

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Абдурахман Ахмед Ісса Алі



УДК 621.396

**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ
В СИСТЕМАХ НОВИХ ПОКОЛІНЬ
НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ АДАПТАЦІЇ**

Спеціальність 05.12.02 – Телекомунікаційні системи та мережі

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків-2018

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 інфокомунікаційної інженерії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гаркуша Сергій Володимирович,
Вищий навчальний заклад Укркоопспілки
«Полтавський університет економіки і торгівлі»,
проректор з наукової роботи;

кандидат технічних наук, доцент
Озеров Сергій Вікторович,
Харківський університет Повітряних Сил Міністерства
оборони України, старший викладач кафедри
радіоелектронних систем пунктів управління
Повітряних Сил.

Захист відбудеться «_____» _____ 2018 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.09 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14, ауд. 13.

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

Автореферат розісланий «_____» _____ 2018 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Б. Ткачова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Процес розвитку систем мобільного зв'язку нових поколінь підпорядкований кільком тенденціям, основними з яких є збільшення обсягу переданих даних на основі протоколу IP та наближення спектральної ефективності до межі Шеннона. Ці тенденції реалізуються спираючись як на активне залучення останніх фундаментальних досягнень мобільного зв'язку, так і на існуючі добре освоєні операторами технології.

Зміни технологій мобільного зв'язку найбільше проявляється у змінах радіоінтерфейсів, де особливо чітко простежуються фундаментальні відмінності. Використання ортогонального частотного (OFDM) та просторового (MIMO) рознесення, які є найважливішими напрямками в розвитку технологій мобільного зв'язку нових поколінь, потенційно забезпечує наближення їх спектральної ефективності до межі Шеннона. Однак, подальший еволюційний розвиток систем стільникового зв'язку з множинними антенами та OFDM неможливий без максимально повного використання усіх наявних ресурсів часової, частотної, просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів, а також завадостійкого кодування, щоб мінімізувати передану потужність і, в той же час, збільшити пропускну здатність системи зв'язку шляхом її адаптації до стану радіоканалу. Розробка раціональних шляхів і оптимальних за обраним критерієм алгоритмів адаптації неможлива без об'єктивної оцінки параметрів швидкозмінливих радіоканалів.

Для ефективної роботи системи зв'язку необхідна наявність каналів з досить високим значенням SNR близько 20 дБ і більше. При його менших значеннях різко зростає ймовірність помилкового прийому і знижується пропускну здатність каналу. Це вказує на необхідність використання методів адаптивної щодо сигнально-завадової ситуації просторово-часової, просторово-частотної та просторово-поляризаційної обробки сигналів.

У теперішній час на ринку з'явилися активно-пасивні антенні модулі, які поєднують пасивну і активну фазовані антенні решітки. Пасивна частина замінює наявні у операторів антени 2G та 3G, а активна дозволяє вирішувати завдання адаптивної просторово-часової та поляризаційної обробки систем 4G, істотно поліпшуючи SNR. З використанням таких антенних систем можуть бути реалізовані адаптивні антенні решітки для базових станцій систем зв'язку нових поколінь. Орієнтуючись на такі антенні системи, необхідно розробити алгоритми адаптивної просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів, що забезпечують формування максимуму ДН у напрямку на корисний сигнал, визначення напрямку на заваду та її глибоку режекцію.

Таким чином, актуальною є наукова задача, яка полягає в підвищенні якості мобільного зв'язку на основі розробки нових методів адаптивної модуляції та обробки сигналів в просторово-частотних і просторово-часових швидкозмінливих каналах систем мобільного зв'язку з MIMO та OFDM.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційні дослідження пов'язані з реалізацією положень «Концепції національної інформаційної політики» та «Основних засад розвитку

інформаційного суспільства в Україні». Матеріали дисертації використані в науково-дослідній роботі № 261-1 «Методи підвищення продуктивності бездротових мереж наступного покоління», яка виконувалась у Харківському національному університеті радіоелектроніки і де дисертант був виконавцем.

Мета роботи та завдання дослідження. Мета роботи полягає у розробці методів підвищення якості передачі інформації в системах мобільного зв'язку нових поколінь з MIMO та OFDM на основі використання адаптивних методів модуляції і кодування, адаптивної просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів.

Для досягнення цієї мети в роботі вирішені наступні завдання:

- дослідження впливу завмирань у просторових каналах на характеристики якості мобільного зв'язку із застосуванням імітаційного моделювання та аналіз можливостей підвищення якості зв'язку за рахунок раціонального вибору видів модуляції, конфігурації MIMO та методів просторово-часової та поляризаційної адаптивної обробки сигналів;

- аналіз впливу виду багатопозиційної модуляції на характеристики якості зв'язку систем з MIMO в умовах реальних істотних змін параметрів окремих просторових каналів при різних конфігураціях MIMO;

- розробка методу підвищення пропускної здатності, близької до межі Шеннона, систем зв'язку з MIMO та OFDM;

- розробка керуючої моделі адаптивної модуляції в каналах MIMO з OFDM для оцінки змін параметрів окремих просторових та частотних каналів;

- пошук шляхів підвищення пропускної здатності мобільних систем зв'язку з OFDM за рахунок додаткової часової еквалізації, багатофазної фільтрації та повороту сигнального сузір'я;

- розробка методів просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів з автокомпенсацією завад, заснованих на використанні адаптивних антенних решіток.

Об'єкт дослідження. Процеси функціонування систем мобільного зв'язку нових поколінь з MIMO та OFDM.

Предмет дослідження. Моделі і методи підвищення якості зв'язку в системах з MIMO та OFDM засновані на використанні адаптивних методів модуляції, багатофазної фільтрації, повороту сигнального сузір'я, просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів.

Методи досліджень базуються на основних положеннях радіофізики, теорії електрозв'язку, системного аналізу, математичної статистики, теорії ймовірностей, теорії оптимізації, теорії оцінювання та управління, методах просторово-часової обробки сигналів, імітаційного моделювання та натурального експерименту.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі автором отримані наступні результати, які характеризуються науковою новизною:

- удосконалено метод підвищення пропускної здатності близької до межі Шеннона систем зв'язку з MIMO та OFDM з використанням індикаторів якості просторово-частотних каналів. Метод полягає у формуванні власних незалежних просторових та частотних каналів з автономним динамічним

адаптивним вибором більш високої кратності багатопозиційної модуляції та швидкості кодування у каналах з малим рівнем затухання і з меншими кратністю модуляції та швидкістю кодування у каналах з високим рівнем затухання сигналу;

– запропоновано новий метод оцінювання параметрів просторово-частотних каналів систем зв'язку з MIMO та OFDM, заснований на використанні калманівської фільтрації і забезпечує оцінку в реальному масштабі часу та дозволяє враховувати статистичний зв'язок між суміжними просторово-частотними каналами. Це дає можливість скоротити час та підвищити якість оцінювання, які необхідні для реалізації адаптивної модуляції;

– вперше запропоновано метод підвищення пропускну здатності та завадозахищеності мобільних систем зв'язку з OFDM, який засновано на комплексному використанні додаткової часової еквалізації, багатофазної фільтрації та повороті сигнального сузір'я;

– удосконалено метод підвищення якості зв'язку за рахунок просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів з автокомпенсацією завад, який засновано на використанні адаптивних антенних решіток з алгоритмом адаптації по пілотному сигналу.

Практичне значення отриманих результатів. На основі аналізу процесів фізичного рівня у просторових та частотних каналах систем з MIMO і OFDM та оцінки їх стану у реальному масштабі часу запропоновано методи вирішення задачі підвищення якості мобільного зв'язку в системах нових поколінь за рахунок їх адаптації до реальних швидкозмінливих умов багатоканального поширення сигналів.

Результати дисертаційних досліджень реалізовані в науково-дослідній роботі № 261-1 «Методи підвищення продуктивності безпроводових мереж наступного покоління», яка виконувалась у Харківському національному університеті радіоелектроніки та в навчальному процесі кафедри інфокомунікаційної інженерії ХНУРЕ при вивченні дисципліни «Системи абонентського радіодоступу». Використання результатів дисертаційної роботи підтверджено відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача у спільних публікаціях. Усі основні наукові результати представлені в дисертаційній роботі отримані автором самостійно. Крім того, в роботі [1] проведено порівняльний аналіз критеріїв ефективності управління в адаптивних антенних решітках БС, в роботі [6] – аналіз переваг використання OFDM в оптичних лініях зв'язку між базовими станціями, в роботі [10] – запропоновано використання адаптивної модуляції у власних просторово-частотних каналах мобільних систем з MIMO та OFDM, в роботі [11] – автору належить постановка задачі та аналіз переваг використання оптичного OFDM перед радіочастотним, в роботі [14] – аналіз алгоритму роботи адаптивної AP за критерієм МСКП, [15] – моделювання адаптивної поляризаційної обробки з використанням сигналів ортогональної поляризації в умовах інтенсивних активних завад, [16] – аналіз ефективності використання адаптивної модуляції у системах з MIMO та OFDM.

Апробація результатів дисертації. Результати апробації відображені в 10 тезах доповідей у збірниках матеріалів міжнародних наукових конференцій та форумів, з яких дві апробації на конференціях, які проходили під егідою IEEE та індексуються в міжнародній базі Scopus. Усі виступи за темою дисертації.

