

ПОРІВНЯННЯ РЕЖИМІВ ПЕРЕДАЧІ MIMO ТА SISO В БЕЗДРОТОВИХ МЕРЕЖАХ

Виконується порівняння режимів передачі MIMO та SISO в бездротових мережах на основі імітаційного моделювання в середовищі Matlab. Для імітаційного моделювання радіоканалів в умовах відсутності прямої видимості використовувалась релеевська модель. На основі проведених досліджень зроблені висновки дані рекомендації про доцільність застосування того чи іншого способу передачі інформації.

Ключові слова: MIMO, SISO, OFDM, Matlab.

I.V. GULA, K.L. HORIASCHENKO, V.V. MISHAN
Khmelnytsky national university

COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY OF MIMO AND SISO IN WIRELESS NETWORKS

Performing comparisons Mode MIMO and SISO wireless networks based on simulation modeling in the environment of Matlab. For simulation of radio channels in the absence of sight Rayleigh model used. Based on the research findings made recommendations on the feasibility of a particular method of data transmission.

Keywords: MIMO, SISO, OFDM, Matlab

Мета роботи. Дослідити системи передачі MIMO та SISO в бездротових мережах (WiMAX, Wi-Fi) на завадостійкість та порівняти рівень бітових помилок у цих системах при різних ВСШ.

Вступ.

Одним з основних завдань при побудові сучасних цифрових мереж зв'язку є створення високошвидкісних каналів. Вирішення цього завдання для бездротових систем зв'язку наштовхується на ряд труднощів, так як в радіодіапазоні завжди існує дефіцит виділяємої смуги частот і обмеження на збільшення випромінюємої потужності.

Одним з перспективних напрямків по створенню високошвидкісних каналів в бездротових телекомунікаційних системах є використання систем з багатьма входами і виходами MIMO (Multiple Input Multiple Output). Сучасні системи зв'язку MIMO мають досить високі технічні характеристики: швидкість передачі даних може досягати кількох сотень Мбіт/с; імовірність бітових помилок до 10^{-5} . Важливою перевагою також є те, що на відміну від систем з одним входом і виходом SISO (Single Input Single Output) системи MIMO забезпечують істотну, у два й більше разів, економію частотного ресурсу за рахунок використання декількох просторових каналів у тому самому діапазоні частот[4].

Разом з тим лінії зв'язку з системами MIMO мають цілий ряд специфічних характеристик. Так, в цих лініях проходження радіосигналу залежить значною мірою від угруповання об'єктів, розташованих між передавальними і приймальними антенами. При зміні просторового розташування об'єктів в просторі між передавальними і приймальними антенами і / або в разі мобільних абонентів механізм багатопроменевого поширення сигналу ускладнюється. Зі збільшенням швидкостей об'єктів по відношенню до антенних структур вказаний механізм ще більше ускладнюється і, відповідно, ускладнюється завдання поділу каналів на прийомі в системах MIMO. Крім цього, в системах MIMO антени, які обслуговують окремі просторові канали, в практичних реалізаціях повинні мати прийнятні габарити і рознесення, а це в свою чергу ускладнює рішення задачі розділення каналів на приймальній стороні. Таким чином, при побудові бездротових систем (WiMAX, Wi-Fi) можна використовувати, як системи SISO так і MIMO, або ж переключення режимів передачі між SISO та MIMO. Тому, моделювання режимів передачі SISO та MIMO та визначення їх оптимального застосування при певних умовах в бездротових мережах (WiMAX, Wi-Fi) є актуальною задачею.

Основний розділ

MIMO раніше представлялася лише як технологія рознесенного прийому (маємо одну передавальну і N прийомних антен). Принцип обробки був простий: в двох прийомних гілках порівнювалось відношення сигнал / шум і відповідно до оцінки цього значення кожній гілці обробки призначалися вагові коефіцієнти, які відіграють роль при прийнятті рішення, грубо кажучи, що було передано: 0 або 1. Ця система так і була названа критерієм оптимального вагового складання (MRC).

Властивості системи зв'язку можна описати 2 пунктами: завадостійкість (ЗС) і пропускна здатність (ПЗ). Незважаючи на те, що сьогодні ми все міряємо швидкостями передачі (пропускна здатність - максимальна швидкість забезпечується системою зв'язку) на чільне місце поставлено саме достовірність передачі (показник: ймовірність помилки).

