

МОДЕЛЬ БАГАТОСТІЛЬНИКОВОЇ МЕРЕЖІ З МІМО - КООПЕРАЦІЄЮ

Афанасьєва Л.О., Кравчук І.М., Кравчук С.О.

Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», Україна

E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com

Model of Multi-Cell MIMO Cooperative Network

An overview of the different possible levels of cooperation are presented. The models for the network and signals and the way that information is exchanged between the cells are considered.

Схеми звичайного рознесення та ретрансляції значно покращують продуктивність та надійність на каналному рівні, але мало ефективні щодо якості обслуговування користувачів, що знаходяться в областях з високою міжсотовою інтерференцією (області меж сот в стільникових мережах). Виходячи з вище сказаного, боротися з інтерференцією слід за допомогою спеціальних підходів, таких як "віртуальна" або "мережева" МІМО таким чином, щоб максимізувати кількість суміщених каналів зв'язку, які можуть співіснувати з прийнятною якістю обслуговування. В режимі з високим відношенням сигнал/шум цей показник якості відповідає максимальній кількості одночасно діючих передач без завад та називається ступінь свободи (degree of freedom) або коефіцієнтом підсилення мультиплексування мережі [1,2].

Розглянемо багатостільникову мережу, що включає M базових станцій BS, що взаємодіють та працюють на однаковій несучій частоті. Кожний стільник обслуговує K користувачів. Кожна BS оснащена J антенами. Користувачі мають одноантенні термінали. Огляд в основному представлено с точки зору інтерференції на стороні BS. Багатоантенні термінали дозволяють забезпечити просторове мультиплексування безлічі потоків даних для кожного користувача. Також, їх використання є ефективним щодо можливості придушення багатостільникової інтерференції на стороні користувача, особливо в контексті координації інтерференції.

В висхідній лінії зв'язку, прийнятий сигнал на m -й базовій станції, $m \in [1, M]$ можна записати у вигляді:

$$y_m = \sum_{l=1}^M \sum_{k=1}^K h_{m,l,k} x_{l,k} + z_m \quad (1)$$

де $x_{l,k}$ - символ, що передається до k -ї MS в l -му стільнику, $h_{m,l,k}$ - позначає J елемент вектора каналу від k -го мобільного терміналу MT в l -му стільнику до m -ї BS, \mathbf{z} - є вектор шуму, що містить адитивний шум і будь-яку міжсотову інтерференцію не враховується виключно M взаємодіючими стільниками, наприклад, якщо мережа включає більше M BS.

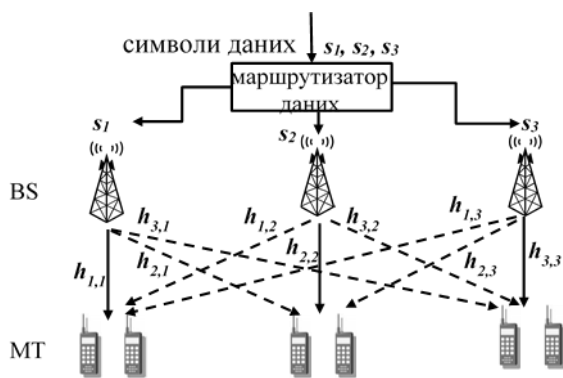
Модель для низхідної лінії зв'язку може бути легко отримана з наведеної вище. Сигнал, прийнятий на k -го MS в m -му стільнику записується у вигляді:

$$y_{m,k} = \sum_{l=1}^M h_{l,m,k}^* x_l + z_m \quad (2)$$

де x_l вектор переданого сигналу з J елементів, переданих з l -ї BS, що містить, можливо, попередньо кодовані інформаційні символи для декількох користувачів. Слід зазначити, що вектор каналу низхідної лінії зв'язку від l -ї BS до k -го MS в m -му стільнику позначається у комплексній кон'югованій формі відповідного каналу висхідної лінії $h_{l,m,k}$.

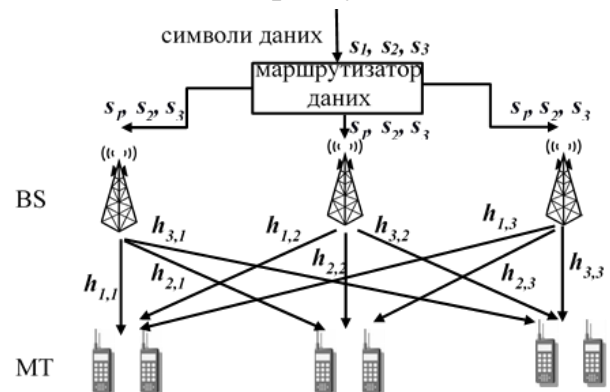
Координація рівня інтерференції

Продуктивність сучасних стільникових мереж можна поліпшити за умови забезпечення між BS обміну інформацією про стан прямого та зворотного каналів, отриману від користувацьких терміналів по каналах зворотного зв'язку. Наявність інформації про стан каналу дозволяє базовим станціям координувати сигнальну стратегію (розподіл потужності, напрями формування діаграми спрямованості), а також часове та частотне розподілення між користувачами. Такий базовий рівень координації вимагає відносно невеликої кількості транзитних зв'язків і може бути досить ефективним, якщо достатня кількість користувачів співіснують в системі (багатокористувацького рознесення) [3]. Не має необхідності в обміні даними передачі та синхронізації рівня сигналу між базовими станціями. Такі схеми називаються *схемами з координацією рівня інтерференції*. У цьому випадку сигнал низхідної лінії зв'язку в l -ї базі, x_l - є комбінацією символів, призначених для кожного K -го користувача.



а

Рис. 1 Схема координації рівня інтерференції для низхідної лінії зв'язку, де s_1, s_2, s_3 - «пілотні» сигнали, h_{ij} - коефіцієнти передачі між i приймальними антенами j та передавальними.



б

Рис. 2 Багатостільникова МІМО для низхідної лінії зв'язку, де s_1, s_2, s_3 - потік даних кількох користувачів.

Слід зауважити, що BS отримують та обмінюються інформацією тільки про стан каналу відносно всіх прямих та зворотних ліній зв'язку, а не символи даних (рис. 1). Наявність інформації про стан каналу дозволяє реалізувати стратегію передачі даних по різних стільниках для спільної адаптації до стану каналу. Стратегії передачі можуть включати в себе планування, управління потужністю, формування діаграми спрямованості, а також сучасні методи кодування, спеціально розроблені для послаблення інтерференції.

МІМО - кооперація

Коли базові станції (кожна з яких оснащена J -антенами) пов'язані лініями зв'язку високої ємності без затримок, вони можуть поширювати інформацію не тільки про стан каналу, а також повними даними про своїх відповідних користувачів (рис. 2). Таким чином, комбіноване застосування декількох антен BS, що відносяться до різних стільників для відправки або отримання потоків даних кількох користувачів імітує модель великого МІМО масиву з MJ антенами і називається *МІМО - кооперацією*.

В даній схемі зникає концепція індивідуально обслуговуючої бази для одного терміналу, оскільки мережа в цілому, або принаймні група стільників, обслуговують користувацький термінал. Таким чином досягається ефективніша форма кооперації (співпраці). В загальному випадку МІМО кооперація перетворює багатостільникову мережу в багатокористувацький МІМО (MU-MIMO) канал, для якого всі канали розповсюдження (у тому числі й зворотні) експлуатуються для передачі корисних даних шляхом попереднього кодування/декодування. Таким чином, сигнал низхідної лінії зв'язку x_i є комбінацією символів, призначених для всіх МК користувачів. Для порівняння, схеми з координацією рівня інтерференції спрямовані на зменшення створених завад, а не використовують їх. Наприклад, якщо базові станції обладнані безліччю антен, формування діаграми спрямованості може бути використане в кожному стільнику. У цьому випадку промені зазвичай намагаються знайти компроміс між усуненням міжсотової інтерференції та збільшенням до максимуму отриманої енергії від/для користувача всередині стільника. В ідеальному випадку вибір таких пучків координується на декількох стільниках.

Хоча основні теоретичні концепції МІМО добре зрозумілі, все ще існує необхідність в подальших дослідженнях систем з кооперацією. На відміну від стандартних МІМО систем, де витрати багатоантенної обробки пов'язані з додатковим апаратним і програмним забезпеченням в окремих пристроях, кооперативні методи МІМО не потребують обов'язкових додаткових антен. МІМО кооперація дає додаткові переваги в порівнянні з простішими схемами координації формування діаграми спрямованості, але це вимагає поширення даних користувача між декількома BS і більш складну процедуру попереднього кодування і декодування.

Література

1. Multi-Cell MIMO Cooperative Networks: A New Look at Interference//D. Gesbert ; S. Hanly et al // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. –2010. –Vol. 28, №. 9. –P. 1380 - 1408.
2. Fehske A., Viering I, Voigt J, Sartori C., Redana S.,Fettweis G. Small Cell Self-Organizing Wireless Networks // Proceedings of the IEEE.–2014.– Vol. 102, № 3.– P.334 – 350.
3. Гудименко І.А., Кравчук С.О. Технологія кооперативного МІМО в мультимедійних безпроводових сенсорних мережах // Зб. тез 4-ї міжнародної науково-технічної конф. «Проблеми телекомунікацій», 20–23 квітня 2010 р., Київ. – Київ: ВД «ЕКМО», 2010. – С. 101.