Публікації. Основні положення дисертації відображені у 6 статтях, серед яких 2 статті опубліковані у закордонних фахових журналах, 4 статті – у фахових науково-технічних журналах та збірках наукових праць, які включено до переліку спеціалізованих видань МОН України.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 148 сторінок, з них – перелік використаних скорочень на 2 сторінках, список використаних джерел на 9 сторінках, який містить 71 найменування, 2 додатки на 5 сторінках та 2 акти впровадження результатів роботи. Дисертація містить 75 рисунків та 5 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У **першому розділі** проведено аналіз особливостей сучасної та перспективної інфраструктур мобільного зв'язку, спрямованої на підтримку 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. [1, 3, 4, 11].

Використання технологій просторового та ортогонального частотного рознесення у сучасних та перспективних системах мобільного зв'язку потенційно забезпечує суттєве покращення їх спектральної ефективності до величини близької до межі Шеннона. Однак реалізація на практиці потенційно високих показників якості зв'язку в реальних умовах багатопробного широкосмугового каналу зі змінюваними параметрами у часовій та частотній областях не можлива без адаптації до реальних умов поширення сигналу. Природно що така адаптація можлива лише на основі знання властивостей та особливостей зміни параметрів каналу зв'язку в часовій та частотній областях, тобто його імпульсної та частотної характеристик, а також їх кореляційних властивостей.

Моделлю, яка досить повно описує такий канал у дискретні моменти часу, є лінія затримки з відводами та характеристикою

$$\dot{h}(t) = \sum_{r=1}^{r=R} \dot{h}(r, t) = \sum_{r=1}^{r=R} \dot{h}_r(t) \cdot \delta(t - \tau_r(t)) + n(t), \quad (1)$$

де $\dot{h}_r(t)$ – комплексний коефіцієнт загасання у r -му промені; $\tau_r(t)$ – затримка поширення у r -му промені; $n(t)$ – адитивний білий гаусівський шум.

Для стаціонарних багатопроменевих каналів, параметри яких повільно змінюються у часі, можна вважати $\dot{h}_r(t) \approx h_r$, $\tau_r(t) \approx \tau_r = r/c$. При цьому сигнал $y(t)$ на виході багатопроменевого каналу може бути знайдено як згортка переданого сигналу $x(t)$ з імпульсною характеристикою каналу

$$y(t) = \sum_r h_r x(t - \tau_r) + n(t). \quad (2)$$

Частотна характеристика багатопроменевого каналу може бути отримана за допомогою дискретного перетворення Фур'є імпульсної характеристики (1)

$$H_k = \sum_r h_r \exp(-j2\pi k \tau_r / T_s N), \quad (3)$$

де T_s – тривалість символу.

У частотній області модель каналу можна побудувати, припустивши обмеженість часу запізнення (розсіювання) τ_r сигналу, тобто, що смуга частот сигналу, який передається по каналу, обмежується інтервалом *когерентності* $\Delta f = 1/\tau_r = B_c$. Тоді дискретна модель каналу може бути представлена набором k смугових фільтрів з комплексними коефіцієнтами передачі H_k , смуга пропускання кожного з яких дорівнює B_c . При цьому гармонійні складові з рознесенням по частоті, яке перевищує $1/\tau_r$, матимуть практично некорельовані випадкові огинаючі та фазу. Цей параметр залежить від виду завмирань сигналів і саме він визначає характер розміщення і кількість піднесучих, які використовуються для оцінки якості каналу при вирішенні задач адаптації у мобільних системах зв'язку.

Інформацію про динаміку зміни коефіцієнта передачі дає кореляційна функція або характер зміни спектральної густини потужності флуктуацій цього коефіцієнта. Це означає, що для аналізу і синтезу структури адаптивної обробки сигналів систем мобільної зв'язку необхідна інформація про величину і характер зміни комплексних коефіцієнтів передачі або комплексної передавальної функції каналу

$$\dot{H}(f, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \dot{h}(\tau, t) e^{-j2\pi f \tau} d\tau \quad (4)$$

та їх кореляційних властивостей у часовій та частотно-часовій областях:

$$R_h(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T h(t) h(t + \tau) dt; \quad (5)$$

$$R_H(\Delta f, \Delta t) = \int_{-\infty}^{\infty} R_h(\tau, \Delta t) e^{-j2\pi \Delta f \tau} d\tau. \quad (6)$$

Природно, що при вирішенні конкретних завдань передачі цифрової інформації, необхідно використовувати апарат дискретних перетворень.

В умовах відсутності прямої видимості важливим резервом покращення якості мобільного зв'язку систем з MIMO та OFDM є їх адаптація до змін параметрів окремих просторових та 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 при збереженні пропускну здатності зменшити ймовірність помилок [3, 4]. За наявності прямої видимості на перший план виступають методи адаптивної просторово-часової обробки сигналів, які перетворюють MIMO в адаптивну антенну решітку (AAR). При цьому для режекції завад і виділення корисної інформації можуть бути використані алгоритми адаптивних антенних решіток, які синтезовано для нестационарного сигнально-завадового оточення [1, 11].

Другий розділ дисертаційної роботи присвячено аналізу існуючих та розробці нових методів адаптивної модуляції в системах з MIMO та OFDM [3, 4, 8, 16].

Пропускна здатність одна з найважливіших характеристик якості зв'язку, близькість якої до межі Шеннона є важливим показником досконалості сучасних та перспективних мобільних систем. Тому одна з цілей адаптації є максимальне наближення до цієї межі. Просторове рознесення з використанням MIMO потенційно забезпечує істотне збільшення пропускну здатності системи зв'язку [1, 7]. Для системи MIMO з L передавальними та Q приймальними антенами і рівномірному розподілі потужності між усіма просторовими каналами справедливий наступний вираз для питомої пропускну здатності

$$C = \log_2 \det \left(\mathbf{I} + \frac{h_{lq}^2}{L} \mathbf{H}^H \mathbf{H} \right), \quad (7)$$

де \mathbf{H} – матриця каналу; \mathbf{H}^H – ермітово спряжена матриця каналу (комплексно спряжена та транспонована); \mathbf{I} – одинична $L \times Q$ матриця.

Результати моделювання у вигляді залежностей питомої пропускну здатності від SINR у дБ для MIMO-систем з однаковим числом передавальних і приймальних антен ($L = Q = 2, 4, 8, 16$) наведені на рис. 1 [1, 7].

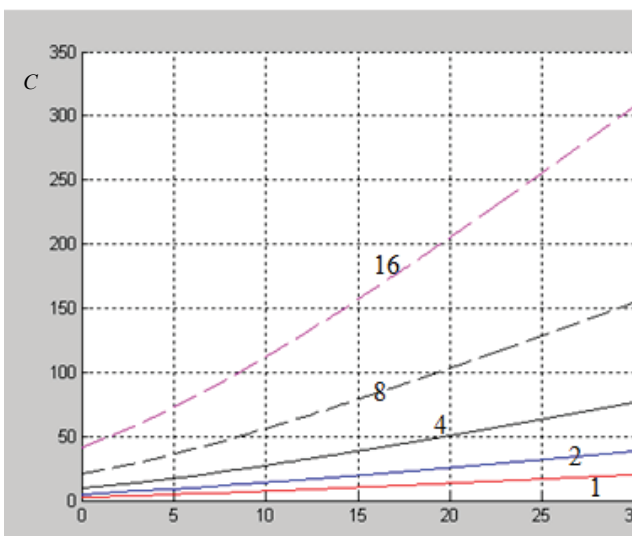


Рис. 1. Залежності пропускну здатності від SINR

Для підвищення якості зв'язку в сучасних і перспективних системах зв'язку з MIMO обов'язковим є використання адаптивної модуляції за рахунок керування сигнальним сузір'ям в залежності від SINR.

Коли відношення SINR високе – використовується найвища позиційність модуляції. При погіршенні завадової ситуації і зменшенні SINR – позиційність зменшується. Такий механізм дозволяє системі запобігати впливу глибоких завмирань на якість зв'язку з мобільним терміналом за рахунок пристосування до умов, що змінюються.

Результати моделювання залежностей BER від SINR при різних сигнальних конструкціях свідчать про потенційні можливості збереження заданої величини BER, наприклад 10^{-4} , при зниженні SINR до 5 дБ за рахунок переходу від модуляції 64QAM до BPSK.

Для забезпечення максимально можливого наближення спектральної ефективності до межі Шеннона у перспективних мобільних системах зв'язку необхідно використовувати адаптивні модуляцію та кодування, адаптивну еквалізацію у часовій і частотній областях, адаптивну просторово-часову обробку з автокомпенсацією завад, поляризаційне рознесення, гібридний автоматичний повторний запит та індикацію поточного стану якості каналу. При цьому в основі стратегії адаптації лежить вимірювання параметрів ширококугових багатопроменевих каналів та передачі на базову станцію результатів вимірювання по ланцюгу замкненого низькошвидкісного зворотного зв'язку.

