

---

## СИНХРОННА СИСТЕМА С ПОДНОСЕЩИ НА УОЛШ

**Илка Стефанова, Пламен Атанасов**  
[istefanova@mail.bg](mailto:istefanova@mail.bg), [p.atanasov.90@gmail.com](mailto:p.atanasov.90@gmail.com)

*Висше Транспортно Училище „Тодор Каблешков”  
София, бул. „Гео Милев” №158  
БЪЛГАРИЯ*

**Ключови думи:** *подход, приемник, синхронна, Уоли*

**Резюме:** *Понастоящем безжичните комуникации са сфера, в която се наблюдава бързо развитие. Като се вземат под внимание и многобройните условия за разпространение на сигналите (голяма част от тях са неблагоприятни) на дневен ред стои въпросът за това как да се осъществи правилно приемане. Поради тази причина е важно да се изследват възможните начини за реализация на приемник на цифрови сигнали - с техните предимства и недостатъци. Изборът в конкретния случай зависи както от условията на разпространение на сигналите, така и от други ограничаващи фактори, като например икономически. Възможно е да се приложат сигнали на Уоли, и приемник със съгласувани филтри, известен още като RAKE приемник. Цел на настоящата публикация е да се проучи именно тази възможност с нейните алтернативи.*

### 1. УВОД

Мобилните приемници в системите с кодово разделяне на каналите CDMA използват съгласуван филтър, известен още като RAKE (гребло) приемник, който комбинира енергията от многолъчевото разпространение на сигналите с течение на времето (и пространството, ако се използва поляризационен или пространствен диверситет). Съгласуваният филтър е удачно да се използва когато няма потребители, които да си пречат (интерферират). CDMA стандартът IS-95 и стандартните препоръки, като cdma2000 и UMTS WCDMA за системи от трето поколение използват ортогонални (канализиращи) кодове на Уолш в посока „надолу“ (от базовата към мобилната станция). Интересно е да се отбележи, че комплементарните последователности може да се умножат със стълбовете от двоичната матрица на Уолш-Адамар, без да изгубят техните комплементарни характеристики. В допълнение към това, ако кодът е разширение от по-къси такива, може да се добави произволен фазов ъгъл към всички елементи във всяко ортогонално подмножество. Това се оказва полезно при генериране на отделните кодове.

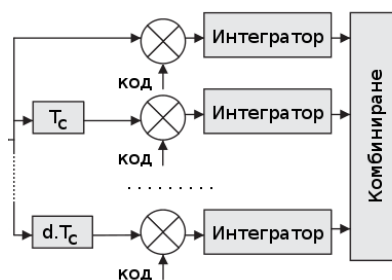
При постоянен фединг, след свиването на спектъра с правилно синхронизиран код на желания потребител, интерференцията от другите такива в клетката ще се елиминира. На преден план излизат проблеми, когато не е налице постоянен фединг, което е случая в повечето безжични градски системи при високите чипови скорости. Освен това се създават трудности, когато определен потребител е на границата на

покрытие на клетката и има интерференция от други клетки, независимо от това дали имаме постоянен фадинг или не. Трябва да се отбележи, че в посока „надолу“, единственото фиксирано нещо през интервала на обработка на информацията, е средата на разпространение и заради това в някои препоръки се предвижда тя да се оценява. В стандарта IS-95 се използва постоянен познат пилотен сигнал в посока „надолу“, с чиято помощ се оценява състоянието на канала. Този пилотен сигнал е много по-силен от другите, и чрез корелация постоянно се търсят най-добрите рамена на RAKE приемника. Може да се направи предположение, че всички кодове в тази посока са известни, какъвто случай имаме при препоръката UMTS WCDMA, където се използват постоянен брой кодове в определен интервал от време и цялата обща информация за клетката се излъчва от нея непрекъснато. В това изследване ще се използва принципът на детектиране, в случай на един потребител. Недостатъците могат да се преодолеят с детекция на много потребители, където се използва априорната информация за разширяващите кодове на интерфериращите потребители.

В тази статия ще бъдат разгледани случаи само с кодове на Уолш. Автокорелационната им функция няма добри характеристики. Тя има повече от един пик, и за това не е възможно за приемника да открие началната кодова дума без външна синхронизационна схема. Взаимната корелация може също да не е нула за дадено времево преместване и несинхронизираните потребители могат да си влияят. Поради тази причина, тези кодове могат да се използват само в синхронни CDMA системи. Те не могат да разделят информацията, както това правят псевдошумовите (PN) последователности, тъй като тяхната мощност на спектралната плътност е концентрирана в малък брой дискретни честоти.

## 2. ПОДХОДИ ЗА ПРИЕМАНЕ ПРИ СИНХРОННА СИСТЕМА С ДИРЕКТНО РАЗШИРЕНИЕ НА СПЕКТЪРА (DS-CDMA)

На практика добра апроксимация на съгласуван филтър е един RAKE приемник. Той има  $D$  рамена. Във всяко едно от тях  $d$ ,  $d = 0, \dots, D - 1$ , приетия сигнал се задържа и се свива с кода, който е определен за потребителя и се „претегля“ със спрегнатата моментна стойност  $h_d^*$ ,  $d = 0, \dots, D - 1$ , на променящото се с времето комплексно затихване на канала. Накрая този приемник комбинира резултатите, получени от всяко рамо и взема окончателно решение. Една реализация е представена на фиг.2.1. Приетия сигнал се филтрира и дискретизира с честота  $1/T_c$ , като  $T_c$  е продължителността на сигнала (не е показано на фигурата). Следва RAKE приемника, който трябва да се справи с многолъчевото разпространение на сигналите. Различните лъчи се детектират с разделителна способност  $T_c$ . Обикновено се използват 3 или 4 рамена. След корелация се комбинират мощностите на детектираните лъчи и след декодиране (от шумоустойчив код) процесът завършва.



Фиг.2.1 – RAKE приемник

За да се използва целия многолъчев диверситет е нужно да се приложи RAKE приемник с достатъчен брой рамена. Освен това, този приемник трябва да бъде съгласуван с променящата се с времето импулсна характеристика на канала. Следователно, нужна е точна оценка на канала. Това води до допълнително усложняване на приемника, например с добавяне на адаптивни филтри.

При директно разширение на спектрите на сигналите, съществуват две линейни алтернативи на горното решение – **обръщащ в нула изравнител ОНИ** (Zero-forcing equalizer – ZF equalizer) и **изравнител с минимална средноквадратична грешка ИМСГ** (Minimum mean-square equalizer – MMSE), които след оценка на средата на разпространение правят изравняване в посока „надолу“, и по този начин потребителските сигнали отново стават ортогонални, например ако се използват кодове на Уолш. За да се осъществи това, в мобилната станция се използва дискретизация с по-висока честота от необходимата или множество сензори. От значение е, да се намалят междусимволната интерференция **МСИ** и интерференцията от множествен достъп **ИМД**, за да се увеличи отношението сигнал-шум-интерференция **СШИ** на изхода на приемника. Предимство е, да се оползотворят присъщите свойства на данните, например ортогоналността на разширяващите последователности.

Алгоритъмът на ОНИ се състои от четири повтарящи се стъпки:

1. Подреждане: Определяне на оптималния ред за детектиране.
2. Нулиране: Избиране на „нулиращия“ вектор за да се отстранят всички слаби сигнали и получаване на най-силния сигнал за предаване.
3. Разпределяне: Откриване на изчислената стойност на най-силния сигнал чрез „разделяне“ до най-близкото значение в сигналното множество.
4. Неутрализиране: Компенсация на ефекта на най-силния сигнал от получения сигнален вектор, за да се понижи сложността на детектиране на останалите сигнали. След това се прави връщане към стъпка 2 – процес на нулиране.

