

ПРИЛОЖЕНИЕ НА ФУНКЦИИ НА УОЛШ В ШИРОКОЛЕНТОВИ КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ С КОДОВО РАЗДЕЛЕНИЕ НА КАНАЛИТЕ

Илка Стефанова
istefanova@mail.bg

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков” София, бул. Гео Милев 158,
Факултет „Комуникации и електрообзавеждане в транспорта”
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *кодове на Уоли, широколентови комуникационни системи.*

Резюме: *В широколентовите телекомуникационни системи се използват различни решения за гъвкаво разпределение на наличната честотна лента сред потребителите. Разделянето на честотна лента може да се реализира с помощта на различни начини, като може да се разграничат пет „чисти” метода.*

- честотен (FDMA);
- времеви (TDMA);
- поляризиционен;
- пространствен;
- кодов (CDMA).

Болиинството съвременни мрежи са базирани на кодовото разпределение на каналите CDMA.

Предимства на CDMA

- Широколентов метод;
- Много потребители споделят една честота в една клетка;
- Еднаква честота в всички клетки;
- Има предимства на множествен достъп;
- Капацитета е малък;
- Работи при присъствието на интерференция.

Разпределянето на честотния спектър в случая е метод на модулация, при който като модулиращ сигнал се използва псевдослучаен код. Кодовете използвани в синхронните системи CDMA са къс, дълъг и код на Уоли. Докато първите два са М-последователност, кодът на Уоли не се явява такъв, от гледна точка на взаимната корелация.

Кодовете на Уоли са ортогонални двоични блокови кодове, които намират приложение от няколко десетилетия, включително и в синхронни многопотребителски комуникационни системи.

В настоящия доклад се разглежда приложение на функциите на Уоли при изграждането на широколентови комуникационни системи с кодово разделение на каналите.

1. Увод

Идеята на кодовото разделение (уплътнение) е известна още около 70-те години и се базира на корелационните свойства на сигналите. Нейното развитие започва през 60-те години на XX век, когато са били разработени сравнително бързодействащи електронни логически схеми и апаратурата с кодово разделение на каналите е станала с приемливи размери. Този нов метод от начало се е използвал в свързани радиостанции в американската армия. Типа на използвания широколентов сигнал е бил сигнал със „скачащи” по определен закон радиочестоти. Такава реализация значително усложнява прослушването на обмена и въпреки това има високи качествени показатели.

В англоезичната литература системата с кодово разделение на каналите са нарича Code Division Multiple Access (CDMA), което дословно означава множествен достъп с кодово разделение. Стандарта IS-95 се явява базов за съществуващия стандарт на спътниковата система за персонална връзка, а също подвижна мрежова връзка, в това число CDMA 2000 и WB-CDMA. Количеството на каналите N определя размера на ансамбъла на псевдослучайните последователности. Сред ортогоналните системи на сигнали, в стандарта IS-95 се използват сигнали, явяващи се редове на матрицата на Адамар с размерност 64×64 известни още като кодове на Уолш.

2. Кодове на Уолш и ортогонални променливи разширяващи фактори (OVSF)

2.1 Кодове на Уолш

Кодовете на Уолш се използват за пряко разширяване на спектъра (DSSS) на системи (такива като IS-95, cdma2000 и др.). Те освен това са използвани за разпределение на спектъра чрез скокообразна промяна на честотата (FHSS) за избиране на пусковата честота на следващия скок.

Кодовете на Уолш са ортогонални кодове. Също, ако два кода на Уолш са корелирани, резултатът е разбираем само, ако тези два кодът са еднакви. Като резултат, кодирания Уолш сигнал се получава като случаен шум в приемащия CDMA мобилен терминал, освен в случаите, когато терминала използва еднакъв код като този използван за кодиране и входящия сигнал.

С $W(k, n)$ означаваме k -код на Уолш на матрицата на Уолш с размерност n , където $k = 0, 1, \dots, n-1$.

Системата CDMA изисква ортогонални кодове за селекция на канала. Тъй като те използват едни и същи честотни ленти за цялото предаване, само различен код може да бъде използван за избора на канал.

