

## ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ КАНАЛ СИСТЕМИ MIMO-OFDM

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»;

### Анотація

Подано модель передавального каналу системи MIMO-OFDM, що враховує частотну та часову вибірковість каналу зв'язку та умову неповної синхронізації приймача, що дозволяє підвищити точність оцінки коефіцієнтів моделі.

**Ключові слова:** приймальний канал, система зв'язку, широкополосний доступ, імпульсна характеристика каналу.

### Abstract

The model of the transmission channel of the MIMO-OFDM system is presented, which takes into account the frequency and time selectivity of the communication channel and the condition of incomplete synchronization of the receiver, which allows to increase the accuracy of estimating the coefficients of the model.

**Keywords:** receiving channel, communication system, broadband access, impulse characteristic channel.

### Вступ

Розвиток сучасних безпроводних широкополосних систем зв'язку є причиною розвитку є технології OFDM та MIMO. Технологія OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) – це мультиплексування сигналів із ортогональним частотним розділенням, а технологія MIMO (multiple-input multiple-output) – це множинний вхід та множинний вихід. Вони дозволяють досягти збільшення інформаційної ефективності в умовах багатопроменевого поширення та постійно зростаючі потреби користувачів безпроводних мереж для високошвидкісних з'єднань та специфічних мультимедійних сервісів. При цьому значний вплив на ефективність завадостійкого прийому в умовах частотної та часової вибірковості каналів здійснює точність фазової та оцінка каналних характеристик.

Багато робіт присвячено дослідженню систем MIMO-OFDM [1-15]. Існуючі підходи до моделювання приймального каналу та оцінку його параметрів мають велику обчислювальну складність та недостатню точність для використання в MIMO-OFDM системах, що мають високу чутливість до помилок синхронізації та оцінці.

Метою роботи є створення моделі передавального каналу системи MIMO-OFDM та дослідження її ефективності.

### Результати дослідження

Схема передавального каналу системи подана на рис. 1. Потік інформаційних біт  $u_i$  кодується завадостійким кодом (згідно рекомендації LTE 3GPP TS 36.211 використали згортковий турбокод с базовою швидкістю 1/3), перемішується ( $\Pi$ ) та демультимплексується на  $N_T$  паралельних підпотоків згідно кількості передавальних антен. Потім послідовність розбивається на  $Q$ -бітні вектори, кожному з яких відповідає комплексне значення символу, що належить сигнальному сузір'яї КАМ-модуляції.

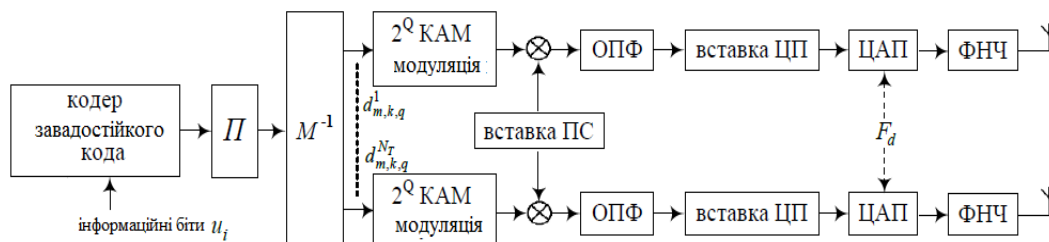


Рис. 1. Схема передавального каналу MIMO-OFDM

Модуляційні символи доповнюються пілотними сигналами та надходять на блок оберненого перетворення Фур'є (ОПФ). OFDM-символ с виходу блока ОПФ передається на  $N$  підносійних, кількість яких визначається базою перетворення Фур'є. Після додавання циклічного префікса (ЦП) та цифро-аналогового перетворення (ЦАП) сигнал у часовій області, що відповідає  $n$ -му відліку  $m$ -го OFDM-символа, що передається с  $u$ -ї антени подається виразом

$$x_m^u(n) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} X_{k,m}^u e^{j2\pi kn/N}, \quad n = -N_g \dots N - 1;$$

де  $N_g$  – розмір ЦП;  $k$  – індекс підносійної;  $X_{k,m}^u \in A$  – комплексне значення символу,  $A$  – сигнальне сузір'я КАМ модуляції.