Припускаючи, що за час T параметри каналу залишаються практично незмінними $h^{l,q}(t) \approx h^{l,q}$, $\tau^{l,q}(t) \approx \tau^{l,q}$, тоді на цьому відрізку часу вихідна послідовність даних може бути представлена у вигляді суми адитивного білого гаусівського шуму і згортки імпульсної характеристики каналу з вибірками вхідного сигналу

$$\mathbf{Y}(t) = \mathbf{H}(t)\mathbf{X}(t) + \mathbf{n} . \quad (8)$$

На боці передавача з урахуванням інформації про стан каналу здійснюється попереднє просторово-часове кодування для максимального узгодження сигналу, що передається, з просторовим DL каналом між базовою та абонентськими станціями. Абонентські станції, які знаходяться на достатній відстані одна від одної, можуть використовуватися для організації віртуальної схеми MIMO, коли кожна з UE розглядається як окремий віртуальний антенний тракт. При цьому кожен просторовий рівень використовується для перенесення інформації одного абонента.

Канальна матриця \mathbf{H} може бути подана у вигляді сингулярного розкладення

$$\mathbf{H} = \mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^H , \quad (9)$$

де \mathbf{U} і \mathbf{V} – унітарні матриці розмірністю відповідно $Q \times Q$ та $L \times L$; \mathbf{D} – матриця розмірності $L \times Q$, діагональні елементи якої – власні значення матриці \mathbf{H} є коефіцієнтами передачі незалежних просторових каналів.

Якщо сингулярне розкладання (9) для матриці \mathbf{H} підставити в (8), то після перетворень рівняння спостереження можна подати у вигляді

$$\mathbf{Y} = \mathbf{U}\mathbf{D}\mathbf{V}^H\mathbf{X} + \mathbf{n} \quad (10)$$

або

$$\mathbf{Y}' = \mathbf{D}\mathbf{X} + \mathbf{n}' , \quad (11)$$

де $\mathbf{Y}' = \mathbf{U}^{-1}\mathbf{Y}$, $\mathbf{D} = \mathbf{V}\mathbf{H}$ і $\mathbf{n}' = \mathbf{U}^{-1}\mathbf{n}$ в якому просторово-частотні канали MIMO описуються діагональною матрицею \mathbf{D} , тобто можуть бути представлені як сукупність паралельних неінтерферуючих каналів, де в кожному каналі може

застосовуватися різний тип модуляції незалежно від інших каналів $y_l = h_l x_l + n_l'$, де $l = 1, 2, \dots, L$. Це означає, що в l -му власному каналі присутній тільки l -ий символ, а власні вихідні шуми каналів некорельовані між собою. Оскільки у цьому випадку власні підканали є незалежними, то в кожному з них можна реалізувати різну швидкість передачі даних, що дасть можливість зберегти допустиму ймовірність блокових помилок за рахунок вибору відповідної величини позиційності модуляції і швидкості кодування [11]. Очевидна плата за це деяке ускладнення пристроїв кодування/декодування і модуляції/демодуляції в різних підканалах. Можлива структура такої системи зображена на рис. 2.

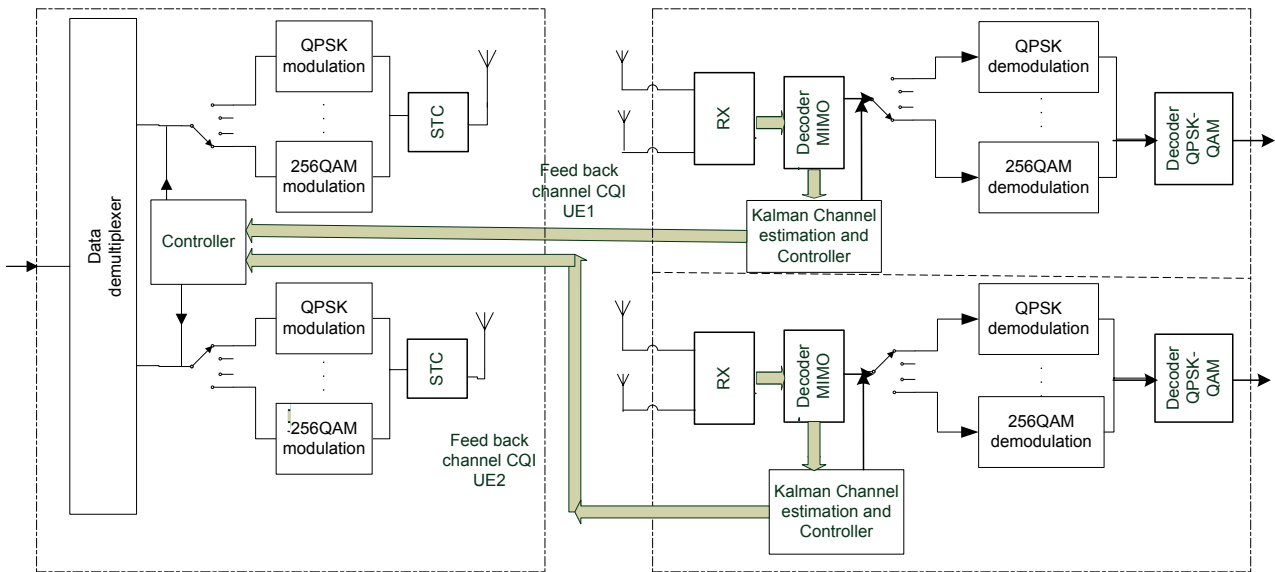


Рис.2. Система мобільного зв'язку з адаптивною модуляцією у власних незалежних каналах MIMO

У системах MIMO с OFDM корекцію передавальної характеристики каналу зв'язку доцільно здійснювати у два кроки. На першому – оцінюється коефіцієнт передачі каналу в даній частотній позиції і в даний момент часу. На другому кроці здійснюється інтерполяція отриманих оцінок передавальної характеристики каналу у часі та по частоті.

Для оцінки коефіцієнтів передачі можливе застосування різних методів (метод найменших квадратів, метод мінімуму середнього квадрата похибки (МСКП)) та різних адаптивних алгоритмів (на основі фільтра Калмана та ін.).

Розрізняють одномірні методи, коли для оцінки використовують інформацію тільки у часі або частоті, та двовимірні, які використовують інформацію по обом змінним. У системах з OFDM природно використання двовимірних методів. Достатньо точна модель системи зв'язку з MIMO та OFDM може бути побудована при поєднанні моделей процесу та спостереження:

$$\mathbf{Y}_i(n) = \mathbf{H}_i(n)\mathbf{X}_i(n) + \boldsymbol{\eta}_i(n) ; \quad (12)$$

$$\mathbf{H}_i(n) = \alpha\mathbf{H}_{i-1}(n) + \boldsymbol{\sigma}_i(n) , \quad (13)$$

де n – номер OFDM-символу; $\mathbf{X}_i(n)$ – L -мірний вектор-стовпець, складений з сигналів $x_i^l(n)$ в i -му частотному каналі на вході модулятора блоку зворотного перетворення Фур'є (IFT) l -ї передавальної антени; $\mathbf{Y}_i(n)$ – вектор-стовпець сигналів $y_i^q(n)$ виході демодулятора блоку DFT, прийнятих q -ю антеною; $\mathbf{H}_i(n)$ – канална матриця, яка містить елементи $h_i^{l,q}(n)$; L, Q – число, передавальних і приймальних антен відповідно; $i \in [1, N]$, $l \in [1, L]$, $q \in [1, Q]$, $\eta_i(n)$ – адитивний гаусівський шум на виході фільтру ПЧ приймача q -ї антени з нульовим середнім і дисперсією σ_η^2 ; α -числовий коефіцієнт рекурентного співвідношення, який дозволяє апроксимувати зміну у часі послідовності значень $\mathbf{H}_i(n)$.

Для поділу каналів необхідно знати каналну матрицю $\mathbf{H}_i(n)$, складену з її каналних елементів $h_i^{l,q}(n)$, а також характер розподілу спектральної густини потужності сигналу з урахуванням доплерівського уширення спектру.

Численні експерименти показують, що в реальних умовах каналів із завмираннями канална матриця $\mathbf{H}_i(n)$ має явно виражені кореляційні властивості за параметром n з часом кореляції від одиниць до декількох десятків тривалостей OFDM символів. За цих умов досить ефективними можуть виявитися слідкуючі алгоритми замкненої корекції, які забезпечують виявлення селективних завмирань у конкретній групі піднесучих і на підставі цієї інформації для кожної АС призначають групи інформаційних піднесучих з максимально можливим рівнем. На наступному кроці вибирається вид модуляції і швидкість кодування інформаційних символів для даної групи піднесучих. Процес адаптації забезпечують дані, що надходять по каналу зворотного зв'язку.

На рис.3 а,б показані результати моделювання для фіксованих модуляцій 16 і 64 QAM (верхні криві) та для системи з адаптивною модуляцією у частотній області (нижні криві) при такій же позиційності модуляції, але з адаптивним вибором частотних підканалів з найкращим SINR.