Ортогоналните кодове имат следните характеристики:

$$(1) \sum_{k=0}^{N-1} W_i(k\tau) W_j(k\tau - n\tau) = 0, \\ i \neq j, n = 0, 1, \dots, N-1$$

Уравнение (1) показва, че взаимната корелация на два различни символни реда е нула за всяко времево изместване и

$$(2) \sum_{k=0}^{N-1} W_i(k\tau) W_j(k\tau - n\tau) = 0, \\ n = 1, \dots, N-1$$

където

$W_i(k\tau)$ и $W_j(k\tau)$ са i - и j - ортогонални членове на ортогоналното множество;

N - дължината на множеството;

τ - времетраене на символа.

Уравнение (2) показва, че за цялото времево изместване различно от нула, всеки разширяващ код е ортогонален със себе си.

Ортогоналните условия в (1) и (2) означават, че различни потребителски сигнали могат да се разделят в приемника, въпреки че използват един и същ честотен канал за един и същи времеви период.

Кодовете на Уолш са генерирани посредством матрицата на Адамар с $H_1 = [0]$, където H_1 е матрица с размерност 1×1 и е равна на 1. Матрицата на Адамар се построява чрез

$$H_{2n} = \begin{pmatrix} H_n & H_n \\ H_n & -H_n \end{pmatrix},$$

например

$$H_2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

и

$$(3) H_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Кодовете на Уолш се получават от редовете на кореспондиращата матрица на Адамар. Обикновено двоичната информация се дава в полярна форма, така че може да се използва аритметиката на реалните числа, когато се изчислява корелацията. Така нулите се изписват като единици, а единиците се изписват като „-1”.

Базовото множество от кодовете на Уолш е множеството от четири образци - 0000, 0101, 0011, 0110. Когато кодовете на Уолш модулират предавателя, се използва бифазово преместване. Тогава „0” означава 0° фазово преместване, а „1” означава 180° фазово преместване. 64 ортогоналния код на Уолш осигурява базовата за CDMA модулация използвана в IS-95.

Кодовете на Уолш формират основата на променливите разширяващи кодове с различен разширяващ фактор. Това тяхно свойство е полезно когато се иска сигнал с различен разширяващ фактор, да използва същия честотен канал.

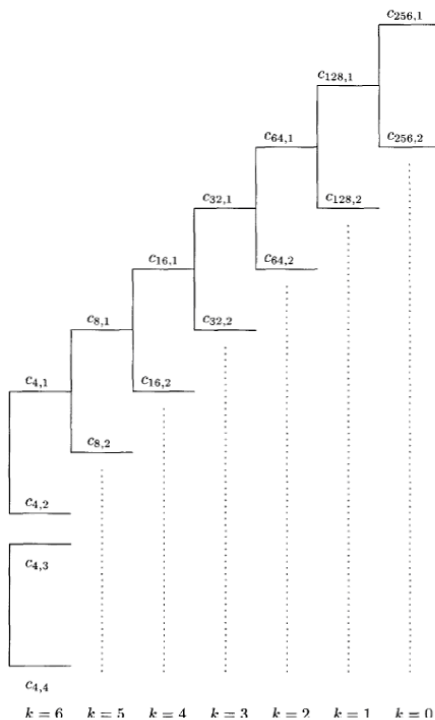
Кодовете, които имат това свойство се наричат ортогонални променливи разширяващи фактори (OVSF). За построяването на тези кодове е по-добре да се използва различен подход, такъв като манипулация с матрица.

