DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-235-238
УДК 621.39

В.І. СТЕЦЮК, В.В. МЕДВЕДЬ
Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ШИРОКОСМУГОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

В роботі здійснено оцінку пропускної здатності телекомунікаційних систем зв'язку з використанням технологій SISO та MIMO. Побудовано імітаційні моделі SISO та MIMO каналів. За допомогою створених імітаційних моделей проведено дослідження стійкості каналу зв'язку технології LTE з використанням SISO- і MIMO-OFDM систем. Результати дослідження показали, що на якість сигналу впливають не тільки зовнішні фактори, але також і методи обробки даних, що використовуються в приймально-передавальному тракті радіоканалу. Для підвищення якості радіосигналу використовують методи багатопозиційної модуляції, просторового кодування сигналу. Експериментальним шляхом доведено, що використання багатоантенної системи MIMO підвищує стійкість радіоканалу. На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що застосування технології OFDM підвищує стійкість радіоканалу, сприяючи протистоянню міжсимвольної інтерференції, затуханням, частотно-вибірковим завмиранням. Окреслено ряд переваг та недоліків технології 4G над 3G.

Ключові слова: телекомунікації, мережа, система зв'язку, багатопозиційна модуляція, LTE, SISO, MIMO, 3G, 4G імітаційна модель.

V.I. STETSIUK, V.V. MEDVED
Khmelnytskyi National University

DESIGN OF MODERN BROADBAND TELECOMMUNICATION NETWORKS

The paper assesses the bandwidth of telecommunication communication systems using SISO and MIMO technologies. Simulation models of SISO and MIMO channels are built. Using the created simulation models, the stability of the communication channel of LTE technology using SISO- and MIMO-OFDM systems was investigated. The results of the study showed that the quality of the signal is affected not only by external factors, but also by the data processing methods used in the transceiver path of the radio channel. To improve the quality of the signal use methods of multipoint modulation, spatial encoding of the signal. It has been experimentally proven that the use of a MIMO multi-antenna system increases the stability of the radio channel. Based on the data obtained, we can conclude that the use of OFDM technology increases the stability of the radio channel, contributing to the resistance of inter-character interference, attenuation, frequency-selective fading. There are a number of advantages and disadvantages of 4G over 3G. The most obvious advantage of 4G is its much higher data rate than 3G (0.1-1 Gbps). 4G technology enables high speed subscriber communication (up to 500 km / h). For comparison, 3G devices provide the following parameters: when traveling at low speeds up to 3 km / h, the data transfer rate is 348 Kbps. /with. 3G uses a 15 MHz to 20 MHz bandwidth in the 1800 MHz to 2500 MHz band. Due to the aggregation of 2 to 5 component carriers of 20 MHz, the 4G standard provides the ability to create a broadband data channel with a width of up to 100 MHz. Accordingly, LTE-Advanced subscriber terminals will allow simultaneous reception of one or more component carriers depending on their bandwidth. The frequency range is from 2 GHz to 8 GHz. Another advantage is the ability to work with both FDD and TDD signal processing modes. However, there are drawbacks to 4G technology compared to 3G: 3G networks are available over a large area, 4G networks are only available on new 4G compatible phones, high power consumption of 4G network equipment, low investor activity, as existing 3G networks still have high intensive potential and extensive development.

Keywords: telecommunications, network, communication system, multipoint modulation, LTE, SISO, MIMO, 3G, 4G simulation model.