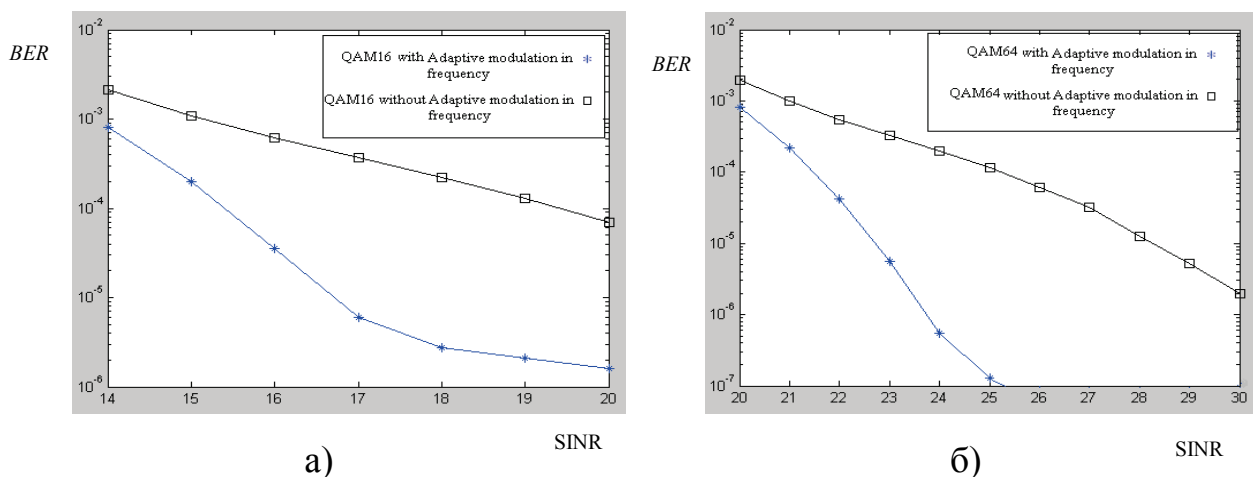


Рис. 3. Адаптація у частотній області

Графіки свідчать про переваги адаптивного вибору частотних підканалів при організації зв'язку з конкретною АС. Додатковий вигравш у SINR лише за рахунок адаптивного вибору підканалів досягає 6 дБ.

Для відстеження змін елементів матриці каналу $h_i^{l,q}$ та їх оцінки шляхом мінімізації впливів шуму в системах із замкненою петлею зворотного зв'язку природно використовувати алгоритм калманівської фільтрації

$$\hat{h}_i^{l,q}(n) = a\hat{h}_i^{l,q}(n-1) + k^{l,q}(n) \left[y^{l,q}(n) - a\hat{h}_i^{l,q}(n-1) \right], \quad (14)$$

де $\hat{h}_i^{l,q}(n)$ – оцінка коефіцієнту каналу; $y^{l,q}(n)$ – відлік тестового сигналу вимірювального каналу; $k^{l,q}(n)$ – коефіцієнт підсилення вимірювального каналу. Рівняння (14) описує петлю, яка оцінює наступне значення коефіцієнту каналу $\hat{h}_i^{l,q}(n)$ на основі знання попереднього $\hat{h}_i^{l,q}(n-1)$ та коефіцієнту підсилення $k^{l,q}(n)$. Наступне значення коефіцієнту підсилення розраховується з урахуванням середньоквадратичної помилки. Схема математичної моделі одного каналного фільтра Калмана, яка синтезована у відповідності з (14), зображена на рис.4. Кожен з фільтрів Калмана зчитує коефіцієнти вимірювальних каналів з системи оцінки каналів по пілот-сигналам і передає розрахункову матрицю каналу у блок алгоритмів адаптивної модуляції.

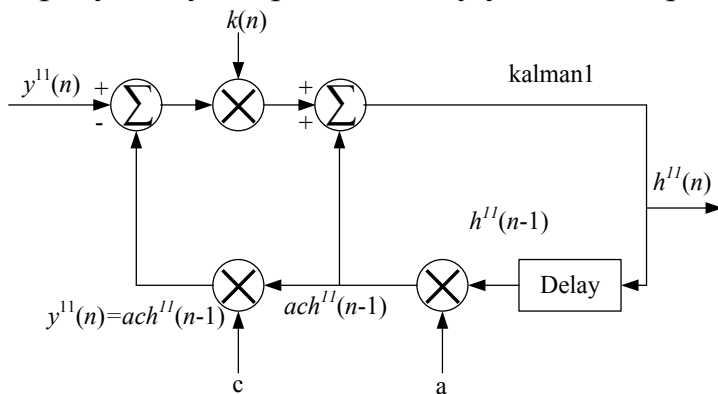


Рис.4. Модель одного каналу калманівської фільтрації

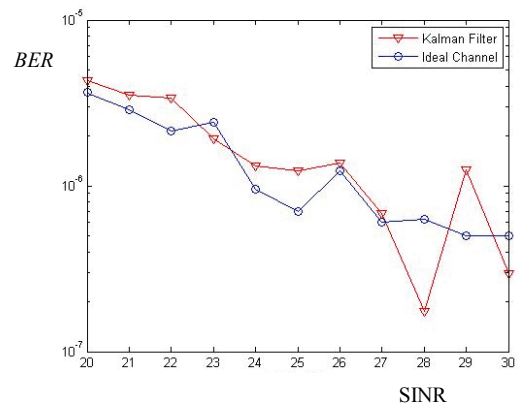


Рис.5. Адаптивна модуляція у каналах МІМО з калманівською фільтрацією

Оцінки параметрів фільтрів Калмана кожного каналу здійснюються у відповідності з (14). Результати імітаційного моделювання (рис.5) показали, що за показником BER адаптивні системи з калманівською фільтрацією в каналах зворотного зв'язку наближаються до ідеальних систем з повним знанням параметрів каналів.

Реалізація методів адаптивної модуляції в каналах МІМО з OFDM передбачає вирішення задачі управління. Запропонована модель системи управління в якій для оцінки матриці каналу застосовується фільтр Калмана. У запропонованій моделі при прийнятті рішення на управління під зовнішніми

впливами розуміється зворотний зв'язок радіоканалу, який забезпечує передавальний пристрій інформацією про матрицю каналу.

Третій розділ дисертаційної роботи присвячено розробці методу підвищення пропускної здатності та завадозахищеності мобільних систем зв'язку з OFDM, заснованому на комплексному використанні додаткової адаптивної часової еквалізації, багатофазної фільтрації та повороту сигнального сузір'я [2, 3, 5, 6, 8, 10].

Ортогональне частотне мультиплексування найчастіше здійснюється з використанням QAM-модуляції символами у вигляді прямокутних імпульсів з захисними інтервалами. Циклічний префікс додається в початок кожного OFDM-символу і являє собою циклічне повторення закінчення символу. У приймальному пристрої циклічний префікс видаляється з прийнятого блоку і отриманий сигнал перетворюється у частотну область за допомогою операції швидкого прямого перетворення Фур'є (FFT). Сигнал з блоку FFT надходить на еквалайзер частотної області. Потім сигнал з виходу частотного еквалайзера надходить на каналний декодер для отримання прийнятого потоку бітів.

У частотній області циклічна згортка відповідає операції перемноження векторів

$$\mathbf{Y}_{n'} = \mathbf{H}_n \mathbf{X}_{n'k} + \boldsymbol{\eta}_{n'k}, \quad (15)$$

де \mathbf{H}_n – FFT відгук каналу на одиничний імпульс; $\mathbf{Y}_{n'}$, $\mathbf{X}_{n'k}$ і $\boldsymbol{\eta}_{n'k}$ – n -й відлік FFT у k -му символному блоці прийнятого сигналу, переданого сигналу та адитивного шуму.

Спираючись на (15), еквалайзінг може бути проведено у частотній області. Однак, для того щоб забезпечити близьку до оптимальної еквалізацію в частотній області, у приймачі необхідно здійснити якісну циклічну згортку відліків прийнятого сигналу з коефіцієнтами каналу. Для цього потрібно, щоб довжина циклічного префікса дорівнювала або була більшою за максимальну затримку поширення сигналу. Якщо затримка у каналі буде значною в порівнянні з N , то виникне необхідність збільшення довжини циклічного префікса, що може знизити швидкість передачі даних до неприйнятно низького значення.

Для скорочення довжини циклічного префікса до складу приймача доцільно додати еквалайзер часової області. Це дозволить скоротити довжину циклічного префікса, забезпечити збільшення швидкості передачі даних, поліпшить умови роботи еквалайзера частотної області та підвищить його продуктивність. При цьому слід враховувати, що введення попередньої часової еквалізації сприяє також зниженню міжблокової інтерференції, оскільки забезпечує більш чітку періодичність блоку даних.

Таким чином, еквалайзінг у системах мобільного зв'язку з класичним OFDM доцільно розглядати як трирівневий процес, який починається з додавання циклічного префіксу у передавачі, а завершується дворівневою еквалізацією у приймачі (рис.7).

Платою за введення захисних інтервалів є зниження спектральної ефективності використання OFDM сигналів і відповідне зменшення пропускної здатності системи зв'язку. Крім того, прямокутні символи OFDM мають спектр

виду $\text{Sin}(kx)/kx$, для яких притаманний підвищений (близько -13дБ) рівень позасмугових компонент, який знижує компактність спектру і сприяє зростанню міжканальної інтерференції та внутрішньосистемних завад. Тому відносно недавно було запропоновано метод модуляції піднесучих зі зміщенням) у часі OFDM/OQAM (OQAM – Offset QAM) як альтернатива OFDM, при якій для формування та обробки також використовуються алгоритми швидкого перетворення Фур'є. Але, якщо при класичному OFDM/QAM передаються комплексно-значні символи з заданою швидкістю, то при OFDM/OQAM передаються реальні значущі символи з подвоєною швидкістю передачі.

