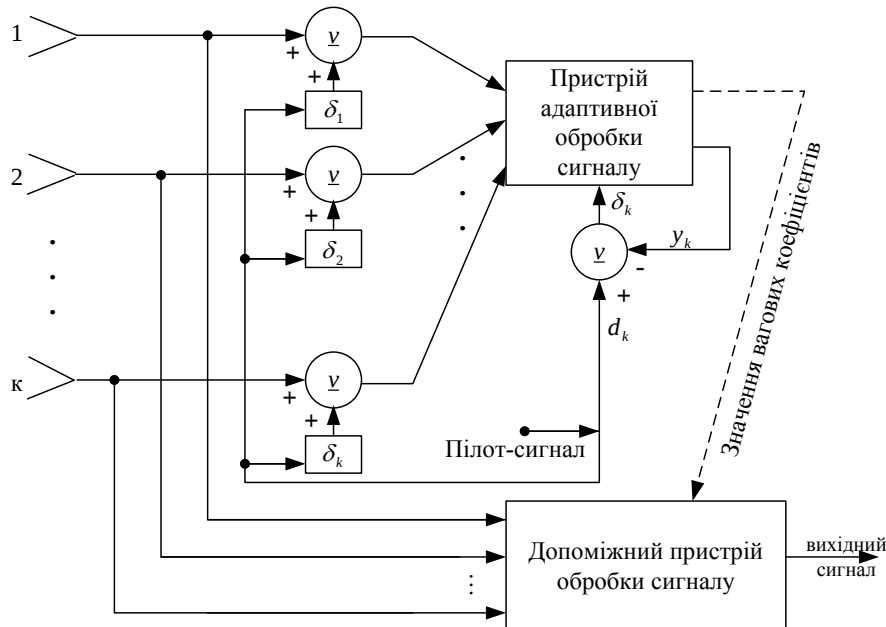


Рис. 9. Схема АР з однорежимним алгоритмом адаптації

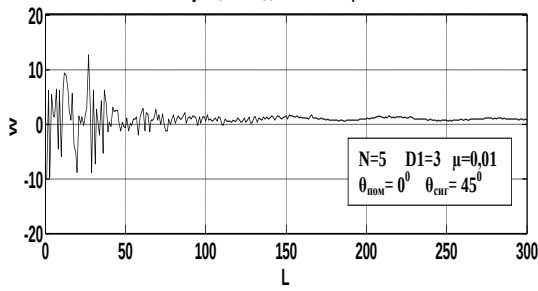
Результати дослідження залежності сходимості алгоритму адаптації від кількості кроків адаптації N за різних значень дисперсії завади D та обраного значення коефіцієнта μ наведені на рис. 10, а та рис. 10, б, а графіки діаграм спрямованості після завершення адаптації – на рис. 11, а та рис. 11, б.

Моделювання підтвердило доцільність використання в системах LTE адаптивних антенних решіток з однорежимним алгоритмом адаптації за пілотним сигналом. Підтверджена можливість формування максимуму ДС у напрямку корисного сигналу та адаптивного вибору напрямку на заваду для її режекції. Особливо ефективний цей алгоритм при сильній заваді, коли вона наближається за рівнем до сигналу.

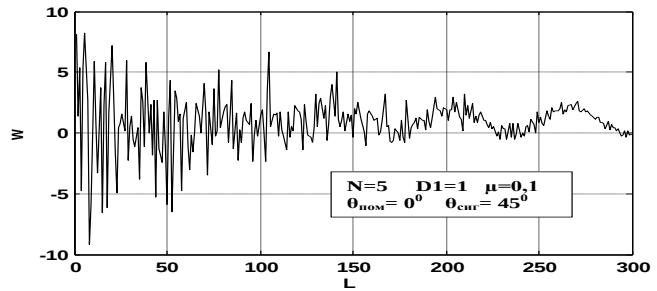
У п'ятому розділі для підтвердження отриманих теоретичних результатів проведено імітаційне моделювання та експериментальне дослідження адаптивної системи з МІМО.