Для кожної пари  $u$ -ї передавальної та  $v$ -ї приймальної антени імпульсна характеристика каналу відбиває спотворення, що викликані частотною та часовою вибірністю каналу (завмирання сигналу), а також шумами фільтрації в тракці

$$h^{u,v}(t, \tau) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l^{u,v}(t) \sigma(\tau - \tau_l),$$

де  $h_l^{u,v}(t)$  – коефіцієнт послаблення сигналу;  $L$  – кількість променів поширення сигналу.

За зразок опису частотної характеристики каналу використовується модель Джейкса [10]. На рис. 3 подана одна з реалізацій моделі Джейкса та апроксимуючі функції імпульсної характеристики каналу з різним базисом розкладання  $Q$ .

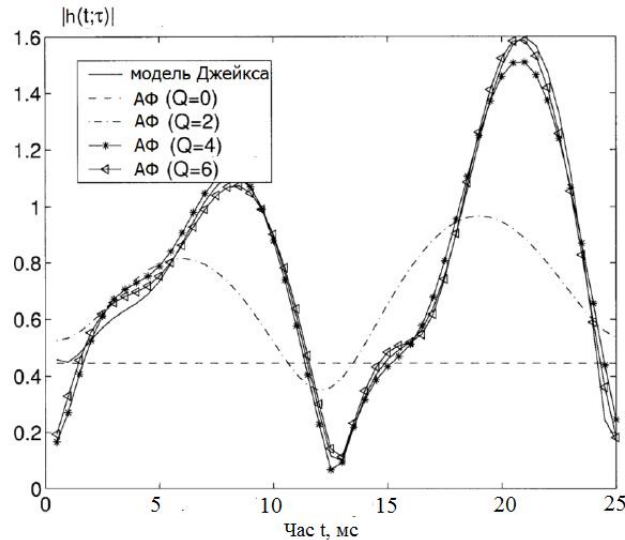


Рис. 3. Імпульсна характеристика каналу

Базовою проблемою, що не дозволяє у повному обсязі реалізувати переваги МІМО-систем, є наявність у мережі зв'язку інтерференційних завад, що створюються мобільними та базовими станціями, що працюють на тих же частотах у сусідніх секторах комірок. Потенційна швидкість передачі інформації при наявності адаптивного білого гаусовського шуму інтерференційних завад

$$C_{MIMO-q} = MF \log_2 \left[ 1 + \left( \frac{1}{h} + \frac{1}{q} \right)^{-1} \right],$$

де  $q$  – відношення сигнал/інтерференційна завада.

На рис. 3 подана залежність пікової швидкості передачі інформації від відношення сигнал/завада у смузі частот 10 МГц при різних рівнях інтерференційних завад для технології МІМО.

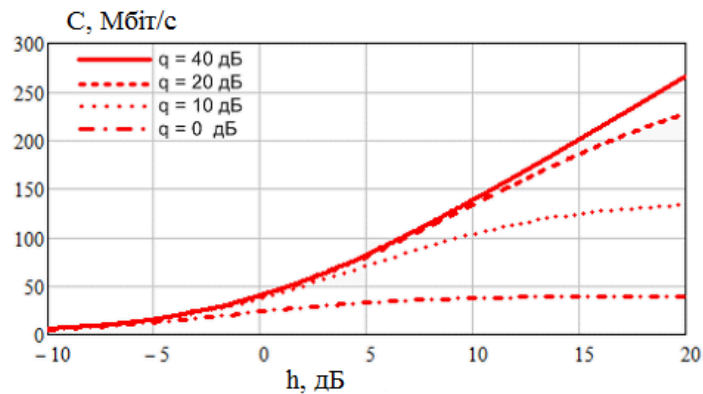


Рис. 3. Залежність пікової швидкості передачі інформації

Із рис. 3 бачимо, що інтерференційні завади призводять до різкого пониження швидкості передачі інформації. Коли потужність інтерференційної завади зрівняна із потужністю сигналу ( $q = 0$  дБ), то швидкість передачі інформації в режимі МІМО буде близька, а при збільшенні відношення сигнал/шум, навіть менше, ніж пікова швидкість.