Вступ

Останнє десятиріччя характеризується інтенсивним розвитком систем бездротового зв'язку (мобільний радіозв'язок, системи бездротового доступу до мережі Інтернет, комп'ютерні радіомережі всередині будівель та ін.) [1–3]. Проявляється тенденція зростання інтересу до бездротових систем передачі інформації. Тому постає питання про покращення технічних параметрів, таких як підвищення швидкості, пропускної здатності, без зменшення якості послуг зв'язку, що надаються. В даний час діапазони частот 2,4-2,4835 ГГц, 3,4-3,6 ГГц, 5,2-5,9 ГГц використовуються в основному новими широкосмуговими системами бездротового радіодоступу, серед яких достатньо нова – технологія Long Term Evolution (LTE). Організація абонентського доступу до мультисервісної мережі на базі 4G актуальна в світлі забезпечення абонентів швидкісною новітньою технологією і новими послугами. Головною особливістю сучасного етапу розвитку систем мобільного зв'язку є перехід до систем четвертого покоління. Однак, як і найчастіше буває, при застосуванні нових технологій, виникає ряд проблем, які необхідно вирішувати. Одним із методів підвищення пропускної здатності та швидкості передачі інформації каналу зв’язку є технологія Multiple Input Multiple Output (MIMO). При цьому системи MIMO добре працюють поза зоною прямої видимості і при наявності розсіюючого середовища. У каналах радіозв'язку таких систем діє комплекс перешкод і спотворень. В першу чергу, необхідно враховувати вплив багатопроменевості, причиною якої є наявність відбитків на трасі поширення радіохвиль. Сильні завмирання сигналу в каналі ускладнюють оцінку переданих повідомлень і призводять до спотворень інформації, що передається. Проте, для того, щоб відчути переваги технології MIMO, потрібні потужні процедури обробки сигналів від низки антен в приймачі, з метою підвищення пропускної спроможності каналу і підвищення достовірності прийнятих повідомлень. Основними факторами, що перешкоджають вирішенню поставлених завдань, є адитивні

перешкоди (сигнали заважаючих станцій та флуктуаційний шум) і розсіювання енергії сигналу, що призводить до явища міжсимвольної та міжпотокової інтерференції. Таким чином, розробка і аналіз алгоритмів прийому дискретних повідомлень, основаних на принципі просторово-часового кодування при використанні технології MIMO є досить актуальною темою. Дана робота присвячена дослідженню характеристик телекомунікаційних мереж на основі просторово-часового кодування. Розглянуті ключові питання, що стосуються архітектури мереж LTE, в тому числі із застосуванням технології MIMO.

Основна частина

Історично технології бездротового зв'язку розвивалися за двома незалежним напрямками – системи телефонного зв'язку (стільниковий зв'язок) і системи передачі даних (Wi-Fi, WiMAX). Але останнім часом спостерігається явна тенденція до злиття цих функцій. Більш того, обсяг пакетних даних в мережах стільникового зв'язку третього покоління (3G) вже перевищує обсяг голосового трафіку, що пов'язане з впровадженням технологій HSPA. У свою чергу, сучасні мережі передачі інформації обов'язково забезпечують заданий рівень якості послуг для різних видів трафіку. Реалізується підтримка пріоритетності окремих потоків інформації, причому як на мережевому / транспортному рівнях (на рівні TCP/IP), так і на MAC-рівні (Стандарти IEEE 802.16). Це дозволяє використовувати їх для надання послуг голосового зв'язку, передачі мультимедійної інформації і т. п. У зв'язку з цим саме поняття мереж наступного четвертого покоління (4G) нерозривно пов'язано зі створенням універсальних мобільних мультимедійних мереж передачі інформації.

