

УДК 621.3.092

DOI: 10.31673/2412-9070.2019.055054

Л. В. ДАКОВА, канд. техн. наук;

Д. О. ДАНИЛЕЦЬ, студент;

В. П. ШУЛЬЦ, студент;

В. О. ТИТАРЕНКО, студент;

І. В. ЛУГОВИЙ, студент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## ПІДВИЩЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ У СИСТЕМАХ З МІМО

**Запропоновано аналіз сучасного розвитку систем мобільного зв'язку, а також проведено дослідження методів забезпечення достовірності передавання інформації у безпроводових системах передавання даних та методів підвищення завадостійкості приймання/передавання сигналу. Приведено моделювання систем передавання інформації розглянутих моделей.**

**Ключові слова:** ефективність; ширина смуги пропускання; модуляція; МІМО; LTE; множинний доступ; кодування; рознесене приймання; SIMO; OFDMA; модель; канал зв'язку; потужність.

### ВСТУП

Сучасне покоління безпроводових систем зв'язку забезпечує передавання різних видів інформації на високих швидкостях, зберігаючи при цьому високу якість. Підвищення якості роботи або зменшення ймовірності помилок у системі радіозв'язку при багатопроменевому поширенні сигналу є найбільш складним завданням. Вимоги, що висувуються до сучасних систем безпроводового зв'язку в області енергетичної і частотної ефективності, накладають суттєві обмеження на збільшення потужності передавача і розширення займаної смуги частот з метою збільшення завадостійкості системи зв'язку. У зв'язку з цим актуальність даної роботи заснована на дослідженні сучасних технологій і методів підвищення завадостійкості та підвищення достовірності передавання інформації.

Використання множинних антен МІМО є одним із 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 широкосмугових каналів зв'язку.

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

За основу для розробки моделей систем радіозв'язку було взято вже існуючі в Simulink модулі і окремі блоки. На основі даних блоків були розглянуті моделі систем радіозв'язку, що використовують просторово-часове кодування із застосуванням двох, чотирьох і восьми передавальних антен. Для оцінювання завадостійкості кожної системи радіозв'язку за різних відношеннях сигнал/шум та різних рівнях замирань було використано інструмент Simulink.

Необхідно зазначити, що всі вихідні параметри системи, такі як частота дискретизації, методи

модуляції, швидкість передавання тощо, повністю відповідають затвердженим стандартам системи радіозв'язку.

### Модель каналу зв'язку з двома передавальними антенами

Модель системи безпроводового передавання даних із використанням двох передавальних антен та стандартного коду Аламоуті зображено на рис. 1.

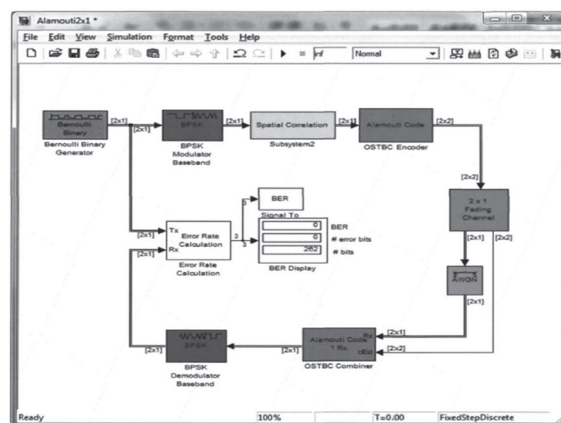


Рис. 1. Модель радіосистеми з двома передавальними антенами

Модель складається з таких компонентів:

- ◆ генератор псевдовипадкової послідовності Бернуллі;
- ◆ BPSK-модулятор;
- ◆ блок просторової кореляції;
- ◆ кодер Аламоуті;
- ◆ канал із замираннями Релея-Райса;
- ◆ канал із білим гауссовим шумом (AWGN);
- ◆ декодер Аламоуті;
- ◆ демодулятор BPSK.

Допоміжні пристрої:

- ◆ пристрій оцінювання та підрахунку бітових помилок;

♦ пристрій відображення результатів BER (дисплей).

**Принцип роботи.** Псевдовипадкова послідовність двійкових символів генерується в блоці «Bernoulli Binary», який є генератором послідовності Бернуллі. Вихідна псевдовипадкова послідовність має швидкість 1 Мбіт/с і формує двобітовий кадр.