С тези действия се понижава МСИ до 0 в случай, че няма шум. Това е полезно, когато МСИ е значително по-голяма от шума. За канал с амплитудно-честотна характеристика **АЧХ**  $F(f)$ , ОНИ има АЧХ  $C(f)$ , която се определя с израза:

$$(2.1) C(f) = 1/F(f).$$

По този начин комбинацията от канал и изравнител дава еднаква АЧХ и линейна фаза:

$$(2.2) C(f).F(f) = 1.$$

Може обаче да се открият и някои недостатъци. Първо, импулсната характеристика на канала има крайна дължина, а тази на изравнителя трябва да е безкрайно дълга. Второ, при някои честоти приетия сигнал може да е слаб. За да се компенсира това, усилването на ОНИ се повишава. В следствие на това, какъвто и да е шум, добавен към канала се усилва с голям коефициент, и по този начин се намалява отношението сигнал-шум **С/Ш**. Поради тези причини, е разработен линейния ИМСГ, който има АЧХ  $D(f)$ , записана с формулата:

$$(2.3) D(f) = 1/(F(f) + k),$$

където  $k$  е със стойност, в зависимост от характеристиката на канала и отношението **С/Ш** на сигнала. Той е по-балансиран вариант и не премахва изцяло МСИ, а понижава стойностите на компонентите ѝ и намалява мощността на шума на изхода.

### 3. ПОДХОДИ ЗА ПРИЕМАНЕ ПРИ ПРИЛОЖЕНИЕ НА СИНХРОННА МНОГОКАНАЛНА СИСТЕМА С ПОДНОСЕЩИ НА УОЛШ - WALSH-SPREAD OFDM (MC-CDMA)

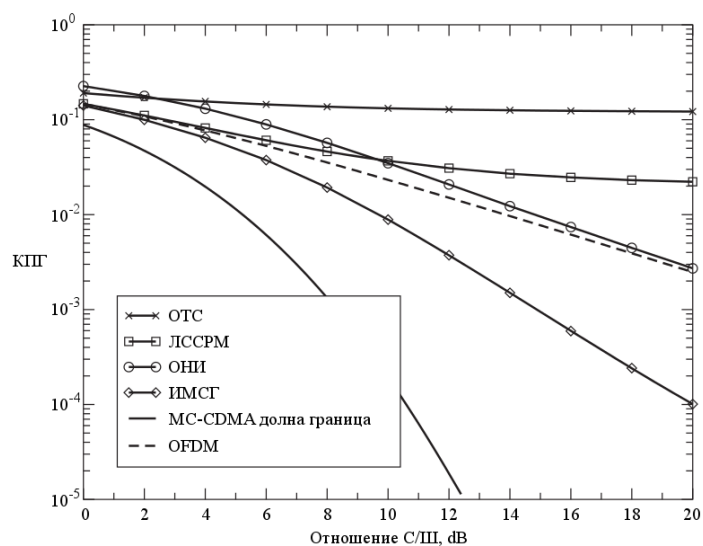
В този случай за разширяване на сигналите се използват последователности на Уолш. В допълнение към това, защитният интервал се избира такъв, че да се елиминират МСИ и интерференцията между носещите **ИМН**.

При този подход освен гореспоменатите е възможно да се приложат още два:

- **Линейно сумиране на сигналите с равна мощност ЛССРМ** (Equal-gain combining – EGC) – всички приети сигнали се сумират кохерентно. Линейно сумиране на сигналите с равна мощност компенсира само изместването на фазата, причинено от канала.

- **Оптимално тегловно сумиране ОТС** (Maximal-ratio combining – MRC) – обикновено се използва при фазираните антенни решетки. Тук сигналите се „претеглят“ по стойностите на техните отношения С/Ш и се сумират. Общото отношение С/Ш е сумата от отделните съставки. Недостатък на ОТС в посока „надолу“ при MC-CDMA системите е, че се нарушава ортогоналността между разширяващите кодове и по този начин се увеличава ИМД.