У будь-якій системі завжди існує механізм обміну ПЗ на ЗС. Саме тому при різкому погіршенні умов передачі (ви пішли з планшетом з кабінету на кухню) ви помітите в своєму браузері не повідомлення про помилку, а відчутне зниження швидкості. MIMO зробило здавалося неможливе: не змінюючи смугу

частот, енергетику сигналів, тільки за рахунок фізичного збільшення кількості антен і ускладнення методів обробки вдалося збільшити теоретичну ПЗ і ЗС систем зв'язку в рази[4].

У системах MIMO сигнал на приймачі після проходження через радіоканал є сумою добутку вихідного сигналу і деякої комплексної передавальної функції (КПФ) та шуму. Завмирання які виникають в радіоканалі якраз і складають КПФ. Закон розподілу КПФ, як випадкової величини, визначає наявність прямої видимості між передавачем і приймачем і фактори, які впливають на багатопроменеве поширення сигналу (стіни в квартирі, будинки в місті і т.д.)[4].

Так як в системі присутні кілька антен, то шляхи які проходять сигнали з різних антен теж різні, отже різними будуть і їх КПФ для кожної пари передавач-приймач. Це принципово важливий момент. Виходячи зі структури системи КПФ всі її підканали можна звести в матрицю.

Виходить що кожен канал має свої характеристики, які відрізняються від сусідніх, отже сигнал, який передається через нього можна однозначно відокремити від сигналів переданих по інших каналах, переданих в цій же смузі частот.

Алгоритми прийняття рішення MIMO досить непрості, але всі вони побудовані на знанні КПФ на приймачній стороні. Але як це реалізувати, якщо на певній частоті ми передаємо інформацію, а це випадкова величина? Найефективніше рішення - введення в структуру сигналу пілотів - сигналів із заздалегідь відомими параметрами за допомогою яких можна проводити оцінку каналу[4].

У системах радіодоступу MIMO з декількома власними просторовими каналами в багатопроменевому каналі можуть використовуватися методи збільшення пропускної здатності на основі перерозподілу потужності в передавальних антенах, що управляються по зворотному каналу, однак у них не передбачені механізми поліпшення показників по ймовірності помилок.

Для моделювання систем MIMO і SISO вибрана ідеальна модель Релеєвського каналу. Для моделювання системи MIMO був обраний алгоритм блочного просторово-часового кодування по схемі Аламоуті[1, 2].

Модель сигналу також вибрана сама проста, оскільки якщо брати сигнал OFDM, тоді повинні бути інші умови до моделі каналу, оскільки реальні канали частотно-селективні (КПФ навіть сусідніх піднесучих може мати велику різницю).

Математичне моделювання систем MIMO і SISO проведемо на найпростішому прикладі. У нас є 2 антени на передачу і одна на прийомі.

Проходячи шлях від передавача(T) до приймача (R) радіохвиля загасає (втрачає в енергетиці), причому те наскільки вона втратить залежить від того, чи є між передавачем і приймачем зона прямої видимості(рис.1). Якщо вона є, то основна вина за втрати лягає на втрати середовища поширення, якщо прямої видимості немає, то, стикаючись з різними перешкодами хвиля йде до пункту призначення кількома шляхами (багатопроменеве поширення) і відповідно кожен промінь проходить різну відстань. На прийомі всі ці промені можуть складатися в протифазі, що додатково знижує інтенсивність сигналу, що змушує рівень сигналу постійно «плавати». Тому в зоні невпевненого прийому мобільні телефони ніяк не можуть визначитися скільки «паличок сигналу» показувати.

Все це є завмираннями. Бувають вони різними і можуть описуватися різними законами. При наявності постійної компоненти (наявності прямої видимості) підійде розподіл Райса, а при її відсутності - Релеєвське(окремий випадок). У каналу є комплексна передавальна функція каналу (яка визначає його ФЧХ і АЧХ), причому різна для кожного моменту часу для кожного з прийнятих сигналів. Сигнали для кожної з прийомних антен проходять різні шляхи.

Представлена система кодування в каналі MIMO (2x1). Схема має дві передаючих антени і одну прийомну (рис. 1).

