

Макаренко А.О., д.т.н.; Лавренко А.С., студент; Козлов Б.С., студент;
Андрюк О.М., студент; Казмирчук М.Г., студент

МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕЗПРОВОДОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ

Makarenko A.O., Lavrenko A.S., Kozlov B.S., Andriuk O.M., Kazmyrchuk M.H. Methods of improving the efficiency of working wireless telecommunication networks.

The following are methods for transmitting multiple signals in MIMO systems. Such as multiplexing, separation of the signal for reception and transmission, adaptive transmission, and also shows how they can increase. The main method of increasing bandwidth in MIMO systems is multiplexing, that is, the parallel transmission of several streams of information from different antennas. Separate cases of MIMO are transmission systems, where one receiver or transmitter uses one antenna. These are called Multiple-input single-output (MISO) and Single-input multiple-output (SIMO) systems. Considered work from the point of view of 802.11 Wi-Fi, though, these methods are also used in other wireless standards (LTE, 802.16 WiMAX).

Keywords: Multiple-input multiple-output (MIMO), multiplexing, adaptive transmission, beamforming, Wi-Fi.

Макаренко А.О., Лавренко А.С., Козлов Б.С., Андрюк О.М., Казмирчук М.Г. Методи підвищення ефективності роботи безпроводових телекомунікаційних мереж.

У статті наведені дослідження про методи множинної передачі сигналу в системах MIMO. Такі як мультиплексування, рознесення сигналу на прийом та передачу, адаптивну передачу, а також описано який приріст вони можуть дати. Порівняно множинну та адаптивну передачу. Розглянуто роботу з точки зору 802.11 Wi-Fi, зазначені методи використовуються і в інших бездротових стандартах (LTE, 802.16 WiMAX).

Ключові слова: Multiple-input multiple-output (MIMO), мультиплексування, адаптивна передача, beamforming, Wi-Fi.

Макаренко А.А., Лавренко А.С., Козлов Б.С., Андрюк А.М., Казмирчук М.Г. Методы повышения эффективности работы беспроводных телекоммуникационных сетей.

Показаны исследования о методах множественной передачи сигнала в системах MIMO. Такие как мультиплексирование, разнесение сигнала на прием и передачу, адаптивную передачу, а также показано какой прирост они могут дать. Показано сравнение множественной и адаптивной передачи. Рассмотрена работа с точки зрения 802.11 Wi-Fi, указанные методы используются и в других беспроводных стандартах (LTE, 802.16 WiMAX).

Ключевые слова: Multiple-input multiple-output (MIMO), мультиплексирование, адаптивная передача, beamforming, Wi-Fi.

Вступ

В останній час одна з ключових технологій для розвитку бездротових мереж є технологія MIMO. Multiple Input Multiple Output або MIMO, це множинний обмін даними який працює як на прийом так і на передачу з використанням декількох передавачів.

У технології MIMO головним завданням є збільшення пропускної здатності бездротового каналу та якості зв'язку. Багато інших радіотехнологій використовують нову бездротову технологію MIMO, щоб забезпечити підвищену пропускну здатність і спектральну ефективність у поєднанні з підвищеною надійністю зв'язку [1 - 4].

Головним методом збільшення пропускної здатності в системах MIMO є мультиплексування, тобто паралельна передача декількох потоків інформації з різних антен. Окремими випадками MIMO є системи передачі, де на приймачі або передавачі використовується одна антена. Називаються такі системи Multiple-input single-output (MISO) та Single-input multiple-output (SIMO) [3]. У них не можна організувати паралельну передачу декількох потоків інформації, проте можна використовувати додаткові антени для підвищення якості прийому або передачі сигналу. В описі точок доступу різних виробників

ми можемо дізнатися скільки передавальних і приймальних антен є на пристрої, скільки просторових потоків MIMO воно підтримує. Наприклад, це може бути значення 3x4: що означає 3 передавача, 4 приймача і 3 просторових потоку. Крім цих параметрів можна зустріти такі аббревіатури або позначення, як MRC, STBC, CSD тощо. Всі ці технології також спрямовані на поліпшення якості сигналу.

