

## КООПЕРАТИВНЕ РОЗНЕСЕННЯ СИГНАЛІВ В СИСТЕМІ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Ляшенко О. В., Кравчук С. О.

*Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», Україна*

*E-mail: oleksandr\_lyashenko@ukr.net*

### Cooperative diversity of signals in the wireless system

In this article, the cooperative diversity in the wireless system as a way to wrestle multipath waves. The major idea is a sharing of multiple signals separated by a certain parameter or coordinate. It was compared of different methods of combining the output signals of the individual antennas.

Значне збільшення швидкості передачі даних і підвищення якості обслуговування користувачів (зменшення ймовірності помилки передачі інформації) є однією з головних вимог в області безпроводових систем зв'язку є значне збільшення швидкості передачі даних і підвищення якості обслуговування користувачів (зменшення ймовірності помилки передачі інформації). Ця проблема особливо актуальна в мобільних безпроводових системах зв'язку, що працюють в складних умовах поширення сигналів. Загальновизнані шляхи її вирішення, пов'язані з розширенням частотної смуги або зі збільшенням випромінюваної потужності, вичерпали себе через високу вартість частотних діапазонів і вимоги біологічного захисту.

Поширення радіосигналу в міських умовах кардинально відрізняється від умов розповсюдження прямої видимості. Крім всіх перешкод і шумів з'являється безліч додаткових, небажаних ефектів. Наявність великої кількості забудов, висотних будівель, труб, структура вулиць, можливі перепади рівня земної поверхні і т. п. призводить до багаторазовому відбиттю сигналу. Навіть якщо приймальний пристрій знаходиться в стаціонарному стані, рівень прийнятого сигналу може змінюватися за рахунок віддзеркалень від рухомих транспортних засобів. В результаті на прийомну антену практично завжди приходять безліч копій сигналу (багато променів - звідси термін "багатопророменевого розповсюдження") з різними рівнями і різними затримками по часу, як це показано на рис. 1.

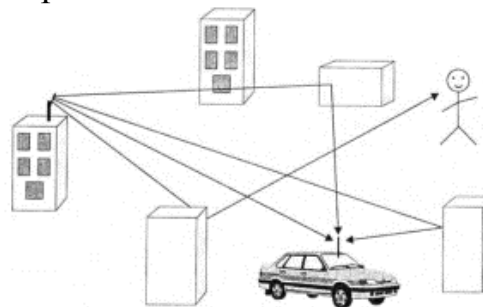


Рис. 1 Багатопророменевого розповсюдження радіосигналу.

Ідея кооперативного рознесення (англійський термін *cooperative diversity*, або просто *diversity* - рознесення) як метод боротьби з багатопроменевим розповсюдженням полягає в спільному використанні декількох сигналів, що розрізняються (рознесених) по якомусь параметру або координаті, причому рознесення повинно вибиратися таким чином, щоб ймовірність одночасних завмирань всіх використовуваних сигналів була набагато меншою, ніж якогось одного з них. Іншими словами, ефективність рознесеного прийому тим вище, чим менше корельовано завмирання в складових сигналах. Крім того, важлива технічна реалізація і простота використовуваного методу.

Найпоширенішими шляхами забезпечення кооперативного рознесення зв'язку є: просторове, частотне, часове, поляризаційне та багатопроменеве рознесення. Останнім часом для безпроводних мереж все більше використовується просторове рознесення, яке, на відміну від частотного, не вимагає розширення смуги частот. Як вказувалось вище, широко застосовується варіант рознесення  $N$  приймальних антен, розміщених на віддаль, що перевищують інтервал кореляції каналу у просторі. При цьому приймальні антени розносять на віддаль 7–10 довжин хвиль, внаслідок чого завмирання сигналу на виході окремих антен є взаємно незалежними. Варто зауважити, що найефективнішим, але і найскладнішим є метод рознесення з максимальним відношенням сигнал/шум, інші методи спрощені. Сигнали з виходу усіх приймальних антен, тобто гілок рознесення, подаються на пристрій їх сумісного оброблення та в результаті комбінування утворюють результуючий сигнал усіх гілок. Якщо на виході кожної  $i$ -тої приймальної антени амплітуда сигналу становить  $A_i$ , фаза  $\varphi_i$ , середньоквадратичне відхилення шуму  $\delta_i$ , то оптимальним ваговим коефіцієнтом для цієї гілки є:

$$w_i = q_i e^{-j\varphi_i} \quad (1)$$

де  $q_i = \frac{A_i}{\delta_i}$ . Результуючий сигнал усіх гілок формується в такий спосіб:

$$A_s = \sum_{i=1}^N w_i \cdot u_i, \quad (2)$$

де  $i = 1$  - вихідний сигнал  $i$ -ої гілки.