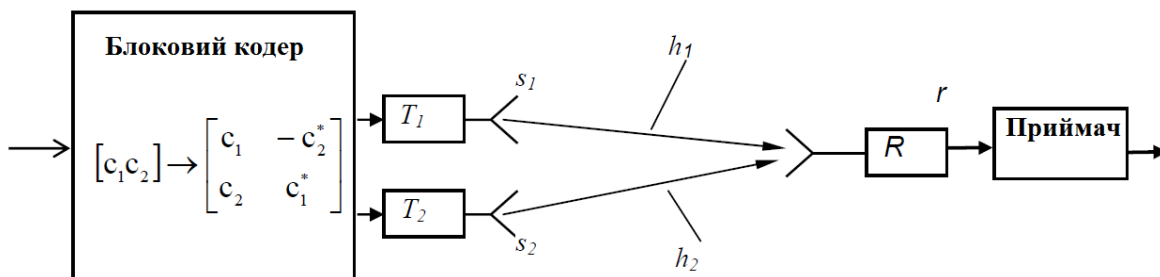


Рис. 1. Система кодування в каналі MIMO

Відповідно до методу просторово-часового кодування[2, 3], вхідний потік даних розбивається на пари [c1, c2], причому, на першому напівтактовому інтервалі символ c1 передається через антену T1, а символ c2 передається через антену T2. На другому напівтактовому інтервалі порядок передачі змінюється: через антену T1 передається інверсія символу c2(на малюнку позначений, як $-c_2^*$), а символ c1 передається через антену T2 (на малюнку позначений, як c_1^*).

Правило розташування символів c у вигляді матриці в структурі кодера на рис.1 і є блоковий код

Alamouti.

Даний алгоритм зручно представити в вигляді матриці, де номер рядка буде відповідати номеру передавача, а номер стовпчика - номеру напівтакту (в загальному випадку - крок такту) передачі[1]:

$$H = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 \\ -c_2^* & c_1^* \end{bmatrix} \quad (1)$$

В результаті на вході ми отримуємо 2 сигнали (мультиплікативні відгуки за перший і другий такт), провівши ряд математичних перетворень ми отримуємо вихідний сигнал, а точніше пару цих сигналів. Тобто кожен з цих сигналів передавався 2 рази[3].

Кодова швидкість тут дорівнює 1, тобто дана схема не дає вигоди за швидкістю передачі даних, але може використовуватися для запобігання негативним впливам замирань (тут передбачається, що обидві антени не можуть одночасно перебувати в «поганих» з точки зору перешкод положеннях). Декодування відбувається за схемою максимальної правдоподібності.

Проведемо моделювання і подивимось вигоди MIMO перед SISO. Аналіз проводився в середовищі Matlab при наступних вхідних даних: кількість передавальних антен - 2; кількість приймальних антен - 1; типи модуляції: КАМ-4, КАМ-16, КАМ-32, КАМ-64, КАМ-128, КАМ-256(на графіках представлені результати для двох типів модуляції КАМ-4, КАМ-128); кількість символів, які передаються в каналі $n = 1\,000\,000$; діапазони відношення сигнал/шум(ВСП): від -10 до 0, від 10 до 35 дБ.

На рис. 2 представлені залежності ймовірності біткової помилки від відношення сигнал / шум в діапазоні від 10 до 35 дБ при різних типах модуляції, кількість символів, які передаються в каналі $n = 1\,000\,000$:

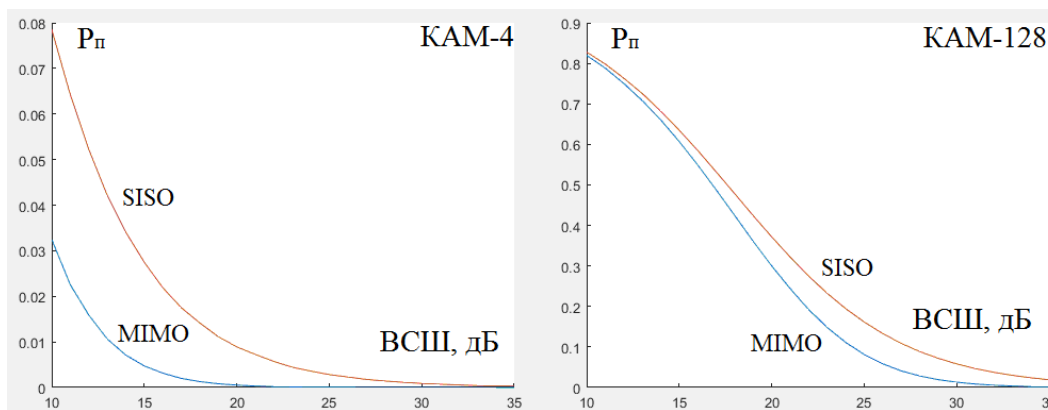


Рис. 2. Ймовірності біткової помилки від відношення сигнал / шум

Як видно з представлених вище графіків (рис.1) ймовірність біткової помилки значно нижча у систем MIMO. Наприклад, при ймовірності біткової помилки $P_{\text{п}} = 0,005$ (модуляція КАМ-4) вигода складає більше 10 дБ, і це значна різниця. Причому зі збільшенням позиційності КАМ зменшується вигода у завадостійкості, що пов'язано зі зменшенням Евклідової відстані між сигнальними точками. Тому, потрібно збільшувати енергетичні витрати на компенсацію можливих втрат інформації, викликаних амплітудно-частотними спотвореннями. Також, ми бачимо що ймовірність біткової помилки знижується зі збільшенням ВСП.