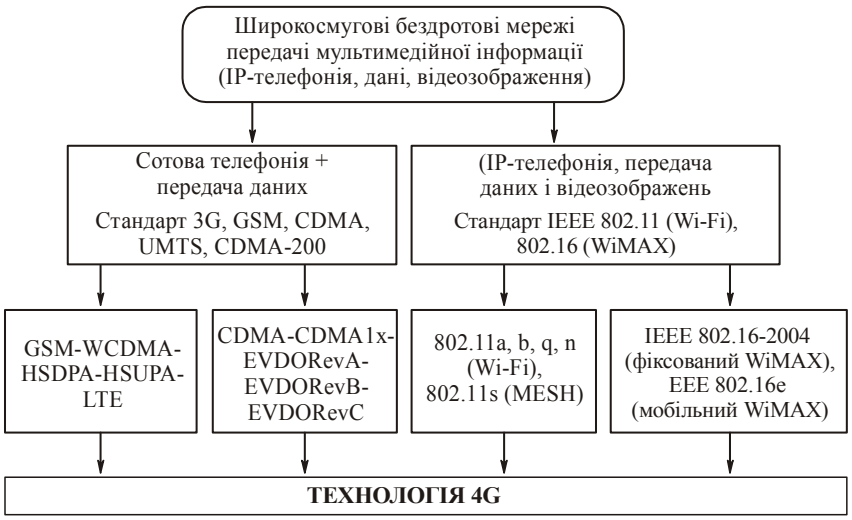

Рис. 1. Основні напрямки розвитку технології широкосмугового зв'язку

На даний момент за пріоритетне право називатися зв'язком 4G борються: технологія WiMax (основана на стандарті IEEE 802.16e) і мобільний протокол передачі даних 3GPP LTE. Існує багато різних варіантів розвитку мереж 4 покоління, але вибір стоїть між мобільним WiMAX і LTE, хоча останнім часом все більше компаній мобільного сектора віддають перевагу саме останньому, особливо модифікації LTE-Advanced, яка в повній мірі може називатися технологією 4 покоління.

Оцінимо пропускну здатність системи зв'язку. Фізичний сенс можливості збільшення швидкості передачі даних можна пояснити за допомогою формули Шеннона. Наприклад, ємність системи SISO (однопотокова передача) визначається теоремою Шеннона-Хартлі:

$$C = log_2(1+\frac{E_b}{N_0}), \quad (1)$$

де E_b/N_0 – середнє відношення сигнал/шум.

Формула ємності системи MIMO:

$$C = log_2\left[det(I_M + \frac{E_b}{N_0 N_{tr}} \mathbf{H}\mathbf{H}^{\mathbf{H}}) \right] = \sum_{i=1}^{min(N_{tr}M_r)} log_2(1+\frac{E_b}{N_0 N_{tr}}\lambda_i), \quad (2)$$

де λ_i – це власне значення $\mathbf{H}\mathbf{H}^{\mathbf{H}}$, det( ) – визначник матриці.

Власні і сингулярні значення пов'язані виразом $\sigma_i^2 = \lambda_i$. Таким чином, MIMO найкраще працює при високих відношення сигнал/шум (SNR), які найбільш часто доступні в зоні прямої видимості антен, хоча і добре працює поза зоною прямої видимості [4]. Слід також зазначити, що, якщо на передачі канал відомий, він може підсилити сигнал в «кращому» підканалі, тим самим збільшити пропускну здатність.

Безліч робіт [1–3] присвячені завадостійкості каналів зв'язку технології LTE, однак недостатньо відомостей по дослідженню завадостійкості при використанні квадратурної амплітудної модуляції. Мета роботи полягає в проведенні експерименту по дослідженню завадостійкості каналів зв'язку технології LTE за допомогою моделювання в середовищі MatLAB. Таким чином, дослідимо стійкість каналу зв'язку технології LTE з використанням SISO- і MIMO-OFDM систем. Для цього створена програмна реалізація радіоканалу з використанням SISO і MIMO систем в середовищі Simulink пакету прикладних програм MatLAB (рис. 2, 3). Алгоритм роботи досліджуваної імітаційної моделі наступний: джерело сигналу (Bernoulli Binary Generator) генерує випадкову двійкову послідовність, що надходить на вхід згорткового кодера, де за допомогою регістра зсуву проводиться кодування всієї переданої послідовності.