Використання цього виду сигналів може забезпечити більш високу швидкість передачі корисної інформації, оскільки не вимагає додавання захисних інтервалів, а огинаюча модулюючого імпульсу може бути оптимізована відповідно до частотної характеристики каналу з використанням багатофазної фільтрації.

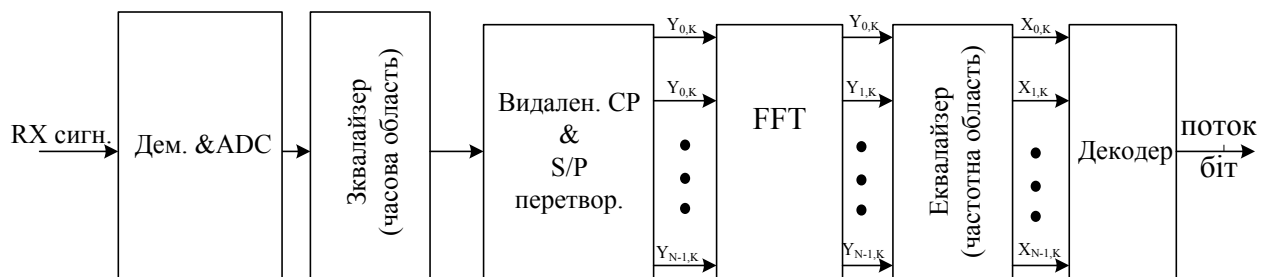


Рис.7. Структурна схема приймача OFDM сигналів з попередньою часовою еквалізаціями

При формуванні сигналу OFDM/OQAM модулюючі QAM символи (c_{mn}) розділяються на дві складові: реальну $\text{Re}\{c_{mn}\} = a_{mn}$ та уявну $\text{Im}\{c_{mn}\} = b_{mn}$, яка зсувається у часі на $T_s/2$ відносно реальної. Після розкладення c_{mn} на дві складові з урахуванням використання узгодженої багатофазної фільтрації цих складових OFDM/OQAM сигнал може бути подано виразом

$$s(t) = \sum_n \sum_{m=0}^{N_u-1} d_{m,n} j^{m+n} e^{j2\pi m \Delta f t} \mathfrak{Z}(t - n\tau) = \sum_n \sum_{m=0}^{N_u-1} d_{m,n} \mathfrak{Z}_{m,n}(t), \quad \tau_0 = T_s/2, \quad (16)$$

де $d_{m,n} = a_{m,n}$ або $b_{m,n}$ у залежності від значення n ; j^{m+n} визначає тип доданку: real (якщо $m+n$ парне) або imaginer (якщо $m+n$ непарне); $\mathfrak{Z}_{m,n}(t)$ – фільтруюча функція ІЮТА (Isotropic Orthogonal Transfer Algorithm), яка забезпечує багатофазну узгоджену з частотним каналом фільтрацію та ортогональність піднесучих у OFDM символів.

Найважливішими перевагами ІЮТА-функції перед іншими ортогональними базисними функціями є її компактність – локальність за часом та частотою. Це забезпечує можливість використання меншої кількості ортогональних базисних функцій (імпульсів), необхідних для надання одного символу, що дозволяє знизити обчислювальну складність реалізації. Імпульс ІЮТА виведений з гаусівського імпульсу, тому має гарну частотно-часову

компактність. Ортогональний базис, згенерований з ІОТА імпульсів, може бути записаний як

$$\mathfrak{S}_{m,n} = i^{m+n} e^{i2\pi nft} \mathfrak{S}\left(t - n\frac{T_s}{2}\right). \quad (17)$$

Співмножник i^{m+n} у формулі (17) є коефіцієнтом фазового зсуву. При цьому вираз (16) визначає модуляцію з багатьма несучими, що використовує OQAM з ІОТА як ортогональний базис з часовим зсувом $T_s/2$.

Важливою відмінністю OFDM/OQAM від сигналу з класичною квадратурною модуляцією піднесучих OFDM/QAM є застосування після зворотного перетворення Фур'є багатофазної фільтрації G_n з використанням фільтруючих властивостей функції ІОТА, що дозволяє відмовитись від використання спеціальних захисних інтервалів – циклічних префіксів. Одним з спрощених варіантів багатофазної фільтрації (функції ІОТА), що забезпечує ортогональність сигналів, є гаусівська форма функції у часовій та частотній областях.

Завдяки високим фільтруючим властивостям функції ІОТА відбувається локалізація спектру. Спектр OFDM/OQAM сигналу має більш швидкий спад на краях у порівнянні з класичним OFDM. В результаті цього зменшуються міжканальні інтерференційні спотворення та внутрішньо-системні завади у мережі. На рис. 8 зображені для порівняння спектри сигналів OFDM/OQAM та класичного OFDM/QAM.

Метод повороту сигнального сузір'я класичного OFDM/QAM сигналу недавно впроваджено в стандарт наземного цифрового телебачення DVB-T2 для підвищення завадостійкості. Сформований модуляційний символ повертається в комплексній площині на певний кут, який залежить від позиційності модуляції. Завдяки повороту діаграми на точно підібраний кут для кожного виду модуляції (29° для QPSK, $16,8^\circ$ – для 16QAM, $8,6^\circ$ для 64QAM і $\arctg(1/16)$ для 256QAM) сузір'я набуває унікальні I, Q – координати, що істотно підвищує стійкість прийому сигналів в умовах завад (рис.9).

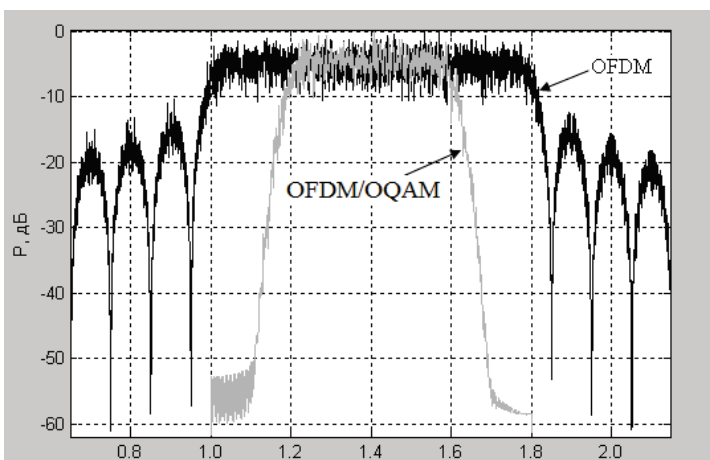


Рис.8. Спектри OFDM/OQAM та класичного OFDM/QAM сигналів

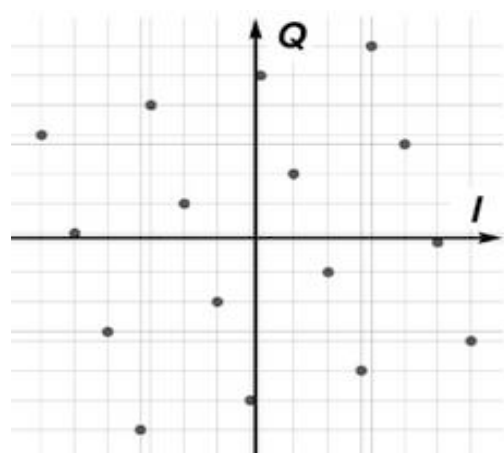


Рис.9. Повернуте сузір'я для 16QAM модулюючого сигналу

Оскільки у DVB-T2 використовує OFDM сигнали з QPSK, 16 QAM, 64QAM і навіть 256QAM для модуляції піднесучих, тобто такі ж сигнали які застосовуються і в перспективних системах мобільного зв'язку, то природно використати накопичений досвід щодо застосування цієї технології і при вирішенні завдань підвищення якості мобільного зв'язку. Моделювання застосування цього методу показало, що він дає суттєвий вииграш в завадостійкості при роботі системи в складних умовах прийому (канал Релея), дозволяючи наблизити значення мінімальної напруженості поля до величини, характерної для гаусівського каналу. Результати моделювання показали, що вииграш за рахунок застосування технології повороту сигнального сузір'я може досягати 5 дБ.

Четвертий розділ присвячено розробці методу просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів у мобільних системах зв'язку нових поколінь, який засновано на використанні адаптивних антенних решіток [1, 4, 14, 15].

Просторово-часова обробка сигналів (ПЧОС) має низку переваг у порівнянні з іншими методами обробки. Так вона не пов'язана з додатковою втратою часових і частотних ресурсів, а навпаки при ПЧОС може бути організовано зв'язок з різними абонентами на одній і тій же частоті. Просторові та поляризаційні параметри у багатьох випадках є такими, лише за допомогою яких вдається розрізнити корисні сигнали та завади. Для деяких же типів завад, наприклад імпульсних, ці параметри є єдино передбачуваними. При цьому завдання режекції завад зводиться до супроводу нулем поляризаційної діаграми (ПД) або діаграми спрямованості (ДС) діючої завади. Такі системи роблять більш надійною роботу з малопотужними віддаленими UE, одночасно дозволяючи адаптивно послаблювати різні небажані завадові впливи.