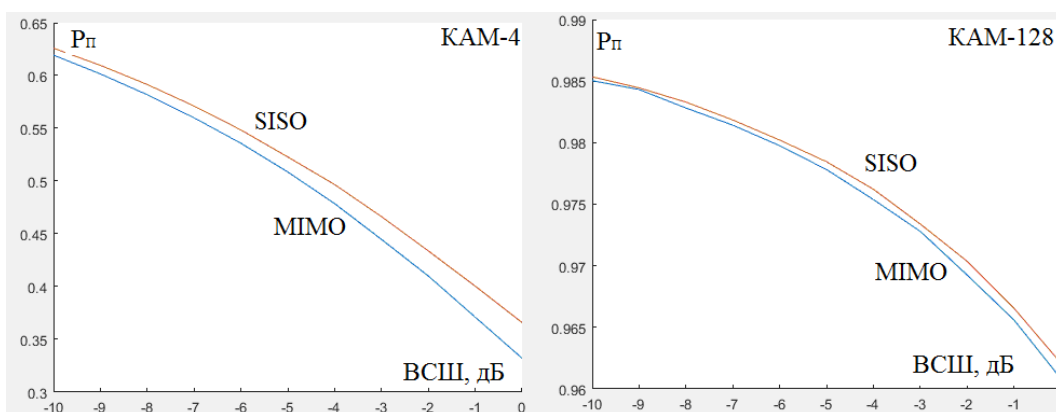


Рис. 3.

Тому нами були проведені дослідження залежності ймовірності біткової помилки від ВСП в

діапазоні -10 до 0 дБ. На рис. 3 представлені залежності ймовірності бітової помилки від відношення сигнал / шум в діапазоні від -10 до 0 дБ при різних типах модуляції, кількість символів, які передаються в каналі $n = 1\ 000\ 000$:

Як видно з представлених вище графіків (рис.2) ймовірність бітової помилки при від'ємному відношенні сигнал шум практично однакова у систем MIMO та SISO, і суттєвої переваги при такому ВСШ у систем MIMO не спостерігається.

Висновок:

Застосування технології MIMO при побудові бездротових систем (WiMAX, Wi-Fi) має, як переваги так і недоліки. Система MIMO в порівнянні зі схемою SISO має підвищену стійкість до виникнення бітових помилок в наслідок завмирань в радіоканалі. Ймовірність бітової помилки знижується зі збільшенням ВСШ. В такому випадку виграш для ймовірності помилки $P_n = 10^{-3}$ може бути більше 10дБ. Але при від'ємних ВСШ ймовірність бітової помилки у систем SISO та MIMO практично однакова і вже не має такої суттєвої переваги у систем MIMO. Також дуже чутливими виявилися системи MIMO до збільшення позиційності модуляції. Зі збільшенням позиційності КАМ зменшується виграш у завадостійкості у систем MIMO. Тому, при використанні високої позиційності модуляції, та низького ВСШ сміливо можна використовувати системи SISO, які володіють такими перевагами, як менші габаритні розміри, менша вартість, менша потужність.

Література

1. Alamouti S.M. Space-time block coding: A simple transmitter diversity technique for wireless communications. – IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Oct. 1998, vol. 16, p.1451–1458
2. Alamouti S. M. A Simple Transmit Diversity Technique for Wireless Communications / IEEE J. Select. Areas Communication. –Vol. 16. No. 8.– 1998.– P. 1451 - 1458.
3. Банкет В.Л. Методи просторово-часового кодування для систем радіосвязи / В.Л. Банкет, Н.В. Незгазінська, М.С. Токар // Цифрові технології "ОНАЗ ім. Попова". – Одеса. : Вид-во ОНАЗ. – №6. – 2009. – С. 5-16.
4. Бакулин М.Г.Технология MIMO: принципы и алгоритмы /М.Г. Бакулин , Л.А. Варукина, В.Б. Крейнделін // . - М.: Горячая линия - Телеком, 2014. - 244 с.

Рецензія/Peer review : 24.11.2016 р.

Надрукована/Printed : 15.12.2016 р..

Стаття рецензована редакційною колегією