В по-тесен смисъл, ОТС е метод на диверситетно комбиниране, при който сигналите от всеки канал се сумират и усилването се прави пропорционално на средноквадратичната стойност на сигнала и обратно пропорционално на аналогичната стойност на шума в определения канал. Използват се различни коефициенти на пропорционалност за отделните канали. ОТС е метод, който обикновено се прилага за канали с независим адитивен бял Гаусов шум и може да възстанови сигнала до първоначалната му форма.

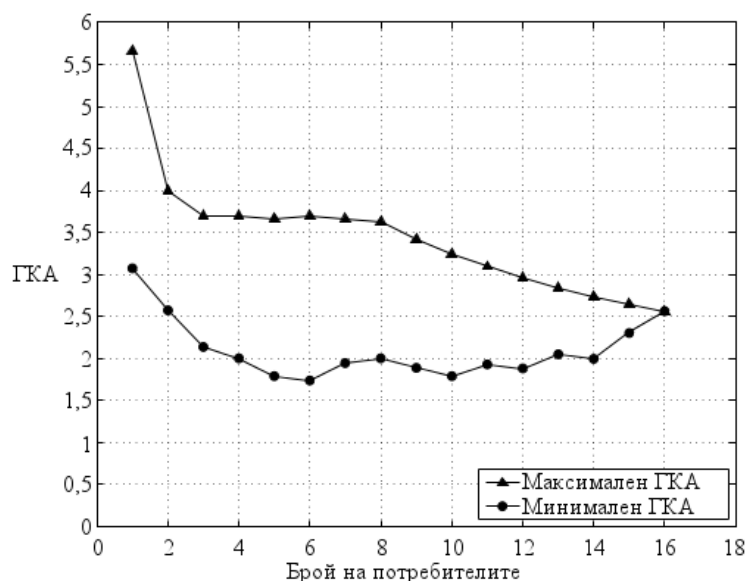


Фиг.3.1 — Зависимост на КПП от отношението С/Ш без шумоустойчиво кодиране

След като са разяснени тези способности за приемане, е необходимо да се онагледят тяхното действие при равни други условия. На фиг.3.1 е показано отношението на коефициента на побитова грешка **КПП** (Bit Error Rate – BER) към отношението С/Ш за един бит за четирите изброени техники при система MC-CDMA, дължина на кода  $L=8$ , QPSK манипулация с кодове на Грей и без шумоустойчиво кодиране. Прието е, че имаме канал с некорелиран фединг на Релей. Резултатите показват, че при пълния капацитет на системата изравняването с минимална средноквадратична грешка превъзхожда всички други методи за детектиране. Изравнителя с обръщане в нула възстановява ортогоналността между потребителските сигнали и по този начин се

избягва ИМД. Въпреки това се постига и усилване на шума, което е нежелателно. ЛССРМ избягва този недостатък, но не противодейства на ИМД, получена от загубата на ортогоналност между сигналите, като се получава висок праг на грешката. Най-неудовлетворително е ОТС, понеже допълнително усилва ИМД. Като контролна графика е дадена тази на съгласувания филтър (долната граница) за системата MS-CDMA.

В литературата [2] за случая в посока „надолу“ резултатите от изпитанията показват, че за различен брой активни потребители и даден фактор на разширение глобалният коефициент на амплитудата ГКА (Global Crest Factor — GCF) спада с увеличаване на броя на потребителите в случай на кодове на Уолш, докато за други такива той се увеличава. Това е показано на фиг.3.2 за  $L=16$ . Тези проучвания потвърждават, че тези кодове са най-подходящия избор за посока „надолу“ и за намаляване на ИМД.