Результати математичного моделювання процесів у LTE з адаптивною модуляцією в МІМО-каналах проведені з використанням імітаційної моделі, зображеної на рис. 12 [7].

Результати моделювання LTE з МІМО у вигляді графіків залежностей величини BER від відношення сигнал-шум за різних швидкостей переміщення терміналу наведено на рис. 13 [5]. Для порівняння у верхній частині графіків зображені ті самі залежності без адаптації.



а)



б)

Рис. 10. Реалізації функції збіжності алгоритму

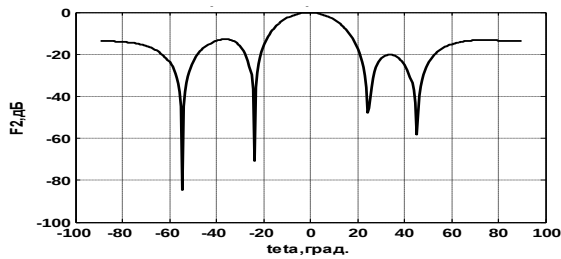
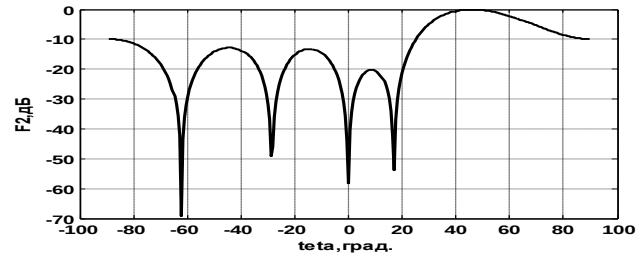
а) $\theta_{\text{сиг}} = 0^\circ, \theta_{\text{ном}} = 45^\circ$ б) $\theta_{\text{сиг}} = 45^\circ, \theta_{\text{ном}} = 0^\circ$

Рис. 11. Діаграми спрямованості АР після адаптації

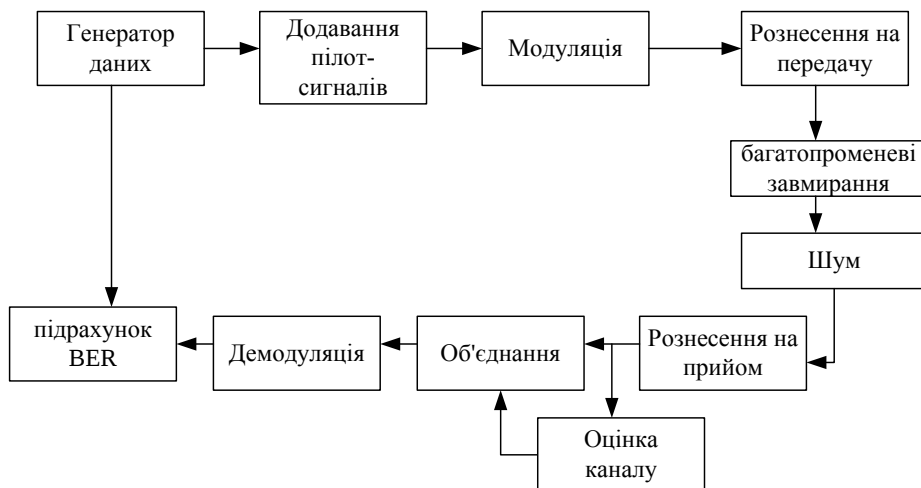
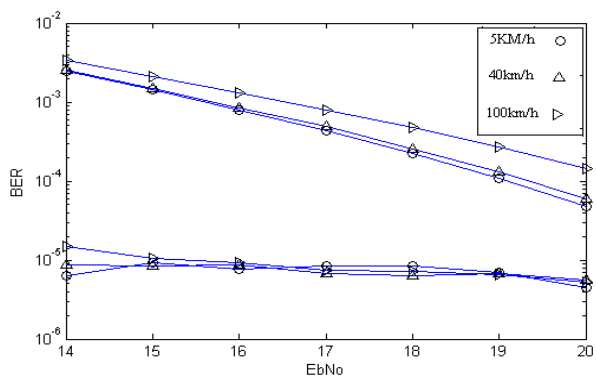
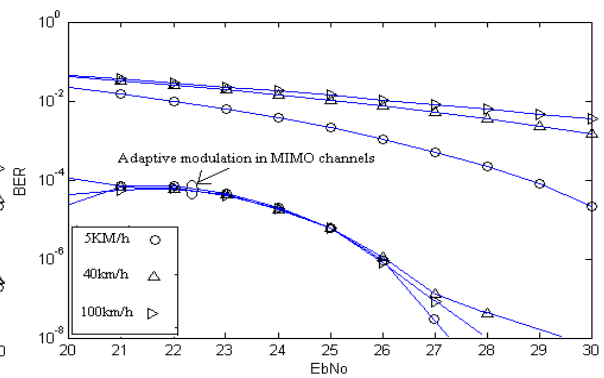