Викладення основного матеріалу дослідження

Просторове мультиплексування (MIMO SDM)

Ключовою перевагою MIMO є можливість передавати кілька незалежних інформаційних потоків з різних антен на одному каналі. Це дозволяє кардинально збільшити пропускну здатність бездротового каналу. Технологія називається просторове мультиплексування, або SDM (Spatial Division Multiplexing). Основною умовою для роботи MIMO SDM є багатопроменеве поширення сигналу. Якщо ми відправимо дані з двох антен, при прямій видимості сигнал прийде до одержувача одночасно, і ми отримаємо їх накладення (інтерференції). А значить зробимо тільки гірше. Але якщо при проходженні сигнал відбивається, заломлюється і т.п., одержувач може розпізнати (скорелювати) сигнал що прийшов для різних потоків. Потім, одержувач обчислює поточний стан каналів передачі (потоків) для кожної з передавальних антен на основі попередньої калібрування. І далі за допомогою математичних перетворень, відновлює вихідні потоки. У разі MIMO відправник не знає про стан каналу, тобто він ніяк не оптимізує сигнал при передачі. Точка доступу і клієнт передають певну кількість потоків, яка підтримується двома сторонами. Наприклад, якщо клієнт підтримує тільки один потік, точка доступу теж буде передавати один єдиний потік (рис. 1).

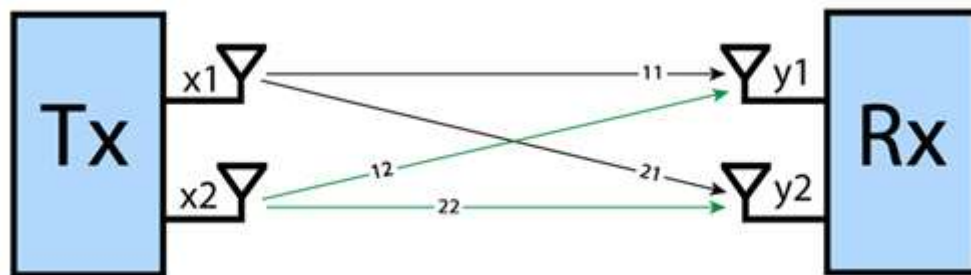


Рис. 1. Схема роботи MIMO

Варто відзначити, що при передачі декількох потоків (та й взагалі при одночасній передачі з декількох антен) загальна випромінювана потужність ділиться на кількість передавальних антен. Наприклад, якщо ми передаємо сигнал одночасно з двох антен, то потужність сигналу для кожної з них буде в два рази менше максимальної. Однак, в даному випадку ми передаємо інформацію за двома або більше каналами одночасно. Також, за рахунок спільного використання SDM і множинної передачі можна збільшити значення SNR (відношення сигнал-шум) на приймачі.

Системи MIMO продовжують розвиватися і в стандарті 802.11ac реалізована множинна одночасна передача в режимі MIMO декількома клієнтами. Тобто, якщо є два клієнта, що підтримують один і два потоки, система MU-MIMO буде передавати їм сигнал одночасно [1]. Працює технологія тільки в напрямку від точки доступу до клієнта. Точки доступу дозволяють працювати з трьома клієнтами MU-MIMO і передавати до трьох потоків (сумарно). Технологія MU-MIMO вимагає підтримки і на точці доступу і на клієнтському пристрої. Також вона вимагає додаткових обчислень на точці доступу і накладає певні умови

при використанні. Наприклад, її робота неможлива без попереднього калібрування і адаптивної передачі (Explicit Transmit Beamforming).

Розвиток механізмів множинної передачі/прийому призвело до збільшення кількості антен на 802.11n - пристроях. Сьогодні для точок доступу корпоративного рівня (802.11n/ac) вже стало стандартом наявність 3-4 антен. При цьому, кількість просторових потоків часто менша за кількість антен.