2.2 OVSF кодове

OVSF кодове са генерирани от множество от ортогонални кодове, в частност Уолш кодове използвайки процедурата показана на фиг.1. По специално, всеки канализиращ код се означава с $c_{N,n}$, където $n=1,2,\dots,N$ и $N=2^x$, $x=2,3,\dots,8$. Всеки код $c_{N,n}$ е получен от предходния код $c_{(N/2),n}$ както следва:

$$(4) \begin{bmatrix} c_{N,1} \\ c_{N,2} \\ c_{N,3} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{N,N} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{(N/2),1} | \overline{c_{(N/2),1}} \\ c_{(N/2),1} | \overline{c_{(N/2),1}} \\ c_{(N/2),2} | \overline{c_{(N/2),2}} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{(N/2),(N/2)} | \overline{c_{(N/2),(N/2)}} \end{bmatrix},$$

където израза в дясната част на уравнението показва уголемената матрица, а $\overline{c_{(N/2),n}}$ е бинарното допълнение на $c_{N,n}$. От горното уравнение се вижда, че например $c_{N,1}$, $c_{N,2}$ в лявата страна на уравнението не са ортогонални на $c_{(N/2),1}$, тъй като първата половина и на двата кода е разделена на $c_{(N/2),1}$ (фиг.1), но те са ортогонални на $c_{(N/2),n}$, при $n=2,3,\dots,(N/2)$.



фиг.1 Формиране на OVSF кодове

Кодът $c_{(N/2),1}$ е известен като код-майка на кодовете $c_{N,1}$, $c_{N,2}$, тъй като тези два кода се получават от $c_{(N/2),1}$. Кодовете от по-висок ред ($k=6$) от дървеноидната структура на фиг.1 имат разширяващ фактор 4 и те са използвани за пренос при най-голяма битова норма за един канал, която е 960kbit/s. От друга страна кодовете от най-ниския ред ($k=0$) кореспондира с разширяващ фактор 256 и те са използвани за пренос при най-малката битова норма за един канал, която е 15kbit/s. Ортогоналността между паралелни канали с еднаква битова норма се осигурява чрез задаване на различен ортогонален код на за всеки канал. За канали с различна битова скорост предавайки паралелно, ортогоналните кодове се задават, като се осигури да няма код, който да е

код-майка на друг. По този начин OVSF кодовете осигуряват тотална изолация между отделните потребителски физични канали в низходящия канал които са предавани синхронно , а така също елиминира взаимните смущения между тях.

Тъй като съществува ограничено множество от, всяка клетка повторно използва едно и също множество от OVSF кодове. Това позволява да се обслужват голям брой абонати, тъй като се повишава възможността за идентификация на базовата станция от мобилните станции в низходящия канал.

3. Приложение на кодовете на Уолш в CDMAone и CDMA2000

Замисъла на CDMA за кодовото уплътнение на каналите в низходящия канал, т.е. от базовата станция (БС) към абонатната станция (АС), се свежда до следното:

1. N информационни потока предназначени за N абонати, присвояват своя кодова псевдослучайна последователност (ПСП);
2. Кодови последователности са неколерирани една с друга;
3. Бинарни информационни потоци модулиращи собствена ПСП;
4. Канални ширококолентови сигнали наслагващи се в сумиращото устройство;
5. Модулация на носещия резултиращ сложен ширококолентов сигнал и излъчения радиосигнал в пространството.

В приемната страна в абонатната станция:

1. известна „своя” кодова последователност;
2. осъществява се пренос на сигнал с радиочестоти в областта на ниските честоти;
3. нискочестотен импулсен сигнал постъпва на входа на корелатора, на втория вход на който синхронно постъпва кодираща ПСП; корелатор, състоящ от умножител и интегратор, изчислява взаимнокорелационната функция на двата сигнала;
4. импулс на изхода на корелатора става само тогава, когато в уплътнения сложен сигнал присъства „своя” ПСП, в противен случай на изхода се наблюдава само шум.