Далі послідовність надходить на вхід модулятора BPSK, де перетворюється в послідовність пар комплексних символів. Для цілей комп'ютерної модуляції обрано нульовий зсув початкової фази символів.

З виходу модулятора BPSK сигнал надходить у блок, що імітує просторову кореляцію між двома передавальними антенами. Сигнал спотворюється відповідно до заданого коефіцієнта просторової кореляції.

Кожна пара комплексних символів кодується за допомогою просторово-часового коду Аламоуті в пристрої «OSTBC Encoder», який генерує чотири комплексних символа для кожної комплексної пари на вході за правилом Аламоуті (табл. 1).

Таблиця 1

Передана послідовність для схеми двоканального рознесеного передавання

Показник	Антенa 1	Антенa 2
$t$	$S_1$	$S_2$
$t + T$	$S_2$	$-S_1$

Як випливає з табл. 1

$$S_1 = a_1 + jb_1; \quad (1)$$

$$S_2 = a_2 + jb_2;$$

$$\bar{S}_2 = a_2 - jb_2; \quad (2)$$

$$-\bar{S}_1 = -a_1 + jb_1.$$

Кодований сигнал за схемою Аламоуті надходить на вхід каналу радіозв'язку «Fading Channel», який імітує вплив білого гауссового шуму (AWGN), а також завмирання Релея-Райса. При цьому шумові характеристики накладаються на два канали незалежно, щоб забезпечити реалістичність просторового рознесення передавання.

З виходу пристрою, що імітує шумові характеристики, сигнал надходить на вхід детектора за принципом максимальної правдоподібності «OSTBC Decoder». Одночасно з цим детектор зчитує параметри передавальної характеристики каналу зв'язку з пристрою, що імітує шумові характеристики каналу, за допомогою спеціального порту. Далі детектор для визначення переданих символів розв'язує такі рівняння:

$$\begin{aligned} y_1 &= h_1 S_1 + h_2 S_2 + n_1; \\ y_2 &= -h_1 S_2 + h_2 S_1 + n_2. \end{aligned} \quad (3)$$

Здобута пара комплексних символів із виходу декодера Аламоуті потрапляє на вхід демодулято-

ра BPSK, де вона перетворюється в двійковий двобітовий кадр.

Блок «Error Rate Calculation» має два входи, на один із яких надходить вихідна (передана) послідовність двійкових символів, а на іншій надходить декодована (прийнята) послідовність. Цей блок порівнює дві послідовності і обчислює коефіцієнт помилок — BER (BitError Rate), який відображається в спеціальному пристрої відображення — «BER Display».

### Модель каналу зв'язку з чотирма передавальними антенами

Модель системи безпроводового передавання даних із використанням чотирьох передавальних антен і розширеного коду Аламоуті зображено на рис. 2.

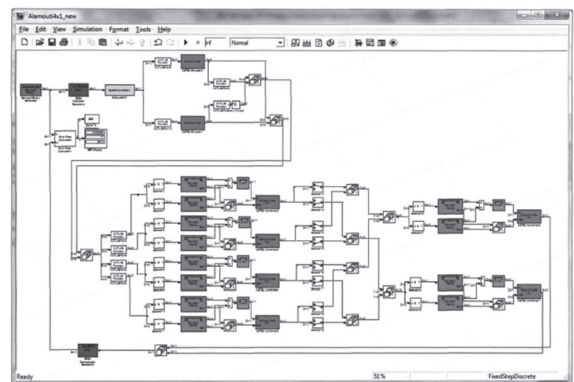


Рис. 2. Модель радіосистеми з чотирма передавальними антенами

Модель складається з таких компонентів:

- ♦ генератор псевдовипадкової послідовності Бернуллі;
- ♦ BPSK-модулятор;
- ♦ блок просторової кореляції;
- ♦ кодер Аламоуті;
- ♦ канал із завмираннями Релея-Райса;
- ♦ канал із білим гауссовим шумом (AWGN);
- ♦ декодер Аламоуті;
- ♦ демодулятор BPSK.

Допоміжні пристрої:

- ♦ пристрій оцінювання та підрахунку бітових помилок;
- ♦ пристрій відображення результатів BER (дисплей);
- ♦ пристрій, що реалізовує математичну функцію комплексного сполучення;
- ♦ пристрій, що реалізовує функцію об'єднання матриць;
- ♦ пристрій, що реалізовує функцію вибірки елементів із матриці.