Об'єднання сигналів (MRC)

MRC дозволяє поліпшити значення SNR для вхідного сигналу (від клієнта до пункту доступу). MRC корисний, коли не-MIMO-радіостанція передає на MIMO-приймач і виникає багатопроменеве поширення. Алгоритм MRC фокусується на сигналі з найвищим рівнем SNR; проте, він все ще може об'єднувати інформацію з більш гучних сигналів. Кінцевий результат полягає в тому, що відбувається менше пошкодження даних, оскільки відновлюється найкраща оцінка вихідних даних. Якщо на точці доступу є додатковий вільний приймач, вона складає отриманий на цьому приймачі сигнал з іншими. Так як на приймачі вже є інформація про поточний стан каналу передачі, він може обчислити сигнали (на кожній з приймальних антен), провести їх вирівнювання та оптимальне складання, отримавши краще співвідношення сигнал-шум. Порівняння результатів для одного і декількох потоків з додатковими антенами і без показує, що MRC в деяких випадках дозволяє суттєво збільшити значення SNR, а значить збільшити і швидкість передачі, дальність дії точки доступу. MRC використовує функцію комбінування прийому, яка оцінює фазу і SNR кожного вхідного сигналу. Кожен прийнятий сигнал зрушений по фазі, так що вони можуть бути об'єднані. Амплітуда сигналів, що надходять також змінюється, щоб сфокусуватися на сигналі з найкращим SNR. MRC працює тільки на точці доступу для поліпшення вхідного сигналу від клієнта. Технологія може використовуватися спільно з іншими - CSD, SDM, STBC (рис. 2).

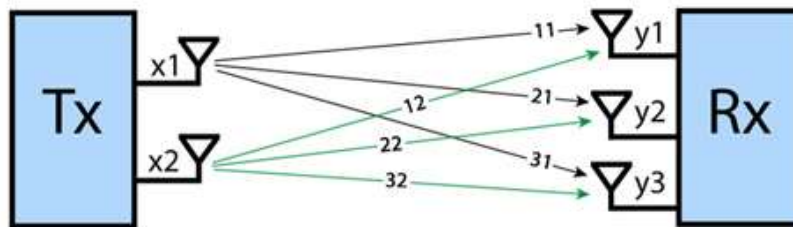


Рис. 2. Схема роботи MRC

Рознесена передача (CSD/SE)

Технологія Cyclic Shift Diversity (CSD) дозволяє передати копії одного сигналу з додаткових вільних антен. Робиться це по черзі з невеликим інтервалом (200 нс). Якщо передати копії одного сигналу одночасно з декількох антен (потужність ділиться), отримати кращий сигнал на прийомі не вдасться. Якщо ж передати сигнал незалежно з невеликим інтервалом з кожної з антен, можна отримати рознесення сигналу на прийомі, а значить поліпшити сигнал (рис. 3). Приймач у свою чергу за певним критерієм вибирає найкращий сигнал. Метод рознесеної передачі досить старий і не дуже зручний для розпізнавання на приймачі (вимагає обчислювальної потужності, погано масштабується). Однак, він підтримується на точках доступу і працює з клієнтами попередніх поколінь - 802.11a/g. У сучасних стандартах (802.11n і далі) використовується механізм STBC або адаптивна передача (Beamforming).

Критерії (CSD):

- На відміну від STBC, сигнал від передавача, який використовує CSD, може бути отриманий застарілими пристроями 802.11g і 802.11a.
 - Для розгортання змішаного режиму, де 802.11n співіснує з пристроями 802.11g і 802.11a, існує необхідність в способі передачі символів в OFDM за кількома передавальними антенами.
 - Використовується CSD, і до кожного з переданих сигналів застосовується циклічна затримка.
 - Затримки розраховуються для мінімізації кореляції між декількома сигналами.
 - Традиційна система буде обробляти множинні прийняті сигнали як багатопроменеві версії одного і того ж сигналу.
 - Циклічна затримка вибирається так, щоб вона перебувала в межах захисного інтервалу (GI) та не викликала надмірних міжсимвольних перешкод (ISI) [3]
- Просторово-часове блочне кодування (STBC)