В результаті отримаємо результуюче відношення сигнал/шум за потужністю:

$$q_r^2 = \sum_{i=1}^N q_i^2. \quad (3)$$

Бачимо, що за оптимального вибору вагових коефіцієнтів забезпечується максимально можливе результуюче відношення сигнал/шум. Але така реалізація можлива за відомих значень  $A_i$ ,  $\varphi_i$ ,  $\delta_i$  на виході кожної антени. При цьому сигнали окремих антен додаються когерентно після відповідного амплітудного зважування згідно з алгоритмом (2). Отже, можна отримати середнє значення відношення сигнал/шум вище порогового навіть у разі, коли в кожному з каналів воно менше від порогового. Але цей метод використовує дані про відношення сигнал/шум та фазу сигналів окремих гілок, що може вимагати додаткового пілотного каналу.

Запропоновано комбінований метод попарного (всі можливі комбінації з  $N$  по 2) обробки сигналів окремих антен та застосування до отриманих сигналів комбінування з автовибором. Ймовірність появи бітових помилок для каналу з

розподілом Релея за оптимального когерентного додавання, у випадку використання  $N$  антен на приймальній стороні, визначається так:

$$P_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{(N + \frac{E_b}{N_0})^N}, \quad (4)$$

де  $\frac{E_b}{N_0}$  – відношення енергії біта до спектральної густини шуму.

На табл. 1 показано залежності  $P_b$  ( $\frac{E_b}{N_0}$ ) від кількості антен на приймальній стороні, визначені згідно зі співвідношенням (4).

Таблиця 1. залежності  $P_b$  від кількості антен на приймальній стороні

| $P_b=10^{-3}$ |                      |
|---------------|----------------------|
| N             | $E_b/N_0, \text{dB}$ |
| N=1           | 28                   |
| N=2           | 16.4                 |
| N=3           | 13.4                 |
| N=4           | 12                   |
| N=5           | 11                   |
| N=100         | 8                    |

Бачимо, що за збільшення гілок рознесення енергетичний виграш збільшується повільно, а складність обладнання зростає. Тому більше трьох гілок рознесення використовувати недоцільно. Варто зауважити, що за нескінченного збільшення гілок рознесення результати збігаються з даними для модуляції 2-DPSK та наявності білого гауссового шуму (AWGN). Отже, оптимальне кооперативне рознесення здатне загалом повністю усунути втрати енергетики радіоліній, зумовлені завмираннями.

*Висновки.* Наявність багапроменевого поширення хвиль призводить до завмирань прийнятого сигналу. Для забезпечення заданої ймовірності появи бітових помилок необхідно в сотні разів збільшувати потужність випромінювання. Розглянуто особливості рознесення приймання, реалізованого використанням декількох антен на приймальній боці. Проведено порівняння різних методів комбінування вихідних сигналів окремих антен та дано рекомендації щодо їх застосування.

### Література

1. Кравчук С.О., Міночкін Д.А., Чумак В.К. Напрямки вдосконалення технології MIMO // 36 наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. –К.: ВІКНУ, 2008. –Вип. 15.–С. 153–159
2. Zheng L., Tse D. N. C. Diversity and multiplexing: A fundamental tradeoff in multiple antenna channels // IEEE Transactions Information Theory. -2003. – Vol. 49, No 5. – P. 1073 –1096
3. Вишневский В.М., Ляхов А.И., Портной С.Л., Шахнович И.В. Широкополосные беспроводные сети передачи информации. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с. 2. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь: Учебн. пособие для вузов. – М.: “Горячая линия-Телеком”, 2007. – 432 с