**Принцип роботи.** Модель системи радіозв'язку, що використовує чотири антени, працює за тим самим принципом, що і модель класичної схеми Аламоуті.

Винятком є принцип формування вихідної послідовності символів.

Кожні чотири комплексних символа перетворюються в 16 комплексних чисел, розподілених по чотирьох тимчасових інтервалах і чотирьох каналах. Комплексні числа формуються відповідно до рекурсивного правила побудови комплексного коду Уолша-Адамара (Walsh-Hadamard):

$$\begin{bmatrix} h_1 & h_2 \\ -h_1 & h_1 \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 & h_4 \\ -h_2 & h_1 & -h_4 & h_3 \\ -h_3 & -h_4 & h_1 & h_2 \\ h_4 & -h_3 & -h_2 & h_1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Таблиця 2

Передана послідовність для схеми чотирьохканального рознесеного передавання

Показник	Антенa 1	Антенa 2	Антенa 3	Антенa 4
$T$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
$t + T$	$\bar{S}_2$	$-\bar{S}_1$	$\bar{S}_4$	$-\bar{S}_3$
$t + 2T$	$\bar{S}_3$	$\bar{S}_4$	$-\bar{S}_1$	$-\bar{S}_2$
$t + 3T$	$S_4$	$-S_3$	$-S_2$	$S_1$

У кожний із чотирьох каналів додається білий гауссовий шум, модельований спеціальним генератором «AWGN». Далі на зашумлений сигнал у кожному каналі накладається математична модель замирань Релея-Райса, яка реалізується в спеціальній пристрої. Таким чином, досягається просторове і тимчасове рознесення каналів, кожен з яких має свої унікальні характеристики.

На виході з каналів декодер за принципом максимальної правдоподібності визначає сигнал, що приймається, порівнює пристрій та оцінює коефіцієнт бітрової помилки (BER).

**Модель каналу зв'язку з вісьмама передавальними антенами**

Модель системи безпроводового передавання даних із використанням вісьмох передавальних антен і квазіортогонального коду подано на рис. 3.

Розроблена система складається з тих самих компонентів і допоміжних пристроїв, що використовуються для побудови системи з чотирма антенами.

**Принцип роботи.** Кожні вісім комплексних символів перетворюються в 64 комплексні числа, розподілених по восьми тимчасових інтервалах

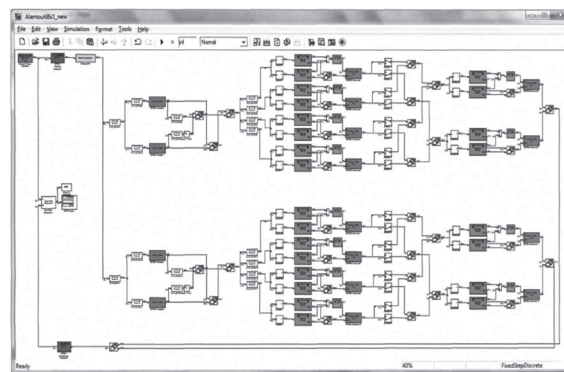


Рис. 3. Модель радіосистеми з вісьмама передавальними антенами

і восьми каналів. Комплексні числа формуються відповідно до рекурсивного правила побудови комплексного коду Уолша-Адамара (аналогічно чотирипозиційному коду).

На кожний з восьми каналів накладається білий гауссовий шум замирання Релея-Райса. Таким чином, досягається просторове тимчасове рознесення каналів.

На виході з каналів, декодер за принципом максимальної правдоподібності визначає сигнал, що приймається, порівнює пристрій та оцінює коефіцієнт бітрової помилки (BER).

**Особливості моделюванні радіосистем**

**Вимоги до потужності.** Схема з рознесеним передаванням передбачає одночасне передавання кількох символів через різні антени. Оскільки потужність випромінювання обмежена і дорівнює повній випромінюваній потужності системи з однією передавальною антеною, то для того, щоб мати таку саму загальну потужність передавання через кілька антен, енергія на кожен символ має бути в  $M$  разів менше (де  $M$  — кількість передавальних антен). Це призводить до втрат у заводостійкості, однак зменшення потужності в кожному передавачі, з конструкторського погляду, призводить до спрощення конструкції лінійних підсилювачів. Під час розробки часто краще з метою зменшення нелінійних спотворень застосовувати два підсилювача половинної потужності, ніж один потужний підсилювач.