Рис. 12. Блок-схема програми імітаційного моделювання



а)



б)

Рис. 13. Результати імітаційного моделювання адаптивної модуляції у каналах MIMO за розімкненої (а) та замкненої (б) петлях зворотного зв'язку

Проведено також аналіз експлуатаційних характеристик LTE з адаптивною модуляцією в каналах MIMO із замкненою петлею з використанням для оцінки стану каналів фільтра Калмана (рис. 14).

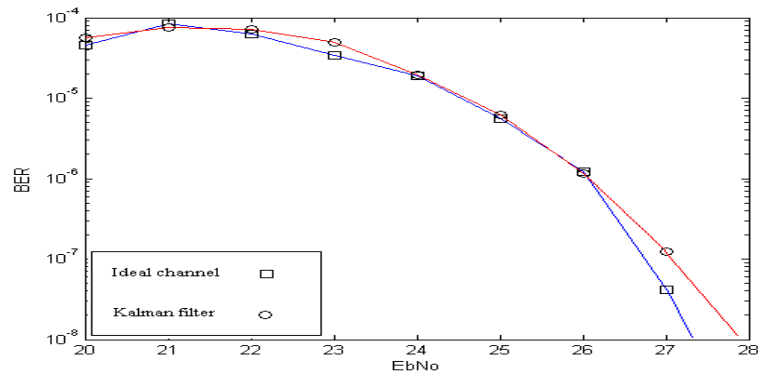


Рис. 14. Результати імітаційного моделювання з використанням для оцінки стану каналів MIMO фільтра Калмана

Практична ідентичність графіків при ідеальному знанні параметрів каналів і використанні калманівської фільтрації свідчить про високу ефективність використання останньої під час вирішення задачі адаптації.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача розробки методів підвищення якості передачі інформації в системах радіодоступу LTE на основі використання адаптивної модуляції сигналів у просторових каналах MIMO. Значення результатів дисертаційної роботи для науки і практики полягає в тому, що розроблені математичні моделі та методи адаптивної модуляції, які враховують особливості базових станцій і терміналів користувачів, дозволили виявити та запропонувати нові практичні шляхи підвищення продуктивності технології LTE з MIMO на основі більш повного використання просторового, часового та частотного ресурсів.

Висновки і рекомендації з наукового та практичного використання отриманих результатів такі:

1. Важливим напрямком розвитку систем LTE з MIMO є їхня адаптація до змін параметрів каналу, аби якомога повніше використовувати усі ресурси часової і частотної областей та мінімізувати потужність на передачу і, водночас, збільшувати пропускну здатність системи зв'язку. Розробка раціональних шляхів та оптимальних за обраним критерієм алгоритмів адаптації не можлива без об'єктивної оцінки параметрів швидкозмінюваних субканалів. При цьому для коректного аналізу процесів фізичного рівня необхідно застосовувати адекватні моделі багатопроменевих каналів. У роботі для аналізу процесів в умовах відсутності прямої видимості використана релеївська модель, а при спільному прийомі прямого і декількох відбитих променів – райсівська.

