

## МЕТОД КООПЕРАТИВНОГО РОЗНЕСЕННЯ

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

*Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», Україна*

*E-mail: liana.afanasyeva@gmail.com*

### **Method of cooperative diversity**

An overview of the method of cooperative diversity is presented. Gains in robustness and energy efficiency in wireless networks of the concept of cooperative diversity are considered.

Кооперативне рознесення - це метод, що базується на використанні об'єднаної множини антен для збільшення пропускної здатності каналу зв'язку для заданого набору діапазону частот. Суть методу полягає в рознесенні користувачьких терміналів шляхом декодування комбінованого ретрансляційного і прямого сигналу в бездротових багатопротітних мережах. Звичайна однопротітна система використовує методи прямої передачі даних, де приймач декодує інформацію тільки на основі прямого сигналу, а ретрансльований сигнал сприймається системою як завада. В той час, при кооперативному рознесенні додатковий сигнал сприймається в якості сигналу для співпраці, тобто інформація декодується на основі комбінації (поєднання) двох сигналів. Таким чином, кооперативне рознесення є рознесенням антен (розподіленими антенами), що належать кожному вузлу в безпроводовій мережі. Слід зауважити, що користувачька кооперація є одним із можливих варіантів кооперативного рознесення. Суть багатокористувачького рознесення полягає в тому, що в будь-який момент часу передавач вибирає «кращого» користувача серед кандидатів відповідно до якості каналу між передавачем та кожним приймачем. Отже, метод кооперативного рознесення є різновидом методу багатокористувачької техніки МІМО [1,2].

Найпростіші мережі кооперативної ретрансляції складаються з трьох вузлів, а саме джерела, адресата та вузла-ретранслятора, що підтримує прямий зв'язок між джерелом і адресатом. Якщо пряма передача повідомлення від джерела до адресата не пройшла повністю успішно, додаткова інформація (overheard information) від джерела передається через ретранслятор, щоб дістатися до адресата іншим шляхом. Так як ці два повідомлення пішли один за одним різними шляхами, в цьому випадку реалізується концепція просторового і часового рознесення.

Методи ретрансляції можуть бути додатково розділені на схеми підсилення-вперед, декодування- вперед та ущільнення-вперед.

В методі «підсилення-вперед» ретрансляційна станція підсилює прийнятий сигнал від джерела і після цього передає його до адресата.

В методі «декодування –вперед» ретранслятор «підслухує» сигнал, що передається від джерела і в разі правильного декодування, направляє до адресата. У разі невірних помилок у підслуханій передачі може знехтувати кооперативною передачею.

При реалізації методу «ущільнення-вперед» ретрансляційна станція ущільнює прийнятий сигнал від вузла-джерела і направляє його без декодування до адресата. Після чого, для оптимального ущільнення може використовуватись кодування Вайнера-Зіва, яке полягає в кодуванні залежних джерел, коли потрібно ущільнення з втратами виходу першого джерела, якщо на декодері доступний без втрат вихід другого джерела.

Послідовна ретрансляційна передача використовується для посилення потужності міжміського зв'язку і розширення дальності в затінених областях. В такій топології, щоб уникнути інтерференції, сигнали поширюються від одного RN до іншого по ортогональним каналам сусідніх прольотів.

В умовах відсутності прямої видимості, довжина хвилі сигналу може бути занадто великою і установка декількох антен не представляється можливим. Тому, щоб збільшити стійкість до багатопроменевого завмиранням, що виникає при послідовній передачі, використовується паралельна передача. У цій топології сигнали поширюються по множині шляхів RN в прольотах та об'єднуються адресатом сигнали, отримані різними схемами поєднання. Така схема забезпечує підсилення по потужності та коефіцієнт підсилення від прийому рознесення одночасно.

Розглянемо безпроводову ретрансляційну систему, що складається з джерела, RN і адресата. Передбачається, що канал перебуває в напівдуплексному ортогональному ретрансляційному режимі зі схемою «підсилення-вперед». Тобто, до традиційної системи прямої передачі, ми застосовуємо функцію ретрансляційного часового розподілу, де система може передавати інформацію по двом часовим фазам.

У першій фазі, джерело передає інформацію  $x_s$  до адресата та RN. Прийнятий сигнал матиме вигляд:

$$\begin{aligned} r_{d,s} &= h_{d,s}x_s + n_{d,s} \\ r_{r,s} &= h_{r,s}x_s + n_{r,s}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $h_{d,s}$  - канал від джерела до адресата,  $h_{r,s}$  - канал від джерела до RN,  $n_{r,s}$  - доданий до  $h_{r,s}$  сигнал шуму,  $n_{d,s}$  - доданий до  $h_{d,s}$  сигнал шуму.