Таблиця 3

Передана послідовність для схеми восьмиканального рознесеного передавання

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
$T$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$	$S_6$	$S_7$	$S_8$
$t + T$	$\bar{S}_2$	$-\bar{S}_1$	$\bar{S}_4$	$-\bar{S}_3$	$\bar{S}_6$	$-\bar{S}_5$	$S_8$	$-\bar{S}_7$
$t + 2T$	$\bar{S}_3$	$\bar{S}_4$	$-\bar{S}_1$	$-\bar{S}_2$	$\bar{S}_7$	$\bar{S}_8$	$-\bar{S}_5$	$-\bar{S}_6$
$t + 3T$	$S_4$	$-S_3$	$-S_2$	$S_1$	$S_8$	$-S_7$	$-S_6$	$S_5$
$t + 4T$	$\bar{S}_5$	$\bar{S}_6$	$\bar{S}_7$	$\bar{S}_8$	$-\bar{S}_1$	$-\bar{S}_2$	$-\bar{S}_3$	$-\bar{S}_4$
$t + 5T$	$S_6$	$-S_5$	$S_8$	$-S_7$	$-S_2$	$S_1$	$-S_4$	$S_3$
$t + 6T$	$S_7$	$S_8$	$-S_5$	$-S_6$	$-S_3$	$-S_4$	$S_1$	$S_2$
$t + 7T$	$\bar{S}_8$	$-\bar{S}_7$	$-\bar{S}_6$	$\bar{S}_5$	$-\bar{S}_4$	$\bar{S}_3$	$\bar{S}_2$	$-\bar{S}_1$



### Чутливість до помилок оцінювання каналу

У дослідженні передбачається, що приймач має ідеальне знання про канали. Інформація про параметри каналу передається безпосередньо в пристрій декодування Аламоуті, яке витягує і інтерполює їх для отримання оцінки каналу для кожного переданого корисного символу.

Кілька факторів, що погіршують ефективність оцінювання каналу пілот-сигналом: помилки в інтерполяції коефіцієнтів і тимчасові викривлення в каналі. Помилка оцінювання каналу мінімізується, коли частота пілот-сигналу більше або дорівнює кроку дискретизації каналу Найквіста, який в два рази більше за максимальну доплерівську частоту. Для боротьби з тимчасовими спотвореннями при модуляції використовується синхронний дискретний час, однаковий для передавача і приймача.

У кожний дискретний проміжок часу приймача відомі  $M$  незалежних дискретних рівнів для  $M$  каналів. Таким чином, досягається точність оцінювання коефіцієнтів передавання кожного каналу для кожного переданого корисного символу. Ефект затримки при  $N$ -канальному рознесенні передавання перетворені копії сигналів передаються в  $N$  різних інтервалах. При цьому затримка декодування становить  $N$  символів. Наприклад, для восьмиканального рознесенного передавання затримка становить вісім символівних періодів.

### Результати дослідження

За допомогою спеціального інструмента аналізу BERTool програмного пакета MATLAB було отримано графіки залежності коефіцієнта бітових помилок BER від відношення сигнал/шум при різних параметрах радіотракту (рис. 4, 5, 6, 7).

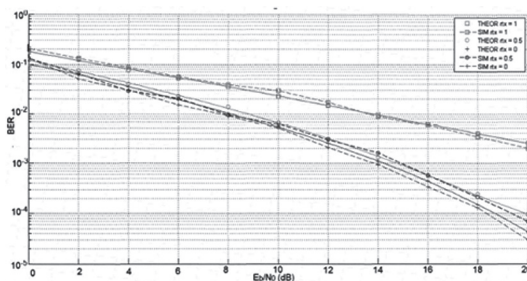


Рис. 4. Залежність імовірності помилки (BER) від  $E_b/N_0$  для двохантної системи MISO з кодом Аламоуті для коефіцієнтів просторової кореляції; модуляція BPSK

Графіки функцій, позначені суцільною лінією на рис. 4, показують, що зі зростанням просторової кореляції спостерігається значне погіршення завадостійкості для системи MISO з двома передавальними антенами. Так, при ймовірності помилки  $10^{-3}$  спостерігається програш за завадостійкістю на 5 дБ системи з коефіцієнтом просторової кореляції  $r_{TX} = 1$  порівняно з системою з коефіцієнтом просторової кореляції  $r_{TX} = 0,5$ .