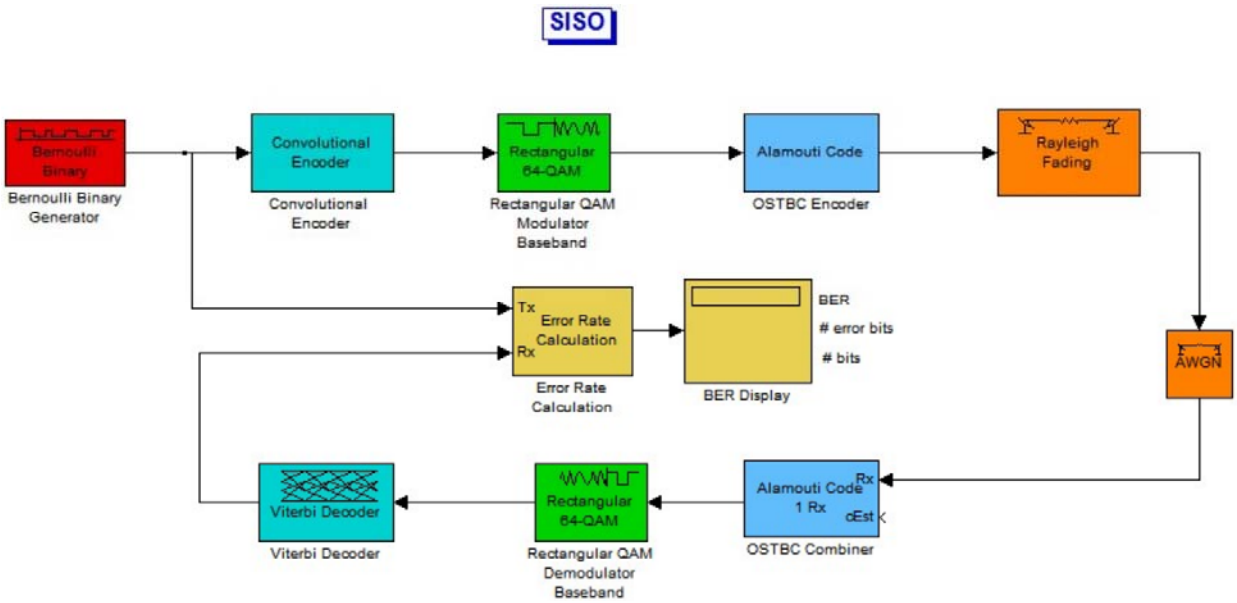

Рис. 2. Побудова імітаційної блок-схеми SISO каналу мережі LTE

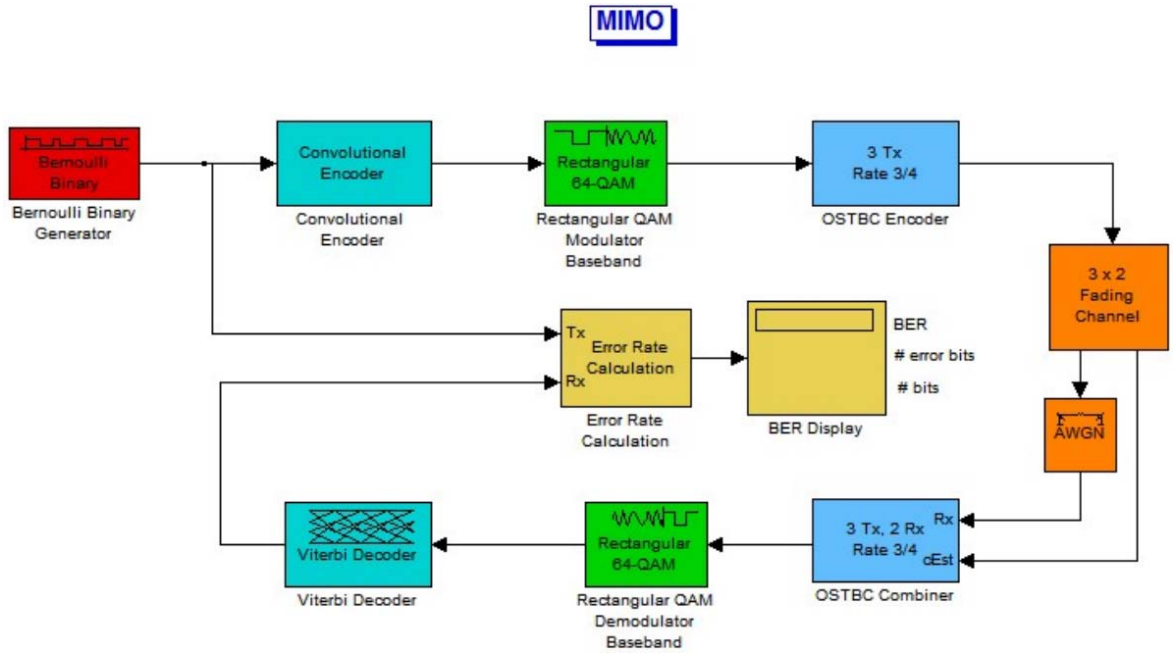

Рис. 3. Побудова імітаційної блок-схеми MIMO каналу мережі LTE

В результаті експерименту отримані графіки залежності ймовірності бітових помилок (BER) від відношення сигнал/шум (SNR) в каналі з системами SISO і MIMO (рис. 4, 5).

Розглянемо переваги технології 4G над 3G. Найбільш очевидною перевагою 4G є набагато більша швидкість передачі даних, в порівнянні з 3G (0,1-1 Гбіт/с). Технологія 4G надає можливість ведення зв'язку на високих швидкостях пересування абонентів (до 500 км/год.). Для порівняння пристрої 3G забезпечують наступні параметри: при переміщенні з малою швидкістю, до 3-х км/год, швидкість передачі даних складає 348 Кбіт/с, а при переміщенні із високою швидкістю, до 120 км/год, швидкість передачі становить 144 Кбіт/с. 3G використовує ширину каналу зв'язку від 15 МГц до 20 МГц у частотному діапазоні від 1800 МГц до 2500 