2. Результати моделювання показали, що адаптивна модуляція, передбачена стандартом LTE, не завжди достатньо ефективна. Тому запропоновано новий метод адаптивної модуляції, який полягає в одночасному використанні різних типів багатопозиційної модуляції в різних каналах MIMO, залежно від загасання в них. У сильних каналах використовується, наприклад, 64QAM або 256 QAM, а у слабких – BPSK або 16QAM. Використання адаптивної модуляції в каналах MIMO забезпечує пристосування системи зв'язку до зміни сигнально-завадової обстановки. Виграш у SNR може досягати 15 дБ при незначному зниженні швидкості передачі інформації. Система зв'язку з адаптацією в каналах MIMO менш чутлива до зміни швидкості терміналу.

3. У технології LTE для усунення міжсимвольної інтерференції в лінії “вниз” застосовується OFDM-модуляція, а в лінії “вверх” – SC-FDMA. Це забезпечує паралельну передачу даних на різних піднесучих та подовження переданих символів так, щоб вони були набагато довшими найбільшої часової затримки в каналі. Однак, при високошвидкісній передачі з використанням широкосмугових частотних каналів можливі досить глибокі селективні завмирання. Сутність адаптивної модуляції в частотній області полягає у виявленні селективних загасань, що виникають у конкретному частотному ресурсному блоці LTE. На підставі цієї інформації змінюється вид модуляції даної групи піднесучих. Внаслідок цього помітно зменшується вплив селективних завмирань на якість зв'язку. Виграш у SNR, отриманий за результатами імітаційного моделювання, досягає 6 дБ.

4. Реалізація методу адаптивної модуляції в MIMO-каналах передбачає вирішення задачі управління. Запропоновано модель системи управління передавальним пристроєм, в якій для оцінки матриці каналу застосовується фільтр Калмана. При цьому оптимізація якості управління здійснюється з використанням функції оптимізації параметрів модуляції. Вибір діапазону кожного з цих параметрів здійснюється відповідно до критерію якості на основі розробленого алгоритму.

5. За наявності прямої видимості різко зростає кореляція сигналів у каналах MIMO. У цьому випадку доцільна організація зв'язку з використанням вузької діаграми спрямованості, яка формується у відповідності з заявкою. Для формування таких діаграм спрямованості можуть бути використані програмні методи та алгоритми адаптивних антенних решіток, синтезовані для нестационарної сигнально-завадової обстановки. Запропоновано удосконалений метод просторово-часової обробки сигналів для технології LTE, заснований на використанні адаптивних антенних решіток з однорежимним алгоритмом адаптації за пілотним сигналом. Моделювання підтвердило високу ефективність використання цього методу. Підтверджена можливість формування максимуму ДС у напрямку корисного сигналу та адаптивного вибору напрямку на заваду для її режекції.