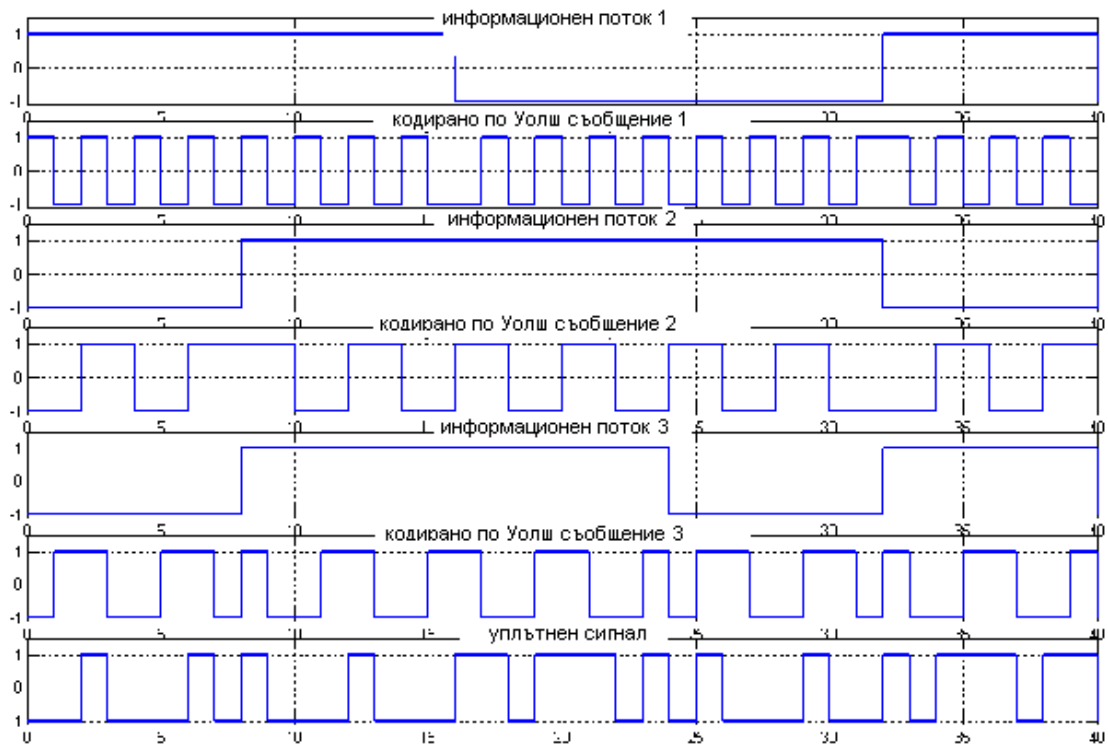
Упоменатото сумиращо устройство по принцип може да бъде устройство с алгебрическо сумиране, тогава резултиращия сложен сигнал ще представлява многонивов, в нашия случай 2N-нивова последователност. Обаче приема и обработката на такива сигнали в реалните канали за връзка са свързани със съществени трудности, за това в CDMA е прието мажоритарно сумиране на каналните сигнали. Мажоритарния суматор на бинарни последователности изчислява знака алгебрическа сума на каналните сигнали. За изчисление на такава функция с много промени съществуват специални логически схеми с мажоритарно сумиране.

Ще разгледаме първите три информационни потока по 5 бита всеки (фиг.2). Дължината на информационните символи е 8 сек. В качеството на ортогонални системи от функции са взети редовете на матрицата H_8 . По този начин, един информационен бит се кодира с осем елементарни символа. На първия информационен поток е присвоена втория ред на матрицата H_8 ; втория поток- третия ред; третия поток- четвъртия ред. На последната осцилограма е изобразен сигнала на изхода на мажоритарния суматор.

На фиг.3 е представен процеса на демодулация на резултиращия сложен сигнал смесен с бял шум. Отношението сигнал/шум в лентата на сигнала представлява 7, 17Db.

Последните три осцилограми са на сигнали на изхода на корелатора на абонатната станция. Както се вижда, абонатната станция уверено разделя информацията даже на фона на смущения, въпреки че предаването се води в обща честотна лента и едновременно. За ефективна работа на системата е важно отсъствието на времево преместване между идващите сложни сигнали и сигналите, издавани от генератора на

Уолш-последователност. Това означава, че системата се явява синхронна. В стандарта IS-95 това се достига с използването на специални синхронизиращи последователности, а също системно