### Висновки

Отже, розглянута модель МІМО-OFDM каналу враховує частотну та часову вибірність каналу в умовах багатопроменевого поширення сигналу та покращеної синхронізації приймача, що дозволяє значно знизити складність розрахунків оцінок коефіцієнтів передачі каналу.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bagadi K. MIMO-OFDM Channel estimation using pilot carrier / K. Bagadi, S. Das // *International Journal of Computer applications*. – 2010.– Vol. 2, No. 3. – pp. 81-88. DOI: 10.5120/638-893.
2. Barhumi I. Optimal training design for MIMO OFDM systems in mobile wireless channels / I. Barhumi, M. Moonen // *IEEE Transactions on Signal Processing*. – 2003.– Vol. 51, No. 6. – pp. 1615-1624. DOI: 10.1109/TSP.2003.811243.
3. Mody A.N. Synchronisation for MIMO OFDM systems / A.N. Mody, G.L. Stuber // *IEEE Global Telecommunications conference, 25-29 November 2001, San Antonio, USA*. DOI: 10.1109/GLOCOM.2001.965169.
4. Цапков С.В. Метод перехресної ентропії для зниження відношення PAPR в системах OFDM / С.В. Цапков, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 51 – 53.
5. Aggarwal P. Anonlinear downlink multiuser MIMO-OFDM system / P. Aggarwal, V.A. Bohara // *IEEE Wireless Communications Letters*. – 2017. – Vol. 6, No. 3 – pp. 414-417. DOI: 10.1109/LWC.2017.2699195.
6. Яценко С.В. Модель OFDM з цикло-стаціонарним визначенням спектру / С.В. Яценко, А.В. Булашенко // Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи». Київ, 18 – 24 листопада 2019 р — Київ, 2019. — С. 192 – 194.
7. Вус О.С. Технологія МІМО в безпроводному зв'язку / О.С. Вус, А.В. Булашенко // *Матеріали ІІ Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 20 квітня 2017 року*. – Суми: Сумський державний університет, 2017. — С. 191 – 194.
8. Вус О.С. Підвищення надійності у системах МІМО / О.С. Вус, А.В. Булашенко // *Матеріали ХІ науково-технічної конференція студентів, аспірантів та викладачів радіотехнічного факультета «Радіоелектроніка в ХХІ столітті»*. — Київ: КПІ, 16-18 травня 2017. – С. 20 – 23.
9. Вус О.С. Модель МІМО у радіомережі 4G / О.С. Вус, А.В. Булашенко // *Міжнародна науково-технічна конференція «Радіотехнічні поля, сигнали, апарати та системи»*. Київ, 20 – 26 березня 2017 р — Київ, 2017. — С. 158 – 161.
10. Jakes W.C. *Microwave Mobile Communications* / W.C. Jakes. – New York: IEEE Press. – 1994. – 640p.

11. Маленчик Т.В. Алгоритм подавлення завад у режимі псевдовипадкового переналаштування частоти / Т.В. Маленчик, А.В. Булашенко // 23-й Міжнародний молодіжний форум «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті». Конференція «Інформаційні радіотехнології та технічний захист інформації», Т.3 — Харків: ХНУРЕ, 16-18 квітня 2019. — Т.3. — Р. 129 – 130.

12. Демченко І.В. Енергоефективна багатокористувачка МІМО система з обмеженим зворотним зв'язком / І.В. Демченко, А.В. Булашенко // матеріали ІV Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Шостка, 18 квітня 2019 року. – Суми: Сумський державний університет, 2019. — С. 162 – 164.

13. Iofedov I. MIMO-OFDM with nonlinear power amplifiers / I. Iofedov, D. Wulich // IEEE Transactions on Communications. – 2015.– Vol. 63, No.12. – pp. 4894-4904. DOI: 10.1109/TCOMM.2015.2494018.

14. Panajotovic A. Adaptive uniform channel decomposition in MU-MIMO-OFDM: application to IEEE 802.11ac / A. Panajotovic, F. Riera-Palou, G. Femenias // IEEE Microwave Transactions on Wireless Communications. – 2015.– Vol. 14, No. 5. – pp. 2896-2910. DOI: 10.1109/TWC.2015.2396513.

15. Аристов А.М. Завадостійкість LTE із використанням режимів передачі SISO та МІМО в OFDM системі / А.М. Аристов, А.В. Булашенко // Матеріали ІІІ всеукраїнська науково-технічна конференція студентів та аспірантів «Радіоелектроніка в ХХІ столітті». — Київ: КПІ, 6-7 травня 2020. – С. 22 – 24.

*Аристов Антон Миколайович* — студент групи РА-п91, радіотехнічного факультету, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, e-mail: kotovan99@i.ua;

*Булашенко Андрій Васильович* — ст. викл. кафедри теоретичних основ радіотехніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського», Київ.

*Aristov Anton I.* — Department of Radio Engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, email: kotovan99@i.ua;

*Bulashenko Andrew V.* — senior lecture of the chair of theoretical foundations of radio engineering, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv.