

УДК 621.396.73

RAKE-ПРИЙМАЧІ В СУЧАСНИХ СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Кахно А.О., Дяченко С.М.

Розглянуто еволюцію систем з кодовим розділенням каналів. Досліджено принципи побудови та роботи Rake-приймача, а також зміни, які вносять у приймач нові стандарти зв'язку.

Вступ

Міжнародна Спілка Електрозв'язку *ITU (International Telecommunication Union)* всі технології (стандарти) мобільного зв'язку 3-го покоління позначила як стандарт *IMT-2000*, до складу якого входять 5 різних несумісних стандартів. Найбільш перспективні – *W-CDMA (Wide Band Code Division Multiple Access)*, який в Європі частіше називають *UMTS (Universal Mobile Telephone System)* як наступний крок після *GSM* і *cdma2000* - американський стандарт, розгорнутий на базі існуючої системи *CDMA II* покоління. *IMT-2000* за параметрами значно переважає технології *FTDMA (GSM)*.

Постановка задачі та шляхи її вирішення

Першим стандартом стільникового мобільного зв'язку з кодовим розділенням каналів став стандарт *IS-95*. Основна мета розробки компанією *Qualcom* системи стільникового рухомого зв'язку з кодовим розділенням каналів (*CDMA*) полягала в необхідності збільшення пропускної здатності мережі не менше, ніж на порядок, в порівнянні з аналоговою системою *AMPS (IS-19)* в діапазоні 800 МГц. В цьому стандарті користувачі (близько 64) одночасно працюють в одній смузі 1,25 МГц. Індивідуальний псевдошумовий код дає можливість розділити трафік. Біт інформації кодується за допомогою псевдошумової послідовності (ППП), елемент якої називають чіпом. Тривалість чіпа в багато разів менша тривалості біта T_b , який передається. Як *GSM*, *IS-95* підтримує передачу даних з швидкістю 14,4 кбіт/с. В таблиці наведені основні параметри різних модифікацій *CDMA*.

Система <i>CDMA</i>	Частотна смуга каналу	Частота чіпів	Максимальна швидкість	Реальна швидкість
<i>cdmaOne IS-95b</i>	1,25 МГц	1,2288 МГц	115 Кбіт/с	64 Кбіт/с
<i>cdma2000 1XMC</i>	1,25 МГц	1,2288 МГц	384 Кбіт/с	144 Кбіт/с
<i>cdma 2000 1Xtreme</i>	1,25 МГц	1,2288 МГц	5,2 Мбіт/с	1,2 Мбіт/с
<i>cdma 2000 HDR</i>	1,25 МГц	1,2288 МГц	2,4 Мбіт/с	621 Кбіт/с
<i>cdma 2000 3XMC</i>	3,75 МГц	3,6864 МГц	4 Мбіт/с	1,117 Мбіт/с
<i>W-CDMA</i>	3,75 МГц	4,096 МГц	4 Мбіт/с	1,126 Мбіт/с

Технологія *CDMA* поступово розвивається від 2-го до 2,5 і 3-го покоління з метою збільшення швидкості передавання інформації, але принципи її збереглися незмінними. Технологія *cdma2000 1X* - перша фаза переходу від 2-го покоління до 2,5, яка забезпечує передачу даних з швидкістю 144 кбіт/с, що дозволяє надавати послуги голосового зв'язку, передачу коротких повідомлень, роботу з електронною поштою, Інтернетом, базами

даних, передачу даних та нерухомих зображень, а також перегляд повільного відео. В другій фазі **cdma2000 1X** використовується та ж смуга частот 1,25 МГц, швидкість передачі сягає 384 кбіт/с, що дає можливість поряд з раніше існуючими послугами, надавати послуги передачі повного відео. Наступний крок – перехід від систем зв'язку 2,5 покоління до 3-го покоління **cdma2000 1X-EV**, зі збереженням термінальної сумісності. Останні модифікації технології доступу **cdma2000 1X-EV** є **cdma2000 1xEV-DO** та **cdma2000 1xEV-DV**: **cdma2000 1xEV-DO** – підтримує лише високошвидкісну передачу даних (в прямому каналі 2,4 Мбіт/с в зворотному 153 кбіт/с); **cdma2000 1xEV-DV** – підтримує передачу даних і голосу в IP-архітектурі з швидкістю передачі даних 3 Мбіт/с.[1]