6. Імітаційне моделювання проведено з використанням розробленої програмної моделі LTE з MIMO і просторово-часовим кодуванням, яка містить змінні програмні модулі середовища передачі, модулятори, демодулятори, просторово-часові кодери й декодери. Результати моделювання підтвердили головні теоретичні положення роботи і показали високу ефективність запропонованих методів адаптації. Результати експериментального дослідження системи зв'язку з MIMO узгоджуються з результатами теоретичного аналізу та імітаційного моделювання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Марчук А.В. Адаптивная модуляция в каналах MIMO/ Марчук А.В., Вадиа З., Ал-Джанаби Х. // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2010. – Вып. 163. – С.122–128.
2. Al-Janabi H.D. Improving the performance of LTE technology with MIMO and OFDM [Електронний ресурс] / H.D. Al-Janabi, Z. Vadia// Проблеми телекомунікацій. – 2011. – № 3 (5). – С. 67 – 77. – Режим доступу до журн.:http://pt.journal.kh.ua/2011/3/1113_hussam_lte.pdf
- 3 Loshakov V.A. Adaptive control signal parameters in LTE technology with MIMO [Електронний ресурс] / V.A. Loshakov, H.D. Al-Janabi, H.K. Al-Zayadi // Проблеми телекомунікацій. – 2012. – № 2 (7). – С. 78–90. – Режим доступу до журн.: http://pt.journal.kh.ua/2012/2/1/122_loshakov_mimo.pdf.
4. Al-Janabi H.D. using adaptive equalizing in LTE with MIMO / H.D. Al-Janabi // Восточно-Европейский журнал передовых технологий (ISSN 1729-3774). – 2012. – Vol. 6/9 (60). – P. 68–72.
5. Loshakov V. A. Adaptive modulation in LTE technology by using OFDMA and SC-FDMA with MIMO / V. A. Loshakov, H.D. Al-Janabi, Y. T. Hussein, N. T. Nasif // Восточно-Европейский журнал передовых технологий (ISSN 1729-3774). – 2013. – Vol. 2/9 (62). – P. 8–11.
6. Al-Janabi H.D. Using LTE technology in wireless sensor networks / H.D. Al-Janabi, Y.T. Hussein. // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2013. – Вып. 172. – С. 81–88.
7. Лошаков В. А. Адаптивная пространственная обработка сигналов в системах LTE с MIMO / В.А. Лошаков, В.Г. Лихограй, Х. Д. Ал-Джанаби, Н. Т. Насиф //Вестник НГУ ХПИ №11, 2013. – С. 100–107.
8. Ал-Джанаби Х. Д. Сравнение Технологий Беспроводного Доступа WiMAX и LTE / Х. Д. Ал-Джанаби, Н. Т. Насиф, В.С. Вовченко // Радиотехника: Всеукр. межвед. научн.-техн. сб. – 2013. – Вып. 173. – С. 27–34.
9. Loshakov V. A. Improving Energy Consumption in Wireless Sensor Networks by LTE with MIMO / V. A. Loshakov, H. D. Al-janabi, Y. T. Hussein // The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics:

12-th International Conference (CADSM 2013) Lviv Polytechnic National University (ISBN 978-617-607-393-2) . – 2013. – P. 226–227.

10. Ал-Джанаби Х. Д. Methods of adaptive modulation in MIMO for LTE technology / Х. Д. Ал-Джанаби // 16-й Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» Сб. материалов форума. Т. 4. – Харьков: ХНУРЭ. – 2012. – С. 5.

11. Ал-Джанаби Х. Д. Connection quality improving of systems with MIMO in indirect visibility terms / Х. Д. Ал-Джанаби // 15-й Юбилейный Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» Сб. материалов форума. Т. 4. – Харьков: ХНУРЭ. – 2011. – С. 5.

12. Loshakov V. A. Results of experimental research quality of communications in WiMAX system / V. A. Loshakov, Z. Vadia, Al-Janabi H. D. // Международная конференция – Харьков 18–21 октября 2011. – С. 237–239.

13. Ал-Джанаби Х. Д. Adaptive modulation in frequency domain with MIMO / Х. Д. Ал-Джанаби // 17-й Юбилейный Международный молодежный форум «Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке» Сб. материалов форума. Т. 4. – Харьков: ХНУРЭ. – 2013. – С. 13–14.

АНОТАЦІЯ

Хуссам Дхеа Каміль Ал-Джанабі. Підвищення якості зв'язку в технології LTE з MIMO на основі використання адаптивного просторово-часового кодування. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2013.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі, яка полягає в розробці методів підвищення якості передачі інформації в технології LTE з MIMO на основі просторово-часового кодування з використанням адаптивних методів модуляції та адаптивної просторово-часової обробки сигналів.

Системи LTE з MIMO мають використовувати всі просторові та частотні ресурси, щоб мінімізувати потужність передачі і водночас збільшувати пропускну здатність системи зв'язку шляхом адаптації до стану радіоканалу. У роботі запропоновано новий метод адаптивної модуляції, який полягає в одночасному використанні різних типів багатопозиційної модуляції в різних MIMO-каналах залежно від загасання в них. У сильних каналах використовується, наприклад, 64QAM або 256QAM, а у слабких – QPSK або 16QAM. Запропоновано модель системи управління передавальними пристроями MIMO, в якій для оцінки матриці каналу застосовуються фільтри Калмана. Розроблено також удосконалений метод просторово-часової обробки сигналів для технології LTE, заснований на використанні адаптивних антенних

