

М.М. Климаш, В.О. Пелішок, О.М. Яремко
Національний університет "Львівська політехніка"

ПРОСТОРОВЕ РОЗНЕСЕННЯ НА ПРИЙМАЛЬНОМУ БОЦІ У БЕЗПРОВІДНИХ СИСТЕМАХ ТА ЙОГО МОДЕЛЮВАННЯ

© Климаш М.М., Пелішок В.О., Яремко О.М., 2009

Для безпроводних каналів зв'язку розглянуто негативні наслідки завмирань сигналу, спричинених багатопробієвим поширенням хвиль. Розглянуто особливості рознесеного прийому, реалізованого шляхом використання декількох антен на приймальному боці. Проведено порівняння різних методів комбінування вихідних сигналів окремих антен та дано рекомендації щодо їх застосування.

For the off-wire ductings of connection the negative consequences of stoppings beating of signal, waves caused multibeam distributions are considered. The features of set about a reception, realized by the use of a few aeriels on a receiving side are considered. Comparison of different methods of combining of initial signals of separate aeriels is conducted and recommendations are given from their application.

Вступ

Показники безпроводних систем значною мірою визначаються специфікою каналу зв'язку. Проблеми, пов'язані з поширенням хвиль у фізичних середовищах, доволі складні та майже не піддаються теоретичному аналізу. Наявна велика кількість різних чинників, які спричиняють як детерміноване, так і випадкове послаблення сигналу на приймальному боці. В результаті прийнятий сигнал спотворюється не тільки адитивним шумом (AWGN), але також і мультиплікативною завадою, яка змінює інтенсивність сигналу, тобто перемножується з його амплітудою. Основною причиною виникнення мультиплікативної завади є багатопробієвий фединг (завмирання, зумовлені багатопробієвим поширенням хвиль). Хаотичність розподілу відбивачів на шляху поширення радіохвиль надає інтерференційній картині в точці приймання непередбачуваний характер, що обґрунтовує застосування ймовірнісних показників. Згідно з центральною граничною теоремою густина ймовірності суперпозиції приблизно незалежних та близьких за внеском випадкових складових прямує до гауссівської за збільшення кількості складових. Отже, інтерференція багатьох незалежних сигналів, що прийшли різними шляхами, створює на вході радіоприймача гауссівський радіопробієв, причому огинаюча такого розподілу описується розподілом Релея. Отже, приходимо до моделі каналу з релеївськими завмираннями, в якому амплітуда прийнятого сигналу вже не детермінована, а випадкова величина з густиною ймовірності, що описується законом Релея. Релеївські завмирання характерні для багатьох систем: телекомунікаційних, локаційних, навігаційних тощо. Ефект від таких завмирань є деструктивний, причому завадостійке кодування лише незначно компенсує втрату завадостійкості. Це означає, що в каналах з завмираннями повинні реалізуватись специфічні методи для компенсації втрат, які виникли у результаті багатопробієвеного поширення хвиль.

Основна ідея боротьби з деструктивними ефектами багатопробієвості полягає у використанні рознесення, внаслідок якого утворюється декілька незалежних каналів або гілок передачі. Хоча кожній з гілок при цьому, як і раніше, властиві завмирання, але ймовірність погіршення сигналу в усіх гілках одночасно стає значно меншою. Погіршення якості зв'язку під час багатопробієвеного завмирань зумовлене провалами у відношенні сигнал/шум, які виникають час від часу. Тому кінцевим етапом рознесення є така сумісна обробка виходів окремих гілок, яка передбачає більший вплив на кінцевий результат одних («кращих»), з більшим відношенням сигнал/шум)

та послаблення впливу інших («гірших», з меншим відношенням сигнал/шум). Така сумісна обробка називається комбінуванням.

Деякі методи комбінування розглядаються у [1–4]. У цій роботі аналізується найпростіший та найпоширеніший спосіб реалізації просторового рознесеного зв'язку – використання декількох антен на приймальному боці. При цьому проводиться порівняння різних методів комбінування та здійснюється моделювання зв'язку з рознесенням.

1. Забезпечення рознесення та комбінування сигналів

Найпоширенішими шляхами забезпечення рознесеного 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 (рис. 1), розміщених на віддаль, що перевищують інтервал кореляції каналу у просторі.