Збільшення швидкості передавання досягається застосуванням ряду заходів, в тому числі адаптацією системи до динамічного трафіку, до зміни параметрів радіоканалу, тощо. Одним з цих кроків є використання *Rake*-приймачів, які мінімізують вплив міжсимвольної інтерференції, що виникає за рахунок багатопроменевого поширення радіохвиль. Принцип дії *Rake*-приймача, який був створений для приймання рознесених в часі сигналів, базується на відокремленій обробці кількох променевих компонентів (найбільш потужного променя, що приходить по найкоротшому шляху, та декількох інших, що відстоять від першого на певні, заздалегідь відомі проміжки часу) і обчисленні їх середньозваженої суми. Кожна з компонентів обробляється окремим каналом (*Rake*-палець). Основною компонентою *Rake*-пальця є оптимальний (по критерію відношення сигнал/шум) приймач. На вхід приймача сигнал надходить з виходу пристрою зважування (підсилювача), коефіцієнти якого залежать від якості кожного з каналів. Коефіцієнти визначаються шляхом аналізу пілот-сигналу, що надходить з базової станції (БС) на мобільну станцію МС. З виходу приймача сигнал потрапляє в лінію затримки для забезпечення одночасного надходження сигналів з кожного з *Rake*-пальців на вхід суматора. Після суматора вирішуючий пристрій визначає переданий символ.

Принципи кодового розділення каналів базуються на використанні широкосмугових сигналів(ШСС). Основною характеристикою такого сигналу є його (значно більша одиниці) база $B = FT$, де F – спектр сигналу, T – тривалість одного інформаційного символу. Прийом ШСС здійснюється приймачем, який для сигналу з повністю відомим кодом розширення вираховує кореляційний інтеграл за допомогою корелятора або узгодженого

фільтра: $Z = \int_0^T x(t)u(t)dt$, де $x(t)$ - вхідна суміш, що являє собою суму ко-

рисного сигналу і завади, $u(t)$ індивідуальна псевдошумова послідовність користувача. Величина Z порівнюється з заданим порогом Z_q (відомим для заданого коду розширення). Корелятор реалізує «стискання» спектра ши-

рокусмугового сигналу шляхом множення його на $u(t)$ з наступною фільтрацією в смузі $1/T$, що призводить до покращення відношення сигнал/шум на виході корелятора в B разів по відношенню до входу. Математичну модель *Rake*-приймача можна отримати проаналізувавши процеси, що відбуваються у каналі зв'язку[5]. Тоді значення основних параметрів приймача визначаються співвідношеннями:

$b_{opt} = \left(\frac{1}{\sigma_s^2} R + \sum_{i=-\infty}^{\infty} \Phi[i] \Phi^T[i] \right)^{-1} \Phi[0]$, де

b_{opt} – коефіцієнти масштабування у каналах приймача, $\sigma_s^2 = E\{s_n^2\}$ потужність символу, s_i – інформаційні символи, $R_p(t) \equiv \int p(\tau)p(\tau+t)d\tau$ імпульсна функція автокореляції, $p(t)$ – ПШП, матриця $\Phi[i]$ характеризує канал зв'язку, затримка у трактах якого визначається як

$$\Theta_{opt} = \arg \max_{\Theta} \left[\Phi[0]^T \left(\frac{1}{\sigma_s^2} R + \sum_{i=-\infty}^{\infty} \Phi[i] \Phi^T[i] \right)^{-1} \Phi[0] \right].$$

Значення b_{opt} і Θ_{opt} відповідають коефіцієнтам зважування і затримкам, які необхідно задати *Rake*-приймачу при заданому типі сигналу для досягнення максимального співвідношення сигнал/шум на його виході. В наземних радіоканалах сигнали багатопроменевих компонентів можуть відрізнятися (на величину близьку до тривалості одного чіпа). Затримки менші за один чіп усуваються синхронізацією приймача, яка дозволяє нівелювати малу зміну. Компоненти, що відстоять один від одного більше ніж на один чіп, обробляються і складаються.

