

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Примаченко В.І., Сторчак К.П., Макаренко А.О.**

*Державний університет телекомунікацій, Україна*

*E-mail: vladuserzvir@ukr.net*

### **Mathematical modelling of wireless telecommunication systems**

The article analyzes the process of mathematical modeling of wireless telecommunication systems. Presented methods and tools used in the mathematical modeling of multi-antenna systems using a software environment Matlab Simulink, physical and analytical communication channel.

Одним із суттєвих методів дослідження і удосконалення технологій широкосмугової безпроводової передачі даних є математичне моделювання. Математичне моделювання знаходить найширше застосування в науці, техніці, економіці і освіті [1].

Технологія моделювання складних технічних систем, до класу яких відносяться телекомунікаційні системи, спирається на імітаційне програмне моделювання. Термін “імітаційне моделювання” часто ототожнюється з терміном “статистичне моделювання” [2]. Статистичне моделювання як метод машинної реалізації імітаційних моделей систем, схильних до випадкових дій, - найбільш використовується.

У основі статистичного моделювання лежить процедура, яка використовується для моделювання випадкових величин і функцій - метод статистичних випробувань (метод Монте-Карло).

Загальна схема методу Монте-Карло може бути записана у вигляді [2, 3]

$$M(x) = \int y(x) p(x) dx. \quad (1)$$

Результат шукається як математичне очікування деякої випадкової величини  $y_1, y_2, y_N$ , яка найчастіше є невідомою функцією випадкової величини  $x_1, x_2, x_N$ , що має розподіл  $p(x)$ . Наближена оцінка невідомого математичного очікування, співпадаюча з шуканим результатом, знаходиться як середнє арифметичне результатів незалежних дослідів

$$\tilde{M}(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y(x_i), x_i \approx p(x). \quad (2)$$

Результати статистичного моделювання мають випадковий характер, тому для забезпечення статистичної стійкості їхні оцінки визначаються як середнє за великою кількістю реалізацій. Вибір кількості реалізацій визначається вимогами до результатів моделювання. Чим більше реалізацій, тим вища точність моделювання складної системи.

При моделюванні в програмному середовищі Matlab Simulink імітаційна

модель схеми має вхідні, вихідні та блоки обробки даних (рис. 1) [4].

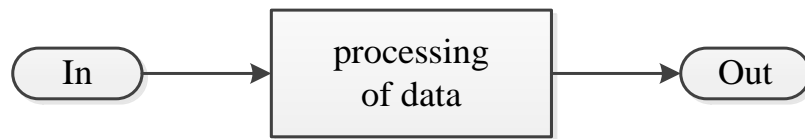


Рис. 1. Структурна схема взаємодії елементів моделі

Алгоритм поведінки моделі системи описується [4, 5]

$$\dot{x}(t) = f(t, x(t), u(t)), \quad (3)$$

де  $x$  - вектор стану системи,  $x = (x_1, \dots, x_n)^T \in R^n$ ;  $u$  - вектор керування,  $u = (u_1, \dots, u_q)^T \in U \subseteq R^q$ ,  $U$  - деяка задана множина припустимих значень рівняння;  $t$  - час,  $t \in T = [t_0, t_1]$  - проміжок часу функціонування системи;  $f(t, x, u)$  - неперервна разом зі своїми частковими похідними вектор-функції.

На сьогодні бурхливо розвиваються системи ШБД побудовані за стандартами 3GPP LTE, IEEE 802.11 та ін. Ці стандарти об'єднує метод ортогонального частотного мультиплексування (OFDM). З ростом швидкості передачі систем ШБД з'явилась необхідність в розвитку методу Multiple Input Multiple Output (MIMO).

Моделі MIMO-каналу в основному діляться на дві категорії, як показано на рис. 2.