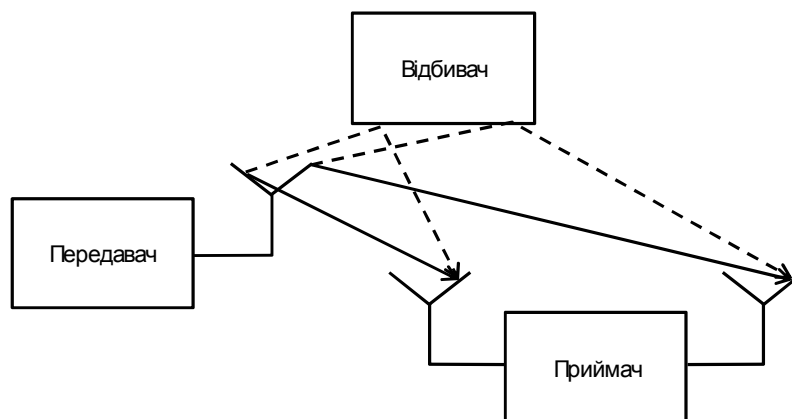


Рис. 1. Рознесення на приймальному боці

При цьому приймальні антени розносять на віддаль 7–10 довжин хвиль, внаслідок чого завмирання сигналу на виході окремих антен є взаємно незалежними. При рознесенні на прийманні, крім переваги від незалежності гілок передачі, додається ефект від вловлювання енергії в додаткових (порівняно з однією антеною) точках простору. Крім того, процедура приймання під час використання цього варіанта є найбільш простою, оскільки сигнали гілок розділені автоматично, кожен на виході окремої антени.

Використовується декілька методів комбінування сигналів з виходу окремих антен (табл. 1)

Таблиця 1

Метод комбінування сигналів

№ з/п	Методи комбінування вихідних сигналів окремих антен:
1	за максимумом відношення сигнал/шум (оптимальне когерентне додавання)
2	з автовибором
3	з оберненим зв'язком
4	з рівним підсиленням
5	комбіновані методи
6	з додаванням квадратів

Розглянемо детальніше кожен з методів, наведених в табл. 1. Варто зауважити, що найефективнішим, але і найскладнішим є метод рознесення з максимальним відношенням сигнал/шум. Інші методи спрощені.

Комбінування за максимумом відношення сигнал/шум. 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 φ_i , середньоквадратичне відхилення шуму δ_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 u_i – 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 , φ_i , δ_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.

Рознесення з автовибором полягає у підключенні до входу приймача найбільшого з N прийнятих сигналів. За такого методу об'єднання сигналів реалізується порівняно просто, але воно не є оптимальним, оскільки в ньому не використовуються одночасно усі отримані сигнали. Очевидно, що у випадку, коли один з сигналів значно більший за інші, то ефективність такого методу зростає.

Під час рознесення з оберненим зв'язком або сканованого рознесення часто взагалі може не використовуватись найбільший сигнал. У цьому методі скануються усі N канали в певній послідовності до того часу, поки не буде виявлено сигнал, який перевищує задане порогове значення. Саме цей сигнал використовується до того часу, поки його рівень не опуститься нижче від порогового, і далі процес повторюється. Очевидно, що достовірність цього методу нижча за інші, але такий метод доволі легко реалізувати.

Об'єднання з рівним підсиленням аналогічне до об'єднання з максимальним відношенням, за винятком того, що усі вагові коефіцієнти дорівнюють 1. Як і в попередньому випадку, залишається можливість отримати на виході сигнал з прийнятним значенням відношення сигнал/шум навіть у випадку, коли в більшості каналів такі значення є неприйнятними.

Варто зауважити, що заслуговують на увагу комбіновані методи, наприклад, спочатку вибрати кілька гілок з найкращими значеннями відношення сигнал/шум та об'єднати їх з рівним підсиленням.

На особливу увагу заслуговує метод додавання квадратів [3]. Він значно простіший в реалізації порівняно з методом оптимального когерентного додавання. Під час його застосування не вимагаються дані про відношення сигнал/шум та фази сигналів в окремих гілках. Щодо ефективності цей метод незначно (1–2 дБ) поступається методів оптимального когерентного додавання.

Ми пропонуємо комбінований метод попарного (всі можливі комбінації з N по 2) оброблення сигналів окремих антен та застосування до отриманих сигналів комбінування з автовибором.

2. Моделювання рознесеного приймання

Ймовірність появи бітових помилок для каналу з розподілом Релея за оптимального когерентного додавання, у випадку використання N антен на приймальній стороні, визначається так:

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

де E_b/N_0 – відношення енергії біта до спектральної густини шуму.

Для порівняння розглянемо ймовірність появи бітових помилок для бінарної відносної фазової цифрової модуляції (2-DPSK):

$$P_b = \frac{1}{2} \cdot e^{-\frac{E_b}{N_0}} \quad (5)$$

На рис. 2 показано залежності $P_b(E_b/N_0)$ для модуляції 2-DPSK та наявності білого гауссового шуму (AWGN), визначені згідно зі співвідношенням (5). Також на рис. 2 показано залежності $P_b(E_b/N_0)$ від кількості антен на приймальному боці, визначені згідно зі співвідношенням (4).