МГц. За рахунок агрегації від 2 до 5 компонентних носійних по 20 МГц, у стандарті 4G закладена можливість створення широкосмугового каналу передачі даних з шириною до 100 МГц. Відповідно абонентські термінали в мережах LTE-Advanced дозволятимуть одночасний прийом однієї або декількох компонентних несучих залежно від їх пропускної здатності. Діапазон частот складає від 2 ГГц до 8 ГГц. Перевагою можна вважати також можливість роботи з обома режимами обробки сигналів – FDD і TDD. Однак є і недоліки технології 4G, в порівнянні із 3G: мережі 3G доступні на більшій території, 4G мережі доступні тільки новим телефонам, сумісним із 4G, високе енергоспоживання апаратури мереж 4G, низька активність інвесторів, так як існуючі мережі 3G ще мають високий потенціал інтенсивного та екстенсивного розвитку. Слід відмітити, що більшість недоліків носять суто тимчасовий характер.

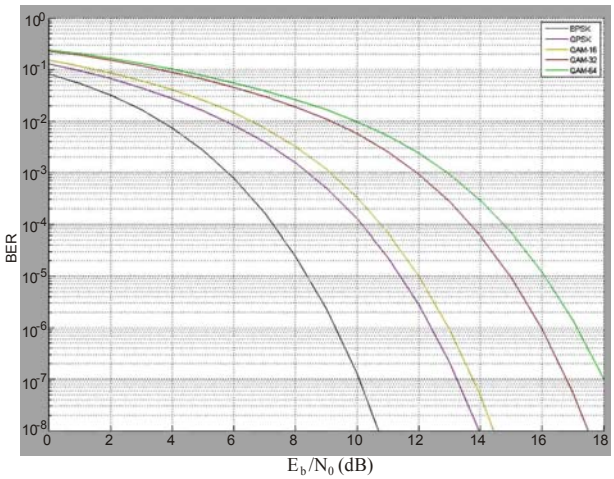

Рис. 4. Криві залежності BER від SNR для різних типів модуляції для каналу з SISO

