

ВИКОРИСТАННЯ MIMO-СИСТЕМ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

Дрововозов В. І., Хемраєв А. К.

Національний авіаційний університет
madeandre@mail.ru

Запропоновано використання системи зв'язку за принципом MIMO для підвищення пропускної спроможності бездротових мереж. Для зниження рівня похибок і підвищення надійності зв'язку в імпульсній MIMO-системі критичного застосування розглянуто використання кодування Аламоуті.

It is suggested to use communication networks on principle of MIMO for the increase of carrying capacity of wireless networks. For the decline of level of errors and increase of reliability of connection in the impulsive MIMO-system of critical application it is suggested to use the code of Alamouti.

Постановка проблеми

Більшість бездротових систем використовують всенаправлену антену, що забезпечує якісний обхват простору, але не концентровану електромагнітну енергію передавача на цільового користувача. Це означає, що енергія сигналу відбивається і розсіюється навколишніми об'єктами і компоненти сигналу досягають приймача з різницею в часі, що перевищує допустиму. Виходячи з того, що WLAN використовують неліцензійну смугу частот, у ній можуть працювати й інші пристрої, що призводить до перешкод. Таким чином, проблема полягає в тому, щоб створити високопродуктивний і надійний канал передавання даних, який зміг би функціонувати при необхідних обмеженнях на потужність випромінювання, значному загасанні сигналу, викликаному багатопроменевим віддзеркаленням, і перешкодах, що створюються іншими джерелами радіовипромінювання.

Бездротові технології широко використовуються у сфері обчислювальних мереж і комунікацій. Це зумовлено новими розробками в таких напрямках: поліпшення ефективності антенних систем, схем модуляції, механізмів управління доступом до середовища. Зростає необхідність у підвищенні продуктивності бездротової мережі. Необхідно максимально розширити сфери використання бездротових мереж за появи нових додатків. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є підвищення надійності телекомунікаційних систем критичного застосування шляхом використання технології MIMO для організації процесу обміну даними в бездротових мережах.

Сучасні обсяги і потоки передачі інформації потребують підвищення надійності передавання даних. У зв'язку зі поширенням різних бездротових засобів зв'язку, все більшу увагу привертає розвиток бездротових телекомунікацій. Перспективи у вирішенні завдання підвищення пропускної спроможності і підвищення стійкості зв'язку останнім часом покладають на розвиток технології MIMO (*Multiple Input — Multiple Output*, система зв'язку з множинним входом і множинним виходом) [1—4].

Постійна вдосконалюваність способів передачі інформації по цьому принципу, ухвалення стандартів IEEE 802.16-2004, 802.16e, а також 802.11n свідчить про актуальність такого напрямку.

MIMO — це технологія бездротової передачі даних, суть якої полягає в тому, що єдиний потік даних розбивається на декілька і передається по незалежних каналах одночасно.

Використання такої технології в бездротових мережах вирішує такі кардинальні проблеми, як інтерференція, що постійно збільшується, обмежена смуга пропускання і недостатній радіус дії. Крім того, передача інформації паралельно по декількох каналах підвищує надійність і відмовостійкість зв'язку.

Цілі

Мета статті — викладання нового принципу формування сигналів у MIMO-системі, що дає змогу підвищити надійність і пропускну спроможність таких систем, а також можливого способу додаткового підвищення надійності зв'язку в телекомунікаційних мережах критичного застосування.

Аналіз існуючих реалізацій MIMO-систем

До систем MIMO можна віднести будь-яку технологію, яка ґрунтується на використанні багатоканальних антенних систем у пристроях по обох боках радіолінії.

Отже, поєднання різноманітних способів передачі і прийому, в яких декілька антен (передатвальних і приймальних), може бути визначене як MIMO-метод. Проте існуючі реалізації систем MIMO [1] поки прискорюють швидкість передавання даних на незначні показники і неспроможні передавати дані на великі відстані [3].

Разом з тим MIMO-принцип дає змогу зменшити кількість помилок при радіообміні даними (BER) без зниження швидкості передачі в умовах множинних перевідображень сигналів [3]. При цьому багатоелементні антенні пристрої забезпечують:

- розширення зони покриття радіосигналами і згладжування в ній «мертвих зон»;

- використання декількох шляхів розповсюдження сигналу, що підвищує вірогідність роботи по трасах, на яких менше проблем із завмираннями і т. п.;

- збільшення пропускної спроможності ліній зв'язку за рахунок формування фізично різних каналів (розділених просторово, за допомогою ортогональних кодів, частот, поляризаційних мод).

Нині у системах *MIMO* застосовуються переважно варіанти *OFDM*-модуляції сигналів [3], які є пакетами щодо протяжних у часі ортогональних за частотою радіоколивань. Такі рішення мають наступні недоліки:

- необхідність ортогональності частот носійних сигналів;

- порівняно високі вимоги до миттєвого динамічного діапазону каналів, що передають.

Спосіб підвищення надійності зв'язку в *MIMO*-системах

Завданням досліджень є подальше підвищення пропускної спроможності і збільшення дальності зв'язку в *MIMO*-системах з одночасним підвищенням інформаційної надійності телекомунікаційних систем.

На відміну від відомих реалізацій, пропонується використовувати новий підхід у формуванні сигналів у системі *MIMO* [4; 5], який полягає в передаванні кожним парціальним елементом цифрових антенних ґрат (ЦАГ) пакетів імпульсних сигналів, що взаємно перекриваються в часі. Фактично йдеться про імпульсну *MIMO*-систему.

На рис. 1 показано запропонований (рис. 1, *a*) і традиційний (рис. 1, *б*) способи формування сигналів.

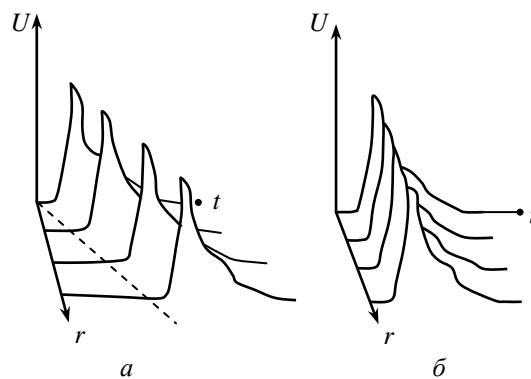


Рис. 1. Принцип формування імпульсних сигналів цифрових антенних ґрат: запропонований (*a*); традиційний (*б*)

У першому випадку (рис. 1, *a*) сигнали в *r* каналах, що передають, формуються в різні моменти часу, але їх взаємне зрушення не перевищує тривалість одиночного імпульсу (на відміну від традиційно використовуваної схеми випромінювання (рис. 1, *б*), де сигнали у всіх *r* каналах випромінюються в один і той же момент часу).

Закони зміни обвідних імпульсів, що формуються в різних каналах, можуть бути однаковими або різними, але в будь-якому випадку вважаються точно відомими [4].

Амплітуди парціальних імпульсів перед випромінюванням піддаються багаторівневою амплітудною або квадратурною амплітудною модуляціям (*M-QAM*). При цьому, на відміну від *OFDM*, відсутня необхідність в ортогональності частот несучих сигналів, що дає змогу звузити спектральну смугу радіолінії зв'язку. Крім того, знижуються вимоги до миттєвого динамічного діапазону каналів ЦАГ, що передають, оскільки випромінювані імпульси накладаються в часі один на одного не в аналоговому тракту, що передає, а в просторі.

Саме по собі застосування системи *MIMO* підвищує надійність і відмовостійкість зв'язку за рахунок передавання паралельними каналами

однієї і тієї ж інформації. Проте, оскільки в запропонованому способі формування сигналів кожен канал додатково ущільнюється і передає свою, що не повторюється в інших каналах інформацію, необхідно передбачити способи підвищення надійності передаваної таким чином інформації. Крім того, швидкість передачі в системі *MIMO* підвищується в першу чергу за рахунок зниження рівня похибок [3]. Унаслідок цього, виникає питання додаткового підвищення надійності передаваної інформації.

Як варіант, можлива передача в *M*-канальний ЦАГ кожним *i*-м ($i = 1, 2, \dots, M/2$) антенним каналом корисної інформації відповідно до запропонованого в працях [4; 5] способом для прискорення передавання повідомлення, а *j*-м ($j = M/2 + 1, M/2 + 2, \dots, M$) каналом — дублюючої інформації для зниження рівня похибок і, як наслідок, знову ж таки підвищення швидкості передачі.

Для імпульсної схеми модуляції пропонується застосовувати кодування Аламоуті [3; 7]. Запропоноване Аламоуті розділення сигналів на приймальній стороні системи *MIMO* належить до класу просторово-часового блокового кодування (*OSTBC, orthogonal space-time block codes*). Принцип кодування за Аламоуті полягає в тому,

що послідовність символів розбивається на пари x_i і x_{i+1} . Зазвичай для передавання такого блоку потрібно два випромінювачі і два інтервали передачі. У запропонованому варіанті замість двох незалежних інтервалів передачі використовується амплітудна модуляція квадратури в кожному каналі пари імпульсних радіосигналів, наступних зі взаємним накладенням у часі, що передаються.

Перший імпульсний радіосигнал антени, що передається, буде модульований символом x_i , тоді другий — сигналом x_{i+1} . Наступний імпульс випромінюваної пари сигналів антени передасть символ x_{i+1}^* , а випромінювач відповідно x_i^* .

Знак * означає комплексне сполучення:

якщо $x_i = a_i + jb_i$, то $x_i^* = a_i - jb_i$. Фізична суть таких маніпуляцій з випромінюваними сигналами стає зрозумілою, якщо скористатися їх математичним представленням:

$$x_i = a_i + jb_i; x_{i+1} = a_{i+1} + jb_{i+1};$$

$$x_i^* = a_i - jb_i; x_{i+1}^* = -a_{i+1} + jb_{i+1}.$$

Зауважимо, що в фазі синфазності сигналів у першому тимчасовому інтервалі, в другому вони обов'язково будуть у протифазі, і навпаки. Якщо ж фази сигналів у першому інтервалі ортогональні (різниця 90°), то такими вони залишаться і в другому слоті передачі, з тією лише різницею, що випередження фази випромінювання по черзі виникатиме то на першій, то на другій антенах. Коли антенна система, що передає, складається з двох несиметричних вібраторів, результуюча діаграма спрямованості (ДС) істотно залежить від співвідношення фаз вхідних сигналів (рис. 2).