Моделювання проводилося за допомогою спеціального інструмента аналізу BERTool, що входить у програмний пакет MATLAB. При моделюванні використовувалася модуляція BPSK. Графіки залежності ймовірності помилки від відношення  $E_b/N_0$  (показані пунктирною лінією) відрізняються від теоретичних залежностей на 0,5 дБ для випадку з  $r_{TX} = 1$  і менше 0,2 дБ для випадку з  $r_{TX} = 0$ , що залишається в рамках допустимої похибки обчислень.

На відміну від системи MISO з двома передавальними антенами, у даному випадку, просторова кореляція значно впливає тільки для сусідніх антен. При цьому просторово-часове кодування за рахунок рознесення векторів сигналу дозволяє успішно боротися з завадами, тому програш за завадостійкістю системи з  $r_{TX} = 1$  порівняно з системою з  $r_{TX} = 0,5$  вже не такий значний  $-0,5$  дБ при тій самій ймовірності помилки  $10^{-3}$ .

Стійкість системи з чотирма передавальними антенами при різних коефіцієнтах кореляції подано на рис. 5.

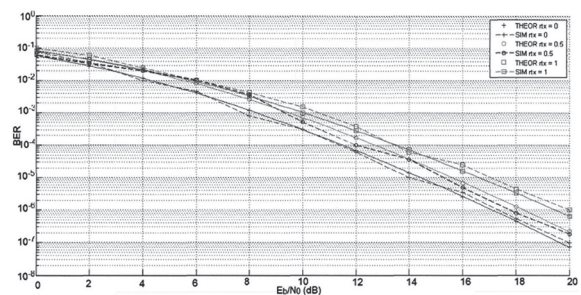


Рис. 5. Залежність імовірності помилки (BER) від  $E_b/N_0$  для чотирьохантної системи MISO з кодом Аламоуті для коефіцієнтів просторової кореляції  $r_{TX} = 0; 0,5; 1$ ; модуляція BPSK

Стійкість системи з вісьмома передавальними антенами при різних коефіцієнтах кореляції показано на рис. 6.

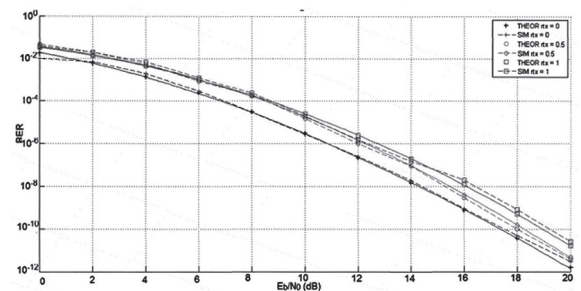


Рис. 6. Залежність імовірності помилки (BER) від  $E_b/N_0$  для восьмиантної системи MISO з кодом Аламоуті для коефіцієнтів просторової кореляції  $r_{TX} = 0; 0,5; 1$ ; модуляція BPSK

У випадку з вісьмома передавальними антенами вплив просторової кореляції вдається ще більш зменшити (порівняно з двох- і чотирьохантними системами) за рахунок великої кількості антен і, відповідно, більш ефективного рознесення сигналу між антенами, яке детектується і обробляється на прийомі.

Таким чином, графіки завадостійкості системи при коефіцієнті  $r_{TX} = 1$  і коефіцієнті  $r_{TX} = 0,5$  відрізняються на 0,1 дБ при ймовірності помилки  $10^{-3}$ .

Графіки завадостійкості різних систем MISO, що використовують дві, чотири і вісім передавальних антен, при фіксованих коефіцієнтах просторової кореляції  $r_{TX} = 0,5$ , подано на рис. 7.

На рис. 7 показано, що в разі, коли коефіцієнт просторової кореляції зафіксовано на рівні  $r_{TX} = 0,5$  для систем MISO з різною кількістю передавальних антен (дві, чотири, вісім), стійкість системи не росте пропорційно з ростом кількості антен, а сповільнюється. Це пояснюється тим, що за невеликої кількості передавальних антен (дві і чотири) просторова кореляція між антенами впливає, що супроводжується погіршенням завадостійкості системи. Наприклад, при зміні коефіцієнта просторової кореляції  $r_{TX}$  на 0,5 (з 0,5 до 1) стійкість погіршується на 5 дБ у разі двох передавальних антен і на 0,5 дБ у разі чотирьох антен.