Останнім часом на ринку з'явилися антенні системи на основі АР для базових станцій мобільних систем нових поколінь, які складаються з пасивної та активної частин. Пасивна частина замінює наявні у операторів антени 2G і 3G, а активна має вбудований 4G ААР. Це дозволяє розгортати мережі NGN з використанням наявної 2G і 3G інфраструктури. При цьому на базі таких модулів легко можуть бути реалізовані трисекторні ААР базових станцій.

Центральними питаннями при вирішенні задачі придушення завад у ААР БС мобільних систем зв'язку є вибір методу та синтез алгоритму адаптації. Відомі методи реалізації такого рішення, які відрізняються обраними критеріями ефективності управління (адаптації) і обмеженнями при їх застосуванні. Специфіці мобільного зв'язку найбільшою мірою відповідає критерій мінімальної середньоквадратичної помилки (МСКП), запропонований Уїдроу, оскільки він добре узгоджується з традиційними для систем радіозв'язку ймовірносними критеріями якості передачі інформації.

Основне обмеження використання цього критерію пов'язане з необхідністю наявності на приймальній стороні відомого еталонного $y_e(t)$ сигналу (рис. 10). Однак, для сучасних і перспективних мобільних систем воно не є суттєвим, оскільки всі вони використовують ті чи інші пілот-сигнали.

При використанні цього критерію, як і інших критеріїв, завдання управління в ААР зводиться до забезпечення найкращої якості прийому корисного сигналу в умовах завад. Блок управління формує комплексні вагові коефіцієнти $w_n(t)$, які дозволяють змінювати амплітуди та фази сигналів у каналах ААР

$$\mathbf{W}^T(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_N(t)).$$

Для оцінки вагового вектору \mathbf{W} скористаємося формалізацією процедури калманівської фільтрації для випадку, коли використовується еталонний сигнал. Тоді алгоритм адаптації по критерію мінімуму середньоквадратичного відхилення може бути подано у вигляді:

$$\widehat{\mathbf{W}}(t) = A(t)\mathbf{W}(t) + K(t)[\mathbf{W}(t)x(t) - y_e(t)]x(t). \quad (18)$$

У дискретному варіанті цей алгоритм адаптації має вигляд

$$\widehat{\mathbf{W}}k = \mathbf{W}(k-1) + 2\mu[\mathbf{W}(k)x(k) - y_e(k)]x(k), \quad (19)$$

де $y_e(k)$ – еталонний сигнал у момент часу k ; $x(k)$ – вектор вхідних сигналів; $1/\lambda_m > \mu > 0$; λ_m – максимальне власне значення коваріаційної матриці завад.

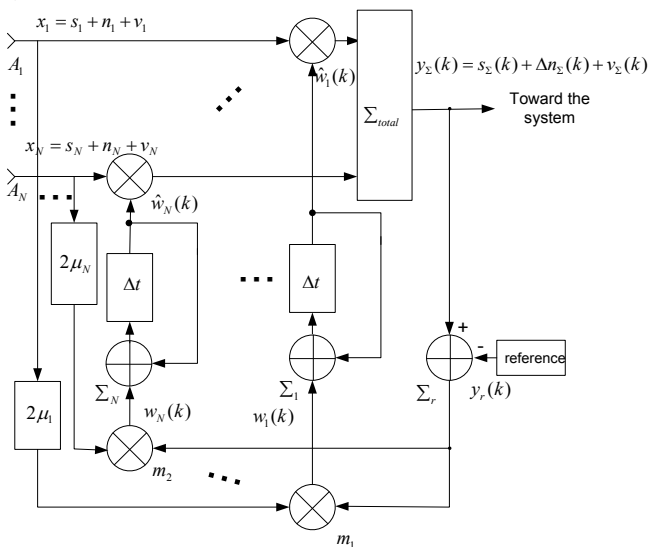


Рис.11. Структурна схема дискретного алгоритму ААР

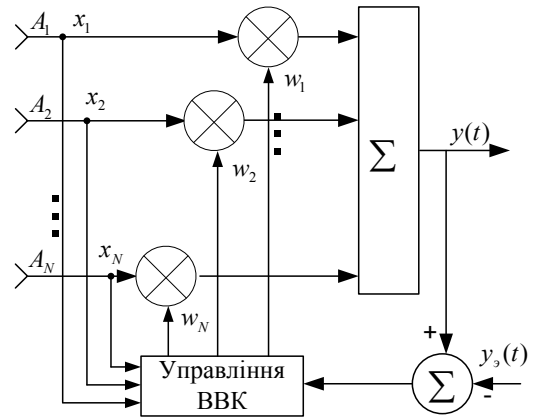


Рис.10. Схема системи ПЧОС за пілот-сигналом

Структурна схема дискретного алгоритму ААР, синтезована у відповідності з (19) зображена на рис.11.

При практичній реалізації адаптивного алгоритму (19) центральним є питання вибору коефіцієнту μ , який визначає швидкість адаптації (збігу) алгоритму та його стійкість і может вибиратись з умови $1/(ND_1) > \mu$.

Графік ДС ААР після завершення адаптації показано на рис.12.

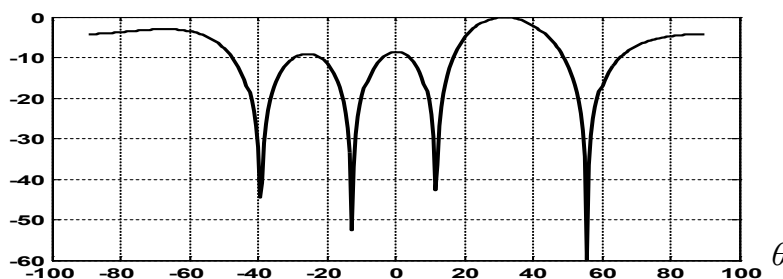


Рис. 12. ДС ААР після адаптації при $\theta_{СИГ} = 35^\circ$, $\theta_{ПОМ} = 55^\circ$

Графіки залежностей ступеня збіжності алгоритму адаптації від дисперсії завади та похибки адаптації від різниці кутів приходу сигналу та завади приведені відповідно на рис.13 а,б.

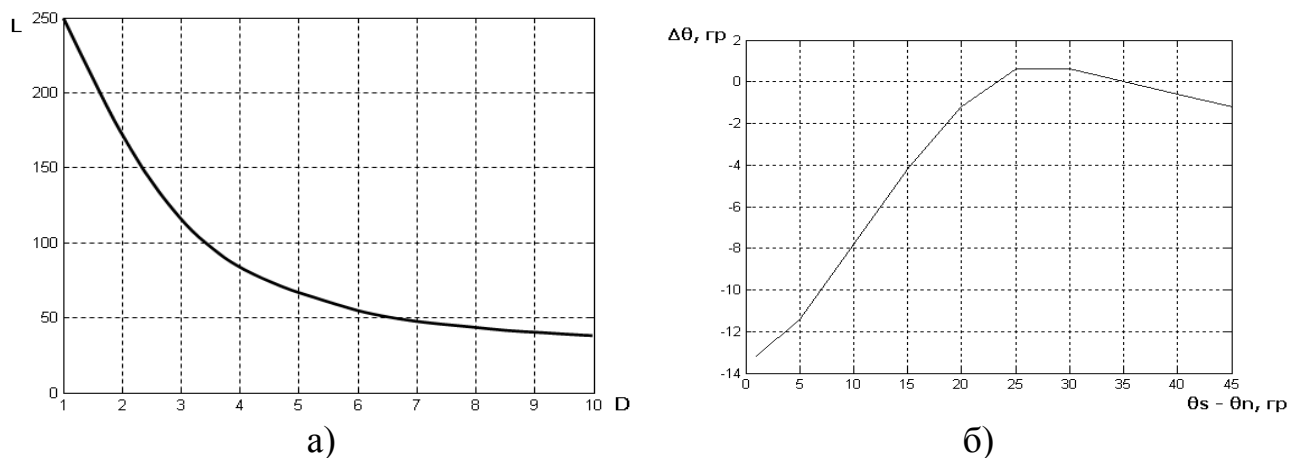


Рис.13. Залежності збіжності алгоритму адаптації від дисперсії завади а) та похибки адаптації від різниці кутів приходу сигналу та завади б)

З графіків на рис. 13, а,б випливає, що алгоритм адаптації добре працює при великих значеннях дисперсії завади, тобто при сильній заваді. Моделювання також показало, що ААР адаптуючись по пілот-сигналу досить глибоко пригнічує заваду і орієнтує максимум ДС в напрямку приходу корисного сигналу. Однак при зближенні кутів корисного сигналу і завади адаптація дає похибку по куту відносно реального напрямку на корисний сигнал (рис. 13, б). Отримані результати підтверджують працездатність алгоритму адаптації. При цьому встановлено, що головна пелюстка ДС розширюється у порівнянні з випадком без адаптації. Це тягне за собою деяке зниження посилення АР і відповідно рівня сигналу та можливість попадання завади у головну пелюстку. Існує декілька шляхів усунення цього недоліку.

Перший шлях – збільшення розмірів АР, що не завжди прийнятно на практиці, а другий – використання направлених випромінювачів. В якості останніх у більшості діапазонів роботи систем мобільного зв'язку можуть бути використані найпростіші директорні або логіперіодичні антени. При цьому застосування направлених випромінювачів різної поляризації відкриває додаткову можливість адаптації – адаптивну поляризаційну обробку сигналів.