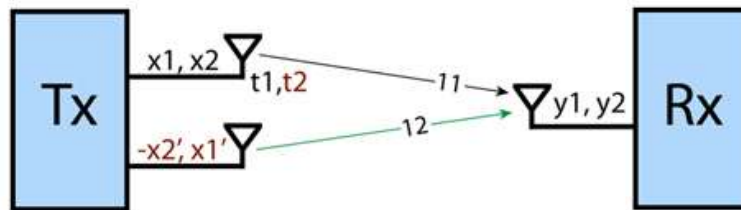


Рис. 3. Схема роботи STBC

STBC - це метод, який використовується в бездротовому зв'язку для передачі декількох копій потоку даних через кілька антен і використання різних прийнятих версій даних для підвищення надійності передачі даних. Той факт, що сигнал який передається повинен перетинати потенційно важку середу з розсіюванням, відображенням, заломленням і т.д., а потім може бути додатково спотворений тепловим шумом в приймачі, це значить, що деякі з отриманих копій даних будуть «краще», ніж інші. Ця надмірність призводить до більш високої ймовірності використання однієї або декількох прийнятих копій для правильного декодування прийнятого сигналу. Фактично, просторово-часове кодування об'єднує всі копії прийнятого сигналу оптимальним чином, щоб отримати якомога більше інформації з кожного з них. STBC - дозволяє передавати різні сигнали одночасно з декількох антен за кілька тактових інтервалів. Для передачі використовується схема Аламоуті. Для найпростішого випадку 2x1, ця схема дозволяє за два інтервалу часу передати два сигнали два рази. На двох інтервалах з різних антен передається один із сигналів і комплексне сполучення іншого сигналу. Таким чином, ми отримуємо рознесення сигналів за часом і простором (два сигнали проходять різними шляхами), збільшуючи результуючий сигнал на прийомі. [1] З точки зору прийому, метод STBC є досить зручним, тому що не вимагає великої обчислювальної потужності. Як можна здогадатися, STBC не працює одночасно з CSD. На противагу MRC, який ми розглянули раніше, STBC дозволяє нам поліпшити якість сигналу від точки доступу до клієнта. Теоретично, підтримується робота в режимах більш високих порядків або для декількох потоків (наприклад, в режимі 2x1 для двох потоків з чотирма передавальними антенами). STBC може використовуватися одночасно з MIMO SDM.

При порівнянні систем 2:1 і 1:2 для STBC і MRC при однаковій потужності з двох сторін STBC буде давати менший результат. Пов'язано це з тим, що при передачі сигналу з двох

антен потужність ділитися на два (-3 dB). При прийомі ж точка доступу отримує сигнал, відправлений на повній потужності. Тобто різниця між STBC і MRC в режимі два приймача або передавача становить не менше 3 dB [2].

Всі методи, які ми розглядали до цього ґрунтувалися на обробці сигналу на приймальній стороні. Тобто при передачі інформації саме приймач становив матрицю каналу зв'язку для вхідного сигналу з кожного з передавачів. Передаюча ж сторона не мала сигнал на антенах між собою, тобто відправляла сигнал "наосліп".

При адаптивній передачі (802.11ac Explicit Beamforming) основний акцент робиться на визначенні стану каналу на передавачі, щоб відправити сигнал з оптимальними фазово-амплітудними характеристиками. Іншими словами, відправити сигнал з декількох антен таким чином, щоб на приймальній стороні отримати найкращу якість. У стандарті 802.11ac був реалізований підхід з отриманням калібрувальної інформації від приймача. Процес калібрування виглядає наступним чином (рис. 4):

1. Точка доступу формує і відправляє спеціалізований кадр (Null Data Packet Announcement - NDPA) для оповіщення клієнта. У ньому міститься інформація про кількість передавачів, кількості потоків та інші супутні дані.

2. Далі клієнту відправляється Null Data Packet (NDP). Це робиться для того, щоб клієнт, аналізуючи інформацію в заголовках на фізичному рівні, зміг сформуванати звіт про здобутий сигнал і відправити його назад точки доступу.

3. Клієнт аналізує отриманий (на всіх антенах) сигнал по кожній піднесучій і формує матрицю спрямованості з певною амплітудою і фазою. Дана матриця займає досить великий обсяг (особливо з урахуванням ширини каналів в 11ac), тому відповідь відправляється в стислому вигляді.