Фиг.3.2 — Зависимост на ГКА от броя на потребителите при кодове на Уолш

Въпреки всичко, ако се избере система с много носещи (multi-carrier system), такава, че Доплеровото разширение е в границите на разстоянието между подносещите или по-високо, е възможно да се използва RAKE приемник в честотната област. При тези обстоятелства, всяко рамо на устройството анализира различна Доплерова честота. В идеалния случай съгласувания филтър разрешава проблема с цялото многолъчево разпространение.

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Високата спектрална ефективност и ниската сложност на приемник при система MS-CDMA я правят добър избор за посока „надолу“ в една клетъчна система. Като се вземат в предвид горните графики и различните методи за детектиране, някои от недостатъците на кодовете на Уолш могат да се преодолеят в тази посока на канала. От това следва, че това решение е един добър компромис, когато лесната реализация на приемниците е от значение. Разбира се, това не изключва възможността за използване на гореизброените техники при DS-CDMA, например, когато характеристиките на канала е възможно да се оценят и се окажат не толкова неблагоприятни.

При дадена оценка на общия канал в посока „надолу“ е възможно идеално изравняване с обръщане в нула само при отсъствие на шум, независимо от броя на потребителите, докато техните разширяващи последователности са ортогонални (валидно в повечето случаи) и ако има достатъчен пространствено-времеви диверситет. Сравнението с RAKE приемниците показва, че при липса на междуклетъчна интерференция за тях не е присъщ проблема ”близо-далеч” и обезпечават добро усилване. Може да се направи разширение към многоклетъчни системи, ако всички канали в посока „надолу“ могат да се оценят.

#### **ЛИТЕРАТУРА:**

- [1] Ghauri, I., D. Slock, Linear Receivers for the DS-SS Downlink Exploiting Orthogonality of Spreading Sequences, Asilomar Conference on Signals, Systems & Computers – ASILOMAR, vol. 1, pp. 650-654, 1998
- [2] Fazel, K., S. Kaiser, Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems - From OFDM and MC-CDMA to LTE and WiMAX, Second edition, Wiley, 2008
- [3] Krauss, T., W. Hillery, M. Zoltowski, Downlink Specific Linear Equalization for Frequency Selective CDMA Cellular Systems, Journal of VLSI Signal Processing Systems, vol. 30, issue 1/3, pp. 143-161, 2002
- [4] Prasad, R., OFDM for Wireless Communications Systems, Artech House, 2004
- [5] Mark, J., W. Zhuang, Wireless Communications and Networking, Prentice Hall, 2003
- [6] Garg, V., Wireless Communications and Networking, Morgan Kaufmann, 2007
- [7] Brennan, D., Linear diversity combining techniques, Proc. IRE, vol.47, no.1, pp.1075–1102, June 1959
- [8] Miller F., A. Vandome, J. McBrewster, Federal Standard 1037C, VDM Publishing, 2010

## **SYNCHRONOUS SYSTEM WITH WALSH SUBCARRIERS**

**Ilka Stefanova, Plamen Atanasov**  
[istefanova@mail.bg](mailto:istefanova@mail.bg), [p.atanasov.90@gmail.com](mailto:p.atanasov.90@gmail.com)

*Todor Kableshkov University of Transport,  
158 Geo Milev Street, Sofia,  
BULGARIA*

**Key words:** *approach, receiver, synchronous, Walsh*

**Abstract:** *At present wireless communications are sphere, in which fast development is observed. When the numerous conditions are taken into account (most of them are adverse) the question about correct reception is in the foreground. Due to this fact it is important to examine the possible ways for realization of digital signal receiver – with their advantages and disadvantages. The choice in the specific case depends on signal propagation conditions as well as other confining factors, such as economic ones. It is possible to apply Walsh signals and a receiver with matched filters, also known as RAKE receiver. The aim of the current proceeding is to explore this very potentiality with its alternatives.*