Поляризаційна обробка сигналів повинна забезпечувати сумування з мінімальними втратами (з відповідними вагами амплітуд та фаз) напруг, що надходять з виходів приймальних антенних елементів. При цьому структура такої обробки збігається зі структурою просторово-часової обробки, яку зображено на рис. 10, але кількість каналів обробки становить $2 \times M$ (де M – кількість антенних елементів) при повному поляризаційному прийманні, та $4 \times M$ при використанні ортогональних сигналів ортогональної поляризації. На рис.14 показано особливості структури системи вагової поляризаційно-просторової обробки.

Результати моделювання у вигляді кривих нормованої дальності дії при наявності та відсутності завад показані на рис. 15. На цьому рисунку цифрою 1

(пунктирна лінія) позначено нормовану дальність дії при відсутності завади, цифрою 2 (суцільна лінія) – межі дальності дії при наявності завади. Суцільна лінія подвійної товщини (3) обмежує зону дії з заданими показниками ефективності при роботі алгоритму з використанням сигналів ортогональної поляризації. Отримані результати свідчать, що за обраних початкових умов забезпечується досить глибока компенсація активних завад, які діють по бічним пелюсткам, тобто про доцільність використання поляризаційно-просторової обробки для поліпшення якості зв'язку.

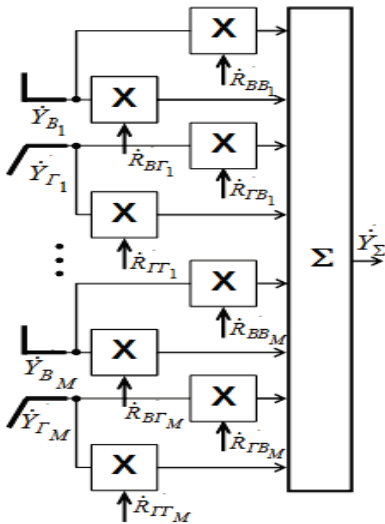


Рис.14. Схема вагової поляризаційно-просторової обробки

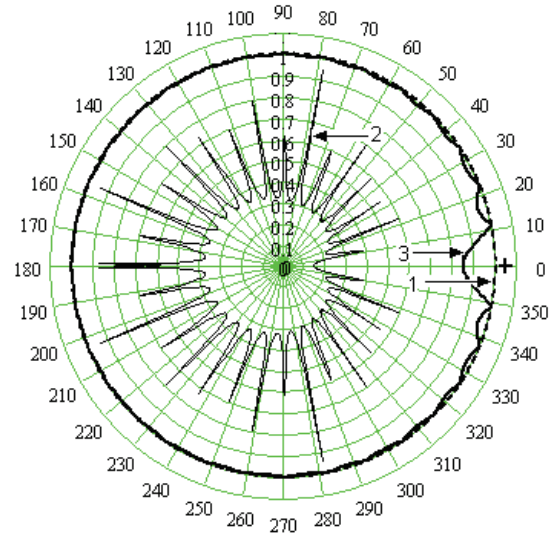


Рис.15. Переріз нормованої дальності

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна задача розробки нових методів адаптивної модуляції та обробки сигналів в просторово-частотних і просторово-часових каналах систем мобільного зв'язку нових поколінь з MIMO та OFDM.

Значення результатів дисертаційного дослідження для науки і практики полягає в тому, що розроблені математичні моделі і методи адаптивної модуляції, які враховують особливості базових станцій і терміналів користувачів, дозволили виявити і запропонувати нові практичні шляхи підвищення продуктивності систем мобільного зв'язку.

Висновки і рекомендації по науковому і практичному використанню отриманих результатів наступні:

1. Подальший розвиток систем мобільного зв'язку неможливий без використання усіх наявних ресурсів у часовій, частотній та просторово-часовій областях, а також завадостійкого кодування, щоб максимально наблизити пропускну здатність систем зв'язку до межі Шеннона шляхом їх адаптації до стану радіоканалу.

2. Розробка раціональних шляхів і оптимальних за обраним критерієм алгоритмів адаптації неможлива без об'єктивної оцінки параметрів швидко мінливих радіоканалів. 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 наявності прямого та відбитих променів – райсівська.

3. Результати моделювання показали, що адаптивна модуляція, яка передбачена існуючими стандартами, не завжди достатньо ефективна. Тому запропоновано удосконалений метод адаптивної модуляції, який полягає в одночасному використанні різних типів багатопозиційної модуляції у різних MIMO каналах, в залежності від загасання в них. Це забезпечує пристосування системи зв'язку до змін сигнально-завадової ситуації. Виграш в SINR може досягати 15дБ при деякому зниженні швидкості передачі інформації.

4. Запропоновано метод підвищення пропускну здатності системи зв'язку з MIMO близької до межі Шеннона, який полягає у формуванні власних незалежних каналів з автономним динамічним адаптивним вибором параметрів модуляції та кодування.

5. Показана можливість і запропоновано метод адаптивної модуляції в частотній області у системі зв'язку з MIMO та OFDM. Сутність адаптивної модуляції в частотній області полягає у виявленні селективних завмирань, які виникають в конкретних частотних областях. На підставі цієї інформації змінюється вид модуляції відповідної групи піднесучих. Результатом такої адаптивної модуляції є суттєве зменшення впливу селективних завмирань на якість зв'язку. Отриманий за результатами імітаційного моделювання виграш в SINR досягає 6дБ .

6. Найважливішою складовою частиною процесу адаптації є оцінювання параметрів просторово-частотних каналів. Запропоновано метод оцінювання параметрів просторово-частотних каналів зв'язку у мобільних системах з MIMO та OFDM, заснований на використанні калманівської фільтрації, який забезпечує необхідні для реалізації адаптивного вибору виду модуляції підвищені якість і швидкість оцінювання.

7. Реалізація методу адаптивної модуляції в системах зв'язку з MIMO та OFDM передбачає вирішення завдань 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 у відповідності з критерієм якості на основі розробленого алгоритму.

8. У теперішній час на ринку з'явилися активно-пасивні антенні модулі, які поєднують пасивну і активну фазовані антенні решітки. Пасивна частина замінює наявні у операторів антени $2G$ та $3G$, а активна дозволяє вирішувати завдання адаптивної просторово-часової обробки систем $4G$, істотно поліпшуючи SINR. З використанням таких антенних систем можуть бути реалізовані адаптивні антенні решітки для базових станцій систем зв'язку нових поколінь. Орієнтуючись на такі антенні системи, розроблені алгоритми адаптивної просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів, що забезпечують формування максимуму ДС у напрямку на корисний сигнал, визначення напрямку на заваду та її глибоку режекцію.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Marchenko D. Space-time processing based on antenna array use in LTE / D. Marchenko, A. Abdourahamane, V. Loshakov // 5^d International Radio Electronic Forum (IREF 2014) October 14–17, 2014 Kharkov, Ukraine, – P. 235–239.
2. Abdourahamane Ali. Features of equalization in LTE technology with MIMO and SC-FDMA/ A. Abdourahamane // Eastern European Journal Enterprise Technologies. – 2015. – Vol. 3/9 (75). – P. 4 – 8.
3. Абдурахман Али. Особенности эквализации при использовании множественного доступа с разделением частот в технологии LTE / А. Абдурахман // Young Scientist. – 2015. – Vol. 11 (91). – P. 207–213.
4. Abdourahamane Ali. Using adaptive antenna array in LTE with MIMO for space-time processing / А. Abdourahamane // ScienceRise. – 2015. – Vol. 4/2 (9). – P. 63–69.
5. Abdourahamane Ali. Improve the performance of the using OFDM/OQAM / A. Abdourahamane, V. Loshakov // Радиотехника: Всеукр. міжвед. научн.-техн. сб. – 2016. – Вып. 184. – С. 135–141.
6. Marchenko D. Advantages of optical OFDM in communications systems / D. Marchenko, A. Abdourahamane // Eureka physics and engineering. – 2016. – Vol. 2 (3). – P. 27–33.
7. Абдурахман Али. Использование фотонно-кристаллического волокна в телекоммуникационных системах / А. Abdourahamane // Technology Audit and Poduction Keserves. – 2016. –Vol. 3/2(29). – P. 62–67.
8. Abdourahamane Ali. Features of equalization in the technology OFDM / A. Abdourahamane // 19th International Youth Forum in Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, Kharkiv. April 20–22. – 2015. – P. 11–12.
9. Abdourahamane Ali. Features of equalization in LTE Technology with MIMO and SC-FDMA / A. Abdourahamane // 2^d International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology Publisher // IEEE in Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, Kharkiv, October 13–15. – 2015. – P. 171–172.
10. Abdourahamane Ali. Increase the throughput in the using OFDM/OQAM / A. Abdourahamane // 20th International Youth Forum in Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, Kharkiv. April 19–21. – 2016. – P. 5–6.
11. Абдурахман А. Adaptive modulation in the own independent virtual channels MIMO system / А. Абдурахман, V. Loshakov // 21th International Youth Forum in Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, Kharkiv, April 25–27, 2017 – P. 9–10.
12. Abdourahamane A. The advantage of using optical OFDM Instead RF OFDM in Telecommunications / A. Abdourahamane, D.Marchenko, V. Loshakov // 3^d international Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC&S&T 2016): IEEE in Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, Kharkiv, October 4–6. – 2016. – P. 231–232.