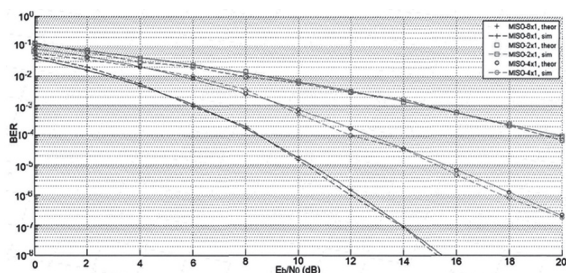


Рис. 7. Залежність ймовірності помилки від  $E_b/N_0$  для двох-, чотирьох- і восьмиантенної системи MISO при фіксованому коефіцієнті просторової кореляції  $r_{TX} = 0,5$ ; модуляція BPSK

Зі збільшенням кількості антен просторово-часове кодування дозволяє подолати негативний вплив просторової кореляції за рахунок просторового рознесення випромінюваних векторів сигналів, тим самим забезпечуючи надмірність у просторі і часі. Система MISO з чотирма антенами програє за завадостійкістю системі MISO з вісьма антенами 3,5 дБ при ймовірності помилки  $10^{-3}$ . При цьому чотирьохантенна система краще за завадостійкістю, ніж двохантенна система на 5 дБ при тому самому коефіцієнті помилки  $10^{-3}$ . Цей ефект пояснюється тим, що просторова кореляція надає значущий вплив тільки між сусідніми антенами, тоді як просторово-часове кодування розподіляє вектори сигналів рівномірно по всім антенам. Отже, збільшення кількості передавальних антен сприяє зростанню завадостійкості системи радіозв'язку. Однак, як видно з рис. 7, зі збільшенням кількості до чотирьох антен, поліпшення

завадостійкості системи MISO сповільнюється (5 дБ при переході від двох до антен і 3,5 дБ при переході від чотирьох до восьми антен при BER  $10^{-3}$ ), оскільки взаємна кореляція сигналів між антенами в разі квазіортогонального кодування зростає.

### Висновки

За допомогою комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB на основі сконструйованих моделей систем радіозв'язку і теоретичних кривих залежності ймовірності помилки від відношення сигнал/шум побудовано теоретичної формули з урахуванням коефіцієнта кореляції.

На основі даних порівняльного аналізу можна дійти висновку, що формула для визначення ймовірності помилки і формула розрахунку матриці коефіцієнтів кореляції є точними і відображають дійсні характеристики реальних систем радіозв'язку.

Аналіз моделювання показав, що зі збільшенням кількості антен просторово-часове кодування дозволяє подолати негативний вплив просторової кореляції за рахунок просторового рознесення випромінюваних векторів сигналів, забезпечуючи надмірність у просторі і в часі. Отже, збільшення кількості передавальних антен сприяє зростанню достовірності передавання інформації в системі радіозв'язку. Цей ефект пояснюється тим, що просторова кореляція надає значущий вплив тільки між сусідніми антенами, тоді як просторово-часове кодування розподіляє вектори сигналів рівномірно по всім антенам.

### Список використаної літератури

1. *Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития* / И. А. Генко, В. Ф. Олейник, Ю. Д. Чайка [и др.]: под ред. В. Ф. Олейник. Київ, ЕКМО, 2009. 672 с.
2. *Sesia S., Toufik I., Baker M. LTE – The UMTS Long Term Evoluton. From Theory to Practice* // West Sussex: John Wiley & Sons, 2009. 626 p.
3. *Holma H., Toskala A. HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications* // New York: John Wiley & Sons, 2006. 268 p.
4. *Alamouti S. Space-time block coding* // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2008. Vol. 16. P. 1451–1458.
5. *Abe T., Tomisato S., Matsumoto T. A MIMO turbo equaliser for frequency selective channels with unknown interference* // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2003. Vol. 52 (3). P. 476–482.