Алгоритм роботи *Rake*-приймача (див.рис. 1):

1. Під час передачі даних (надходження виклику чи здійснення дзвінка) сигнал надходить на вхід кожного з 3 пальців *Rake*-приймача.
2. В кожний канал суміш корисного сигналу і завади надходить на пристрій зважування 1. Значення коефіцієнтів зважування в каналах для заданого коду розраховуються по методиці наведеній вище і фіксуються.
3. Зважена суміш в схемах перемноження каналів 5, 6, 7 перемножується з індивідуальною ПШП користувача, яку виробляє генератор 4.
4. Отримані функції інтегрується в інтеграторах 13, 14, 15.
5. Після кожного періоду (тривалості біта) інтегратори скидаються генераторами скидання 8, 9, 10.
6. З виходів інтеграторів сигнали потрапляють в лінії затримки 16, 17 з часом затримки розрахованим вище.
7. Сигнали з усіх каналів після відповідної затримки потрапляють на суматор 18, що і формує вихідний пік.
8. Пік потрапляє на вирішуючий пристрій 19, який визначає тип сигналу на вході приймача: "1", "0", "завада" [4].

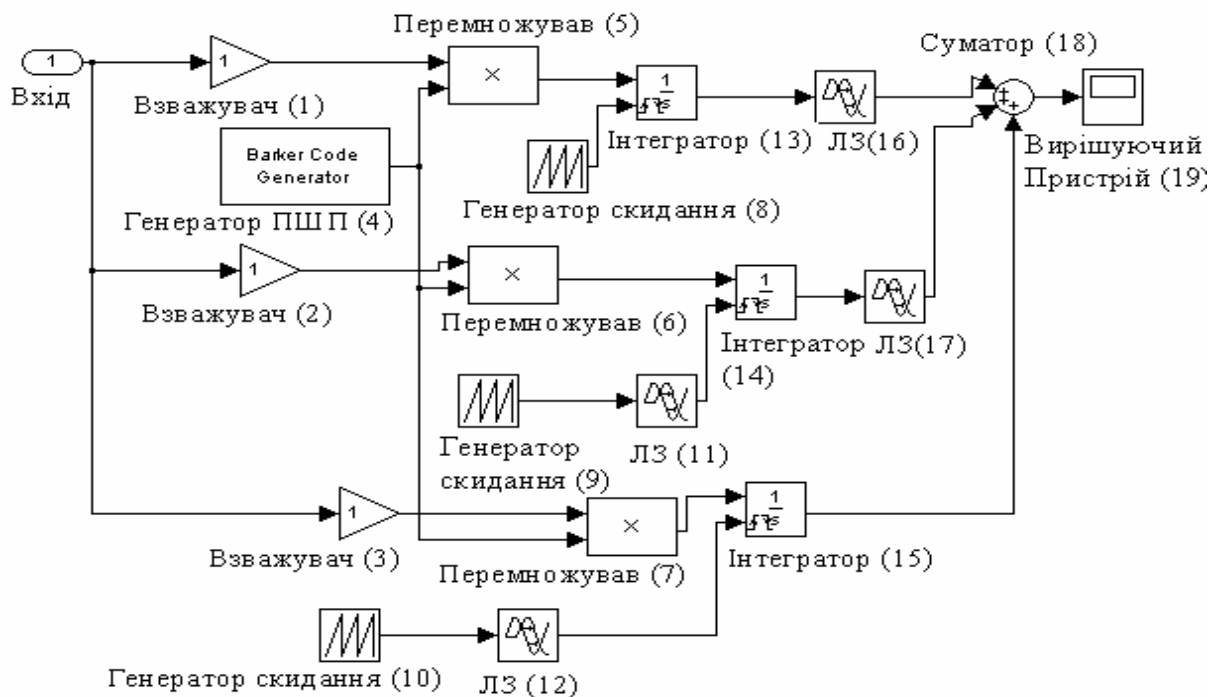


Рис. 1 Rake-приймач

В системах стандарту *IS-95* використовується 3-канальна схема *Rake*-приймача, яка дає можливість виділити 3 компоненти багатопроменевого каналу з різними затримками і коефіцієнтами передачі. При русі мобільного об'єкта змінюються умови відбиття радіохвиль, а відповідно, і коефіцієнти послаблення сигналу. Щоб відслідкувати подібні зміни в *Rake*-приймачі третій канал виконує крім основних функцій і допоміжну - зондування багатопроменевого середовища, яке відбувається за алгоритм:

1. Скануючий *Rake*-палець (3-й канал) надсилає в напрямку БС пілот-сигнал.