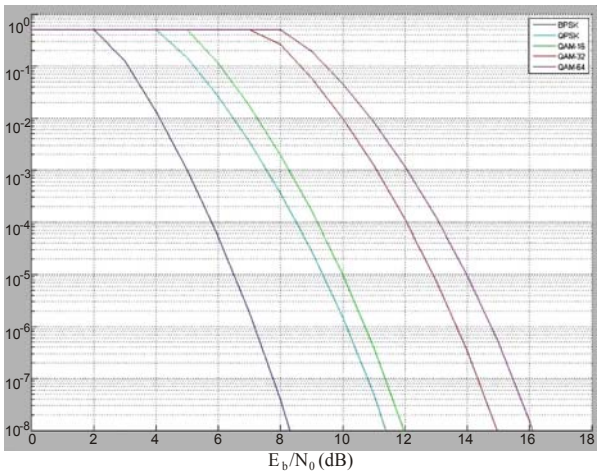

Рис. 5. Криві залежності BER від SNR для різних типів модуляції для каналу з SISO

Висновки

В роботі здійснено оцінку пропускної здатності телекомунікаційних систем зв'язку з використанням технологій SISO та MIMO. Побудовано імітаційні моделі SISO та MIMO каналів. За допомогою створених імітаційних моделей проведено дослідження стійкості каналу зв'язку технології LTE з використанням SISO- і MIMO-OFDM систем. Результати дослідження показали, що на якість сигналу впливають не тільки зовнішні фактори, але також і методи обробки даних, що використовуються в приймально-передавальному тракті радіоканалу. Для підвищення якості радіосигналу використовують методи багатопозиційної модуляції, просторового кодування сигналу. Експериментальним шляхом доведено, що використання багатоантенної системи MIMO підвищує стійкість радіоканалу. На підставі отриманих даних можна зробити висновок, що застосування технології OFDM підвищує стійкість радіоканалу, сприяючи протистоянню міжсимвольної інтерференції, затуханням, частотно-вибірковим завмиранням.

Література

1. Стецюк В. І. Методи контролю інформаційних потоків в телекомунікаційних системах / В. І. Стецюк, В. В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2018. – № 6. Том 2. – С. 209–212.

2. Стецюк В. І. Системи автоматизованого управління телекомунікаційних мереж / В. І. Стецюк, В. В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2018. – № 6. Том 2. – С. 178–182.

3. Стецюк В. І. Методи багатокритеріальної маршрутизації в телекомунікаційних мережах / В. І. Стецюк, В. Р. Любчик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки. – 2018. – № 6. Том 2. – С. 198–201.

4. 3GPP TR 25.892 "Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement".

References

1. Stetsiuk V. I. Metody kontroliu informatsiinykh potokiv v telekomunikatsiinykh systemakh / V. I. Stetsiuk, V. V. Mishan // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. Tom 2. – seriia: tekhnichni nauky. – S. 209-212.

2. Stetsiuk V. I. Systemy avtomatyzovanoho upravlinnia telekomunikatsiinykh merezh / V. I. Stetsiuk, V. V. Mishan // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. Tom 2. – seriia: tekhnichni nauky. – S. 178-182.

3. Stetsiuk V. I. Metody bahatokryterialnoi marshrutyzatsii v telekomunikatsiinykh merezhakh / V. I. Stetsiuk, V. R. Liubchyk // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2018. – № 6. Tom 2. – seriia: tekhnichni nauky. – S. 198-201.

4. 3GPP TR 25.892 "Feasibility study for Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) for UTRAN enhancement".

Рецензія/Peer review : 21.05.2019 р. Надрукована/Printed : 23.07.2019 р.
Стаття рецензована редакційною колегією