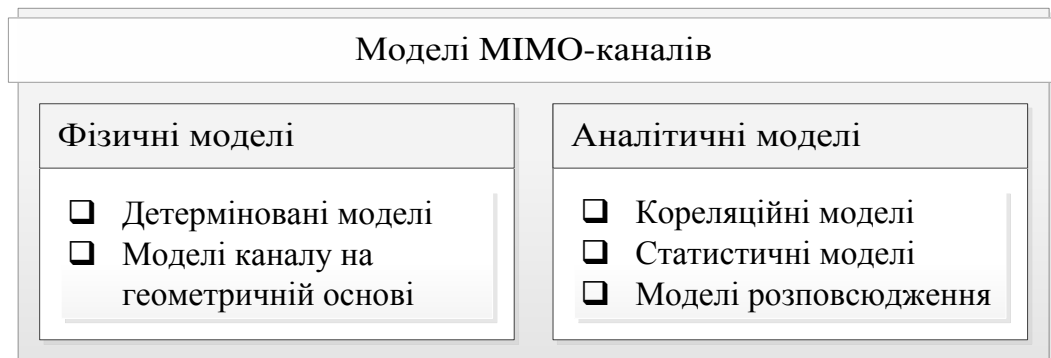


Рис. 2 Моделі поширення каналу MIMO

Фізичні моделі включають в себе як детерміновані, так і стохастичні моделі каналу на геометричній основі [6]:

- детерміновані моделі визначають модель каналу відповідно до передбачення розповсюдження сигналу.

- моделі на геометричній основі мають безпосереднє відношення до фізичних характеристик каналу розповсюдження.

Другий клас моделей MIMO-каналу включає аналітичні моделі, засновані на статистичних властивостях, отриманих за допомогою вимірювань.

Аналітичні моделі каналу можуть бути класифіковані як кореляційні моделі (наприклад, модель незалежних однаково розподілених випадкових величин, модель Кронекера, модель Кейхола, ...), статистичні моделі (наприклад, модель Салех-Валенсуела та модель Цвік) і моделі розповсюдження (наприклад, модель Мюллера та модель повного розсіювання).

Одним із найзначніших удосконалень технології MIMO є багатокористувацька Multiple Input Multiple Output (Multi User - MIMO) технологія. Більшість сучасних комерційних Wi-Fi маршрутизаторів та точок доступу засновані на однокористувацькій технології MIMO (SU-MIMO) або просто MIMO, які використовують неефективні тайм-слотові протоколи для розділення одного повношвидкісного виділеного Wi-Fi з'єднання з декількома клієнтами.

Зазвичай, точки доступу мають 3-4 антени, в той час як більшість клієнтських пристроїв обмежені 1-2 антенами. В такій конфігурації вони не можуть підтримувати повний спектр роботи MIMO-каналу, і повна потужність точки доступу використовується рідко.

Наприклад, точка доступу 802.11ac в режимі 3x3 підтримує пікову швидкість фізичного рівня (PHY) 1.3 Гбіт, але смартфон або планшет з однією антеною підтримує пікову швидкість тільки 433 Мбіт/с, залишивши не використаними 867 Мбіт/с потенціалу точки доступу [6].

MU-MIMO компенсує розрив, дозволяючи точці доступу підтримувати до чотирьох одночасних повношвидкісних Wi-Fi-каналів. Кожен з цих каналів асоційовано з окремим смартфоном, планшетом, ноутбуком, мультимедійним програвачем, або іншим клієнтським пристроєм. В результаті, MU-MIMO дає точці доступу більше варіантів обслуговування своїх клієнтів і дозволяє їй більш ефективно використовувати її загальну ємність, ефективно долаючи MIMO-розрив.

Представлено методи та засоби, які використовуються при математичному моделюванні багатоантенних систем з використанням програмного середовища Matlab Simulink, фізичні і аналітичні моделі каналу зв'язку.

## Література

1. Дьяконов В. П. VisSim+Mathcad+MATLAB. Визуальное математическое моделирование. - М.: СОЛОН-Пресс, 2004. - 384 с.
2. Кутузов, О. И., Татарникова Т.М. Моделирование телекоммуникационных сетей. СПб.: [без издательства], 2001. - 76 с.
3. Кривуца В. Г., Барковський В. В., Беркман Л. Н. Математичне моделювання телекомунікаційних систем: Навч. посібник. - К.: Зв'язок, 2007. - 270 с.
4. Лазарев Ю. Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab. Електронний навчальний посібник. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2011.- 421 с.
5. Алексеев В.М. Оптимальное управление / В. М. Алексеев, В. М. Тихомиров, С. В. Фомин. – М. : Наука, 1979. - 430 с.
6. Almers P. Survey of Channel and Radio Propagation Models for Wireless MIMO Systems [Електронний ресурс] // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. - Режим доступу: [http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-et\\_13071.pdf](http://publik.tuwien.ac.at/files/pub-et_13071.pdf) (01.02.2016.)