Л. В. Дакова, Д. О. Данилец, В. П. Шульц, В. О. Титаренко, И. В. Луговой  
**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ С MIMO**

Предложен анализ современного развития систем мобильной связи, а также проведено исследование методов обеспечения достоверности передачи информации в беспроводных системах передачи данных и методов повышения помехоустойчивости приема/передачи сигнала. Приведены моделирования систем передачи информации рассмотренных моделей.

**Ключевые слова:** ефективність; ширина полоси пропускання; модуляція; MIMO; LTE; множественный доступ; кодирование; разнесенные прием; SIMO; OFDMA; модель; канал связи; мощность.

L. V. Dakova, D. O. Danilets, V. P. Shults, V. O. Titarenko, I. V. Luhovyi

### IMPROVEMENT OF DATA TRANSFER CONFIDENCE IN MIMO SYSTEMS

Ways to expand the signal spectrum are considered: frequency division of channels, time division of channels and code division of channels. The structure of MIMO technology and the statistical characteristics of the MIMO channel are investigated.

Investigation of empirical radio wave propagation models and their use for predicting radio propagation losses on WiMAX and LTE networks.

The method allowed to determine the estimated magnitude of losses in the speed of information transmission when changing the characteristics of the propagation path of radio waves.

A feature of the proposed method of estimating the quality of the communication channel with intentional interference is the dependence of the accuracy of the estimates on the quality of the real communication channel (signal/interference ratio): at a sufficiently high probability of making erroneous decisions, there may be a shift in the obtained estimates and, as a consequence, a decrease in the control accuracy channel quality.

The simulation analysis showed that with the increase in the number of antennas, space-time coding allows to overcome the negative impact of spatial correlation due to the spatial spacing of the emitted signal vectors, thus providing redundancy in space and time. Therefore, an increase in the number of transmitting antennas contributes to an increase in the reliability of information transmission in the radio system.

Thus, the simulation allows the design of point-to-point and point-to-point networks using AirMax technology. The transmission speed of the link will be 75 Mbps in one direction. This network can be further developed by installing new client devices without changing the overall structure of the network.

**Keywords:** efficiency; bandwidth; modulation; MIMO; LTE; multiple access; coding; diversity; SIMO; OFDMA; model; communication channel; power.



УДК 004.65

DOI: 10.31673/2412-9070.2019.055519

Д. А. ФРАНКОВ, студент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА ОСВІТЛЕННЯ «РОЗУМНОГО БУДИНКУ»

**Розглянуто кіберфізичну систему освітлення «розумного будинку». Система забезпечує комфорт та економію електроенергії. Підтримує автоматичне та ручне керування. Забезпечує керування освітленням, розетками та ефективно використовує природне освітлення. Система керується за допомогою додатку на мобільному пристрої. З'єднання між модулями системи за допомогою безпроводової мережі.**

**Ключові слова:** система освітлення; кіберфізична система; «розумний будинок»; автоматизація освітлення.

### Вступ

Останніми роками технології розвиваються, стають більш багатофункціональними та гнучкими і, відповідно, дешевшають. Ще кілька років тому система повного керування для двокімнатної квартири починалася з 9 тис євро. Сьогодні така система обійдеться за 4-5 тис євро. А якщо її встановлення не потребуватиме монтажу електропроводки та інших комунікацій, то може обійтись у 2-3 тис євро. Така сума відчутна для гаманця, але якщо порівняти витрати при купівлі двокімнатної квартири або проведення в цій квартирі ремонту, ціна за «розумний будинок» не здається такою високою.

Система «Розумного будинку» має забезпечувати комфорт, безпеку та ресурсозбереження, а також розпізнавати конкретні події та реагувати на них.

Зазвичай, комфорт — важлива річ, але ми ще в силі підійти до вимикача, самостійно перевірити чи перекрито газ. Цілком можна обійтись без інтелектуальності будинку. Але «розумний» будинок приховує в собі ще кілька переваг [1]. Основною перевагою є економія.

**Аналіз літературних даних та постановка проблеми.** Електроенергія, яка є в кожному будинку, не є безкоштовною. Ціна за один кіловат невисока. Але на цей час з'явилося чимало електроприладів, які використовують багато електроенергії.

Економію електроенергії можна поділити на два типи — *технічна* та *людська*.

**Технічна економія** передбачає збільшення коефіцієнта корисної дії самого пристрою. Зараз проблеми з технічною економією вже розв'язано.

© Д. А. Франков, 2019