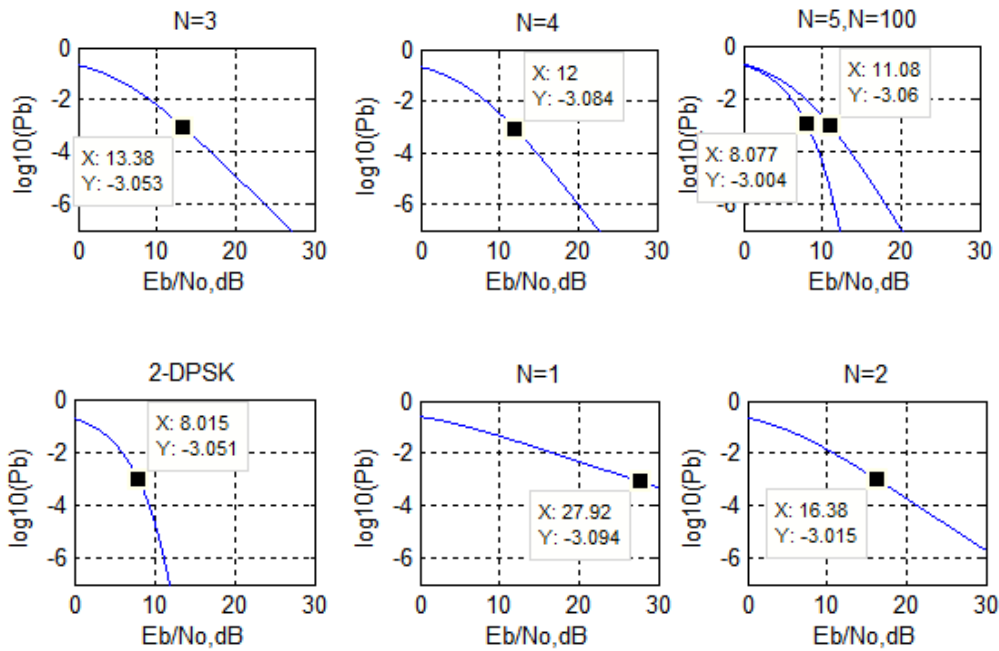


Рис. 2. Залежність ймовірності появи бітових помилок від кількості антен на приймальному боці

Бачимо, що ймовірність помилки $P_b=1 \cdot 10^{-3}$ гарантується для AWGN-каналу за відношення сигнал/шум на біт, близького до 8 дБ, а для релеевського каналу – за відношення сигнал/шум 28 дБ, тобто більшого на 20 дБ. Якщо збільшувати вимоги до надійності передачі ($P_b > 10^{-5}$), то енергетичні втрати від завмирань ще більше зростають.

Під час застосування рознесеного приймання ситуація дещо покращується. В табл. 2 наведено дані, отримані на основі рис. 2.

Таблиця 2

Дані, отримані на основі рис. 2

$P_b=10^{-3}$	
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 рознесене приймання здатне загалом повністю усунути втрати енергетики радіоліній, зумовлені завмираннями.

Висновки:

1. Наявність багапроменевого поширення хвиль призводить до завмирань прийнятого сигналу. Для забезпечення заданої ймовірності появи бітових помилок необхідно в сотні разів збільшувати потужність випромінювання.

2. Завадостійке кодування для каналів з завмираннями, реалізоване так, як його використовують в каналах з постійними параметрами, забезпечує енергетичний виграш лише у декілька дБ та не може задовільно компенсувати втрати завадостійкості. Це означає, що в каналах з завмираннями повинні реалізовуватись спеціальні методи для компенсації втрат – методи рознесеного приймання.

3. Розглянуто особливості рознесеного приймання, реалізованого використанням декількох антен на приймальному боці. Проведено порівняння різних методів комбінування вихідних сигналів окремих антен та дано рекомендації щодо їх застосування.

4. Проведено моделювання процесів рознесеного приймання, отримано багато результатів на основі розробленого графічного інтерфейсу для системи Matlab.

1. 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. 3. Скляр Бернارد. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд., испр. / Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1104 с. 4. Волков Л.Н., Немировский М.С., Шинаков Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. пособие. – М.: Эк-Трендз, 2005. – 392 с. 5. Дьяконов В. П. Matlab 6.5 SPI/7.0 + Simulink 5/6. Основы применения. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 800 с.