У другій фазі RN може передати отриманий сигнал до адресата в режимі прямої передачі. В разі, якщо пряма передача від джерела до адресата виявилася успішною, кооперативна передача може виявитися не тільки недоцільною, а й взагалі не потрібною.

Розглянемо чотири схеми декодування сигналу адресатом: пряма схема, некооперативна схема, кооперативна схема та адаптивна схема. В усіх схемах, крім прямої, адресатом використовується сигнал ретрансляції.

#### *Пряма схема*

В прямій схемі адресат декодує дані з сигналу від джерела у першій фазі. Так як RN не бере участі у передачі, то у другій фазі вона виключається. Декодований сигнал від джерела має вигляд:

$$r_{d,s} = h_{d,s}x_s + n_{d,s} \quad (2)$$

Хоча схема прямого декодування проста з точки зору обробки декодування, потужність отриманого сигналу може бути дуже низькою через значну відстань між джерелом та адресатом. Тому, розглянемо некооперативну схему, що використовує сигнал ретрансляції для підвищення якості сигналу.

В некооперативній схемі адресат декодує дані на основі сингалу отриманого від RN у другій фазі, що збільшує коефіцієнт посилення по потужності сигналу. В такому випадку сигнал від RN, що отриманий від джерела має вигляд:

$$r_{d,s} = h_{d,r}r_{r,s} + n_{d,r} = h_{d,r}h_{r,s}x_s + h_{d,r}n_{r,s} + n_{d,r}, \quad (3)$$

де  $h_{d,r}$  канал від RN до джерела,  $n_{r,s}$  - сигнал шуму доданий до  $h_{d,r}$

Показник, що відповідає максимальній кількості одночасно діючим передачам без завад називається ступінь свободи. В некооперативній схемі ступінь свободи не збільшується сигналом ретрансляції, тому надійність декодування може бути низькою. Так як, дана схема використовує тільки ретрансльований сигнал, а прямий сигнал від джерела або відсутній або ж не враховується, то збільшення порядку рознесення не відбувається. Тому розглянемо схему, яка декодує об'єднаний сигнал від прямого і ретрансльованого вузлів.

Для кооперативного декодування, вузол призначення (адресат) об'єднує два сигнали, що отримані від джерела і ретрансляційного вузлів. Весь отриманий вектор сигналу на вузол призначення може бути змодельована як:

$$r = [r_{d,s} \ r_{d,r}]^T = [h_{d,s} \quad h_{d,r}h_{r,s}]^T x_s + [1 \quad \sqrt{|h_{d,r}|^2 + 1}]^T n_d = \mathbf{h}x_s + \mathbf{q}n_d, \quad (4)$$

де  $r_{d,s}$  та  $r_{d,r}$  - сигнали, отримані вузлом призначення від джерела та RN відповідно. Як і в лінійному методі декодування, адресат поєднує елементи вектора прийнятого сигналу наступним чином:  $y = \mathbf{w}^H \mathbf{r}$ , (5)

де  $\mathbf{w}$  - є лінійно комбінованою вагою, що може бути отримана для максимізації відношення сигнал/шум з об'єднаних сигналів, залежно (враховуючи) рівень складності розрахунку ваги.

Адаптивна схема вибирає один з трьох режимів, описаних вище, що базуються на інформації про стан каналу та інші параметри мережі.

Описано метод кооперативного рознесення, що базується на використанні об'єднаної множини антен для збільшення пропускної здатності каналу зв'язку для заданого набору діапазону частот. Досліджено схеми декодування сигналу адресатом. Показано, що реалізація схем кооперативного рознесення забезпечує підсилення по потужності та коефіцієнт підсилення від прийому рознесення одночасно.

## Література

1. Building blocks of cooperative relaying in wireless systems // W. Elmenreich, N. Marchenko et al // Springer e & i. Journal–2008. –Vol. 125(10). –P. 353 - 359.
2. S. Simoens, O. Muñoz, J. Vidal, A. Del. Coso Compress-and-Forward Cooperative MIMO Relaying with Full Channel State Information // IEEE Transactions on Signal Processing.– 2010.– Vol. 58(2).– P.781 – 791.