13 Abdourahmane A. Using photonic crystal fibers in telecommunication systems / A. Abdourahmane // 21th International Youth Forum in Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, Kharkiv, April 25–27. – 2017. – P. 7–8.

14. Абдурахман А. Уменьшение взаимных помех в системах мобильной связи на основе использования адаптивных антенных решеток / А. Абдурахман, В. Лошаков // Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС–2017): Сб. н. тр. третьей международной н.-техн. конференции. Харьков 23–24 мая. – 2017. – С. 61–66.

15. Мартинчук О.О. Методика поляризаційно-просторової обробки сигналів та завад з використанням ортогональних сигналів ортогональної поляризації в перспективних каналах зв'язку / О.О. Мартинчук, О.М. Колесніков, Д. Марченко, А. Абдурахман // Проблемы электромагнитной совместимости перспективных беспроводных сетей связи (ЭМС–2017): Сб. н. тр. третьей международной н.-техн. конференции. Харьков 23–24 мая. – 2017. – С. 79–85.

16. Abdourahmane A. Modeling Adaptive Communication System with MIMO and OFDM / A. Abdourahmane, V.A Loshakov // 4th International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications Science and Technology Publisher: IEEE in Kharkiv National University of Radio Electronics, Ukraine, Kharkiv, October 10–13. – 2017. – P. 581–592.

АНОТАЦІЯ

Абдурахман Ахмед Ісса Алі. Підвищення якості мобільного зв'язку в системах нових поколінь на основі використання методів адаптації. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.12.02 – телекомунікаційні системи та мережі. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, 2017.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової задачі, яка полягає в розробці нових методів адаптивної модуляції та обробки сигналів в просторово-частотних та просторово-часових каналах систем мобільного зв'язку нових поколінь з MIMO та OFDM.

У роботі на основі дослідження завмирань у просторових каналах систем з MIMO та OFDM аналізуються можливості підвищення якості зв'язку за рахунок адаптивного вибору видів модуляції, конфігурації MIMO та методів просторово-часової та поляризаційної адаптивної обробки сигналів. Розроблено удосконалений метод підвищення пропускної здатності систем зв'язку з MIMO та OFDM, до величини, близької до межі Шеннона, з використанням індикаторів якості просторово-частотних каналів. Метод полягає у формуванні власних незалежних просторово-частотних каналів з автономним динамічним адаптивним вибором більш високих кратності багатопозиційної модуляції та швидкості кодування у каналах з малим рівнем затухання і з меншими кратністю модуляції та швидкістю кодування у каналах з високим рівнем затухання сигналу.

Розроблено також новий метод оцінювання параметрів просторово-частотних каналів систем зв'язку з MIMO та OFDM, заснований на використанні калманівської фільтрації, який забезпечує оцінку не середніх значень параметрів каналів, а проводить оцінку в реальному масштабі часу і дозволяє враховувати статистичний зв'язок між суміжними просторово-частотними каналами. Це дає можливість скоротити час та підвищити якість оцінювання, які необхідні для реалізації адаптивної модуляції.

Вперше запропоновано метод підвищення пропускної здатності та завадозахищеності мобільних систем зв'язку з OFDM, заснований на комплексному використанні додаткової часової еквалізації, багатофазної фільтрації та повороту сигнального сузір'я. При цьому виграш у відношенні SINR досягає 6 дБ.

Запропоновано удосконалений метод підвищення якості зв'язку за рахунок просторово-часової та поляризаційної обробки сигналів з автокомпенсацією активних завад, який засновано на використанні адаптивних антенних решіток з алгоритмом адаптації по пілотному сигналу. Моделювання підтвердило високу ефективність використання запропонованого алгоритму. Найкраще працює цей алгоритм при сильній заваді, коли її рівень близький до рівня корисного сигналу. Реалізація запропонованого методу адаптивної просторово-часової обробки сигналів полегшується з появою на ринку спеціально розроблених для базових станцій перспективних систем зв'язку активно-пасивних антенних систем. Пасивна частина замінює антенні системи попередніх поколінь і спрощує сумісність з інфраструктурою існуючих систем, а активна дозволяє вирішувати задачі адаптивної просторово-часової та поляризаційної обробки в системах наступних поколінь. При роботі алгоритму поляризаційної обробки з використанням сигналів ортогональної поляризації в умовах інтенсивних активних завад потенційне скорочення зони дії системи зв'язку не перевищує 10 відсотків.

Ключові слова: системи мобільного зв'язку з MIMO та OFDM, адаптивна модуляція в каналах MIMO з OFDM, багатофазна фільтрація, OFDM/OQAM, повернення сигнального сузір'я, адаптивна просторово-часова та поляризаційна обробка.

АННОТАЦІЯ

Абдурахман Ахмед Ісса Али. Повышение качества мобильной связи в системах новых поколений на основе использования методов адаптации. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.02 – телекоммуникационные системы и сети. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков, 2017.

Диссертация посвящена решению актуальной научной задачи, которая заключается в разработке новых методов адаптивной модуляции и обработки сигналов в пространственно-частотных и пространственно-временных каналах систем мобильной связи новых поколений с MIMO и OFDM.

В работе на основе исследования замираний в пространственных каналах систем с МИМО и OFDM анализируются возможности повышения качества связи за счет адаптивного выбора видов модуляции, конфигурации МИМО и методов пространственно-временной и поляризационной адаптивной обработки сигналов. Разработан усовершенствованный метод повышения пропускной способности таких систем до величины близкой к пределу Шеннона с использованием индикаторов качества пространственно-частотных каналов. Метод заключается в формировании собственных независимых пространственно-частотных каналов с автономным динамическим адаптивным выбором более высоких кратности многопозиционной модуляции и скорости кодирования в каналах с малым уровнем затухания и с меньшими кратностью модуляции и скоростью кодирования в каналах с высоким уровнем затухания. Разработан также новый метод оценки параметров пространственно-частотных каналов систем связи с МИМО и OFDM, основанный на использовании калмановской фильтрации, который обеспечивает оценку в реальном масштабе времени и позволяет учитывать статистическую связь между смежными пространственно-частотными каналами. Впервые предложен метод повышения пропускной способности и помехозащищенности мобильных систем связи с OFDM, основанный на комплексном использовании дополнительной временной эквалазации, многофазной фильтрации и поворота сигнального созвездия. При этом выигрыш в отношении SINR достигает 6 дБ. Предложен усовершенствованный метод повышения качества связи за счет пространственно-временной и поляризационной обработки сигналов с автокомпенсацией активных помех, основанный на использовании адаптивных антенных решеток с алгоритмом адаптации по пилотному сигналу. Моделирование подтвердило высокую эффективность использования предложенного алгоритма. Подтверждена возможность формирования максимума ДН в направлении полезного сигнала и адаптивной режекции помехи. При работе алгоритма поляризационной обработки с использованием сигналов ортогональной поляризации в условиях интенсивных активных помех потенциальное сокращение зоны действия системы связи не превышает 10 процентов.

Ключевые слова: системы мобильной связи с МИМО и OFDM, адаптивная модуляция в каналах МИМО с OFDM, многофазная фильтрация, OFDM/OQAM, поворот сигнального созвездия, адаптивная пространственно-временная и поляризационная обработка.

ABSTRACT

Abdourahmane Ahmed Issa Ali. Improving quality of mobile communication in new generation systems on the basis of adaptation methods. – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate technical sciences, specialty 05.12.02 – Telecommunication systems and networks. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Kharkiv, 2017.

The thesis is devoted to solving an actual scientific problem, which consists in the development of new methods of adaptive modulation and signal processing in space – frequency and space – time channels of new generation mobile communication systems with MIMO and OFDM.

In work on the basis the study of fading in the space channels of systems with MIMO and OFDM, the possibilities of improving the quality of communication due to adaptive choice of modulation types, MIMO configuration and methods of space-time and polarization adaptive signal processing are analyzed. An improved method is developed to increase the capacity of such systems to a value close to the Shannon limit using the quality indicators for spatial frequency channels. The method consists in the formation of independent space and frequency channels with an autonomous dynamic adaptive choice of higher multiplicity multiposition modulation and coding rate in channels with a low attenuation level and with a lower modulation rate and coding rate in channels with a high attenuation level. A new method for estimating the parameters of the space-frequency channels of communication systems with MIMO and OFDM, based on the use of Kalman filtering, was also developed. It was also proposed the method for increasing capacity and noise immunity of mobile communication systems with OFDM, based on the integrated using additional time equalization, multiphase filtering and signal's constellation rotation. In this case, the gain in relation to SINR reaches 6 dB. An improved method for improving the quality of communication due to space-time and polarization signal processing with auto compensation of active interference is proposed, based on using adaptive antenna arrays with adaptation algorithm by pilot signal.

Keywords: mobile systems with MIMO and OFDM, adaptive modulation in MIMO channels with OFDM, multiphase filtering, OFDM/OQAM, constellation rotation, adaptive space-time and polarization processing.

Підп. до друку 26.02.2018 Формат 60x84 1/16 Спосіб друку – ризографія
Умов. друк. арк. 0,9 Тираж 100 прим. Ціна договірна

Віддруковано в типографії ФОП Андреев К.В.

61166, Харків, вул. Серпова, 4,

Свідоцтво про державну реєстрацію №24800170000045020 від 30.05.2003 р.

er.zakaz@gmail.com

тел. 063-993-62-73