4. Одержувач (точка доступу) на підставі отриманої від клієнта інформації формує діаграму спрямованості [2].

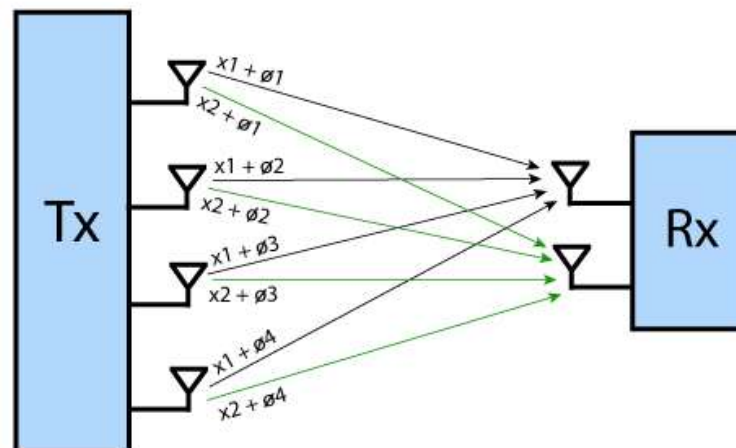


Рис. 4. Адаптивна передача 802.11ac

Формування діаграми спрямованості відбувається наступним чином: кожна антенна починає передавати якусь суперпозицію всіх просторових потоків з певними коефіцієнтами (фаза, амплітуда). Причому коефіцієнти для кожного потоку на кожній антенні будуть свої.

Варто звернути увагу, що реальний виграш від технології формування діаграми спрямованості ми отримуємо тільки в тому випадку, якщо кількість антен на передачу у нас перевершує кількість передаючих просторових потоків.

Крім того, використання адаптивної передачі дозволяє розподіляти потужність між різними потоками (наприклад, збільшити потужність для потоків кращим SNR).

Висновки

В статті розглянуто різні методи множинної передачі сигналу в системах MIMO (Wi-Fi) - мультиплексування, рознесення сигналу на прийомі і передачі, адаптивну передачу, а також показано який приріст вони можуть дати. Порівняно множинну та адаптивну передачу. Розглянуто роботу з точки зору 802.11 Wi-Fi, зазначені методи використовуються і в інших бездротових стандартах (LTE, 802.16 WiMAX). В реальних умовах буде спостерігатися більш комплексна картина. Додаються додаткові фактори, що впливають на роботу бездротової мережі (відстань до клієнта, кількість клієнтів, навантаження на канал, підтримувані клієнтом методи передачі та ін.). Точка доступу на основі вбудованих алгоритмів вирішує які методи передачі використовувати в той чи інший момент часу.

Список використаної літератури

1. Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделін В.Б. Технология MIMO: принципы и алгоритмы // М.: Горячая линия - Телеком, 2014 - 244с.
2. Eldad Perahia, Robert Stacey Next Generation Wireless LANs // Cambridge University Press, 2013, 416 с.
3. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. // 3-е изд. - СПб.: Питер, 2006. - 958 с.
4. Овдій Д.О. Методи оптимізації обміну даними в мережах Wi-Fi / Д.О. Овдій, Я.О. Осадчий // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. - 2019. - №2. - С. 64-69.

Автори статті

Макаренко Анатолій Олександрович – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри Мобільних та відеоінформаційних технологій, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Лавренко Андрій Сергійович – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Козлов Богдан Сергійович – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Андриук Олександр Миколайович – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Казмирчук Максим Григорович – студент, Державний університет телекомунікацій, Київ, Україна.

Authors of the article

Makarenko Anatoliy Oleksandrovyich – doctor of Science (technic), associate professor, professor of Department of Information and communications technology, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Lavrenko Andrii Serhiiiovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kozlov Bohdan Serhiiiovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Andriuk Oleksandr Mykolaiovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Kazmyrchuk Maksym Hryhorovych – student, State University of Telecommunications, Kyiv, Ukraine.

Дата надходження в редакцію: 22.08.2019 р.

Рецензент: д.т.н., доцент А.П. Бондарчук