2. За прийнятим сигналом БС видає свій пілот-сигнал-відповідь, а також сигнали регулювання потужності.

3. У МС обробляються 3 компоненти пілот-сигналу-відповіді. По результатам обробки у каналах встановлюються відповідні коефіцієнти зважування (фактично оцінка променів на наявність помилок) [3].

У системах *cdma2000* та *W-CDMA* алгоритм дещо відрізняється.

1. Вводиться так звана процедура (функція) "максимізація", яка реалізує алгоритм:

- Під час передачі даних у каналі № 1 відбувається девіація значення часу затримки фіксованої ПШП у межах тривалості 1 чіпу;
- Значення девіації записується у запам'ятовуючий пристрій;
- Значення отриманого максимуму сигналу на виході інтегратора записується в вирішуючий пристрій.
- Це значення порівнюється з пороговим значенням і при перевищенні

його встановлює новий поріг;

- При спрацюванні порогового пристрою змінюється значення в ЛЗ ПШП та вихідній ЛЗ.

Дану процедуру можна порівняти зі скануванням, яке відбувається в межах чіпу і слугує для компенсації зміни затримки під час руху абонента.

2. З розвитком новітніх технологій збільшилась швидкодія кореляторів. Це дало можливість розділяти сигнали зсунуті один відносно другого на тривалість одного чіпу.

3. Оптимізація моделі *Rake*-приймача систем *IS-95* полягала у знаходженні такого часу затримки в ЛЗ 2-го та 3-го каналів, щоб сумарний сигнал на виході *Rake*-приймача був максимальним як при незначних відстанях до БС так і при значному віддаленні від неї. Як відомо, у системі *IS-95* більшість затримок була фіксованою. На теперішній час оптимізація полягає у пошуку найкращого алгоритму адаптації *Rake*-приймача до зміни затримки вхідного сигналу та його відбитих копій [2].

Висновки

У сучасних системах зв'язку *Rake*-приймач є невід'ємною складовою приймально-передавальних пристроїв, який забезпечує значний вигреш у використанні енергетичного ресурсу зв'язку і як наслідок вигреш у співвідношенні сигнал/шум. Функціональна модель *Rake*-приймача має важливі навчально-дослідницькі властивості. Вона дозволяє більш детально вивчити принципи функціонування радіомережі побудованої на базі стандарту *CDMA*, а також є основою для розробки нових більш швидкісних методів передачі даних. В майбутньому приймач буде удосконалюватися у напрямку адаптації до змін у каналі передачі даних з метою покращення вихідного значення сигнал/шум та збільшення швидкості передачі.

Література

1. Системи телекомунікацій. За ред. Мазуркова М.І., Правди В.І. Одеса, ТЕС. 2005
2. Holma H. and Toskala A., WCDMA for UMTS, John Wiley & Sons, Ltd., N.Y. 2000.
3. Scholtz R.A., Win M.Z, On the Robustness of Ultra-Wide Bandwidth Signals in Dense Multipath Environments. Communications Letters, vol. 2, pp. 51-53, Feb 1998.
4. Громаков Ю.А.. Сотовые системы подвижной радиосвязи. Технологии электронных коммуникаций. Т. 48. "Эко-Трендз". М. 1994.
5. Прокис Дж. Цифровая связь. М. Радио и связь, 2000.

Кахно А.А., Дяченко С.М. Rake-приемники в современных системах телекоммуникации Рассмотрено эволюцию систем с кодовым разделением каналов. Исследованы принципы построения и работы Rake-приемников и изменения их схем, связанные с новыми стандартами связи.	Kahno A.A. Dyachenko S.M. Rake-receivers in the modern telecommunication systems The evolution of the systems is considered with the code division. It is investigational principles of construction and work of Rake-receiver, and also changes which bring in the new standards of connection in a receiver.
---	---