У загальному випадку результуюча ДС відхиляється від нормалі до лінії, що сполучає вібратори, у бік елемента, на якому фаза сигналу запізнюється.

Таким чином, максимум енергії імпульсної сигнальної суміші МІМО, що кодується за Аламоуті, випромінюється кожного разу в різних напрямках, причому різних для кожної нової переданої пари символів залежно від різниці фаз сигналів. Це підвищує вірогідність їх проходження з урахуванням наявності множинних перевідображувачів.

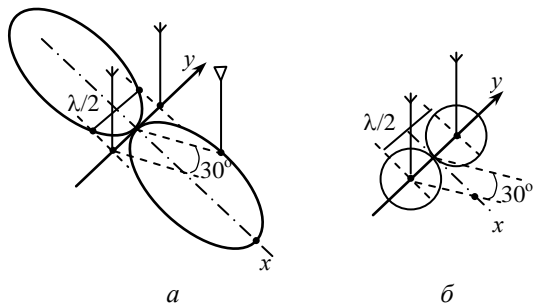


Рис. 2. Зміна орієнтації максимумів випромінювання системи з двох вібраторів залежно від різниці фаз вхідних сигналів:
а — синфазні вхідні сигнали;
б — протифазні вхідні сигнали

Головним обмеженням у застосуванні розглянутого методу кодування — припущення незмінності характеристик каналу не тільки в двох послідовних тимчасових інтервалах, по яких розраховуються передавальні характеристики, але й аж до моменту завершення прийому корисної інформації [3].

З цієї причини просторово-часове кодування Аламоуті для мобільних абонентів супроводжується падінням ефективності передачі.

Слід зазначити, що під символом передачі, в розглянутому випадку може обиратися блок з декількох бітових послідовностей. При цьому замість пари імпульсних сигналів, що перекриваються, може використовуватися їх множинне угруповання.

У разі збільшенні кількості антен, що передають, до чотирьох зручно використовувати розширену схему кодування Аламоуті [2; 3], наведену в таблиці. У ній під номером тимчасового інтервалу слід розуміти номер імпульсу в квадросигнальній змінній, що складається з чотирьох радіоімпульсів, які перекриваються в часі. При цьому загальна кількість випромінюваних в ефір з накладенням у часі сигналів дорівнює 16.

Схема кодування Аламоуті

	Антенa 1	Антенa 2	Антенa 3	Антенa 4
Інтервал 1	x_i	x_{i+1}	x_{i+2}	x_{i+3}
Інтервал 2	x_{i+1}^*	$-x_i^*$	x_{i+3}^*	$-x_{i+2}^*$
Інтервал 3	x_{i+2}^*	x_{i+3}^*	$-x_i^*$	x_{i+1}^*
Інтервал 4	x_{i+3}	$-x_{i+2}^*$	$-x_{i+1}^*$	x_i

Висновок

Запропоновано спосіб інформаційних повідомлень по сусідніх у часі імпульсах, який сприяє підвищенню надійності зв'язку в телекомунікаційних системах критичного застосування і дає змогу звужити спектральну смугу радіолінії, підвищити її пропускну спроможність, що також підвищує надійність і безпеку зв'язку в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. МІМО-технологии: практическое применение. — [Електрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://itc.kiev.ua/article.phtml?ID=22022>.
2. Слюсар В. И. Системы МІМО: принципы построения и обработка сигналов // Электроника: наука, технология, бизнес / В. И. Слюсар. — 2005. — № 8. — С. 52—59.
3. Слюсар В. И., Дубик А. Н. Метод многоимпульсной передачи в системе МІМО // Мат. 2-го Межд. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». — Т. 4. — Х.: ХНУРЕ, 2005. — С. IV-227-231.
4. Слюсар В. И., Дубик А. Н. Способ передачи многоимпульсных сигналов в системе МІМО с на-

ложением их во времени и последующим декодированием на приеме // I Всеукраїнська НПК «Військова освіта та наука: сьогодні та майбутнє» пам'яті професора генерал-лейтенанта С. А. Жукова. — К. : Військовий інститут Київського національного університету ім. Т. Шевченка, 2005. — С. 50—54.

5. Слюсар В. И. Уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов по времени прихода // Радиотехника / В. И. Слюсар, Ю. В. Уткин. — 2003. — № 5. — С. 40—48.

6. 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.

7. Biljana Badic, Markus Rupp, Hans Weinrichter. Adaptive Channel-Matched Extended Alamouti Space-Time Code Exploiting Partial Feedback // ETRI Journal. — 2005. — Vol. 26, N. 5. — [Электрон. ресурс]. — Режим доступа : <http://etrij.etri.re.kr>.

Стаття надійшла до редакції 13.01.10.