решіток з однорежимним алгоритмом адаптації за пілотним сигналом. Реалізація запропонованого методу адаптивної просторово-часової обробки сигналів полегшується нещодавною появою на ринку спеціально розроблених для технології LTE активно-пассивних антенних систем. Пасивна частина замінює антенні системи попередніх поколінь і дозволяє використовувати 2G- та 3G-інфраструктури, а активна дозволяє вирішувати задачі адаптивної просторово-часової обробки та забезпечує вирішення задач зв'язку наступного покоління. З використанням таких антенних систем можуть бути реалізовані трисекторні адаптивні антенні решітки для базових станцій LTE.

Достовірність наукових результатів і висновків, сформульованих у дисертації, доведено шляхом імітаційного моделювання та експерименту на реальному обладнанні.

Ключові слова: технологія LTE з MIMO, просторово-часове кодування, адаптивна модуляція в каналах MIMO, адаптивна просторово-часова обробка.

АННОТАЦИЯ

Хуссам Дхеа Камиль Ал-Джанаби. Повышение качества связи в технологии LTE с MIMO на основе использования адаптивного пространственно-временного кодирования. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2013.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научной задачи разработки методов повышения качества передачи информации в технологии LTE с MIMO на основе пространственно-временного кодирования с использованием адаптивных методов модуляции и адаптивной пространственно-временной обработки сигналов. Системы LTE с MIMO должны использовать все пространственные и частотные ресурсы, чтобы минимизировать мощность на передачу и, в то же время, увеличивать пропускную способность системы связи путем адаптации к состоянию радиоканала. В работе предложен новый метод адаптивной модуляции, который заключается в одновременном использовании различных типов многопозиционной модуляции в различных MIMO-каналах в зависимости от затухания в них. В сильных каналах используется, например, 64QAM или 256 QAM, а в слабых – QPSK или 16QAM. Предложена модель системы управления передающими устройствами MIMO, в которой для оценки матрицы канала применяется фильтр Калмана. Усовершенствован метод пространственно-временной обработка сигналов для технологии LTE, основанный на использовании адаптивных антенных решеток с однорежимным алгоритмом адаптации по пилотному сигналу. Достоверность научных результатов и выводов, сформулированных в диссертации,

подтверждены путем имитационного моделирования и эксперимента на реальном оборудовании.

Ключевые слова: технология LTE с MIMO, пространственно-временное кодирование, адаптивная модуляция в каналах MIMO, адаптивная пространственно-временная обработка.

ABSTRACT

Hussam Dheaa Kamel Al-Janabi. Improving communication quality LTE technology with MIMO based adaptive space-time coding method. – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate technical sciences, specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkov, 2013.

Dissertation is devoted to solving the actual scientific task to improve communication quality LTE technology with MIMO based space-time coding method using adaptive modulation and space-time adaptive signal processing. LTE system with MIMO must use all space and frequency resources to minimize the transmitted power and at the same time to increase performance communication system by adapting to the state of radio channels. It is proposed a new method for adaptive modulation in MIMO channels. In strong channels used, for example, 64QAM or 256QAM, while the weak – QPSK or 16QAM. For evaluation the matrix channel in control systems it is proposed to use the Kalman filters. It is developed improved adaptiv method of spase-time processing for technology LTE, based on using of adaptive antenna arrays with adaptation algorithm by the pilot signal. The reliability of scientific results and conclusions of the thesis is proved by simulations and experimENTS on real hardware.

Keywords: LTE technology, MIMO systems, space-time coding, adaptive modulation in MIMO channels, space-time adaptive signal processing.

Підп. до друку __.__.2013. Формат 60x84 ^{1/16}. Спосіб друку – ризографія.
Умов.друк.арк. _____. Облік. вид.арк. _____. Тираж 100 прим.
Ціна договірна Зам №_____

ХНУРЕ. Україна. 61166, Харків, просп. Леніна, 14

Віддруковано в навчально-науковому
видавничо-поліграфічному центрі ХНУРЕ
61166, Харків, просп. Леніна, 14