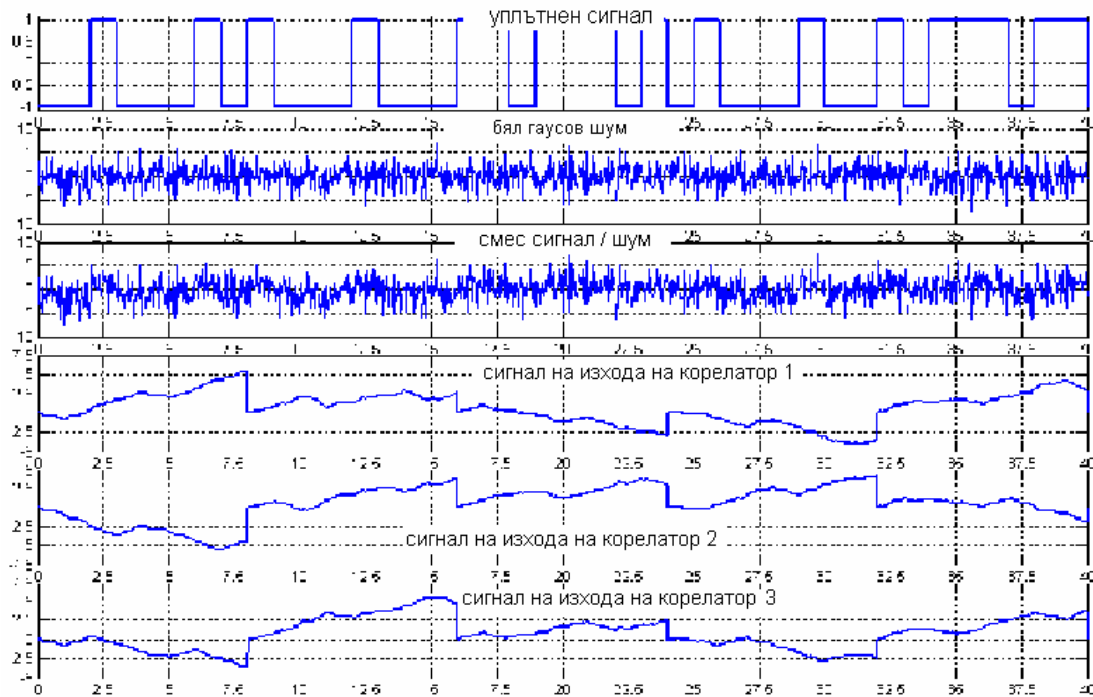
фиг.2 Уплътнение на три канални сигнала

единно време, което се явява принципно ново в техниката за прием и обработка на сигнали. До създаването на семейство стандарти IS-95 системите с шумоподобни сигнали са се строили по асинхронен принцип, т.е. сигнал от всеки абонат идва в точката на приемане с различни взаимни задръжки. В такъв случай, за безшумово разделение на сумарния сигнал на каналите е важно да има малка стойност ВКФ на адресните кодови последователности на всички интервали на корелации.

За това взаимните смущения са били големи, и в общата честотна лента са работели относително малко количество терминали, т.е. ефективността от използване на честотния ресурс е била ниска. Въпреки това, при малко отношение сигнал/шум е стоял проблема за търсене на ШПС по времева задръжка, а после влизане в синхронизъм и следене по задръжка, което е не лесна задача. По тази причина такива системи се използват само в случай на обезпечаване на повишена скритост и шумозащитеност, в останалите случаи предпочитание се отдава на честотни или времеви методи за уплътнение на каналите.

И така, уплътнението на сигналите на предаващата страна в стандарта CDMA се осъществява по пътя на мажоритарното сумиране на функции на Уолш, проманипулирани информационни потоци. Разделението на каналния сигнал от резултиращия поток се осъществява в корелатора, състоящ се от умножител и интегратор или суматор. В качеството на поясняващ пример може да се приведе

известното и винаги удачно сравнение на кодово разделение на каналите и беседите на различни езици. Ако в закрыта стая се намират много хора, едновременно говорещи на различни езици, то вие възприемате информацията от този събеседник, който говори на вашия роден език.



фиг.3 Декодиране на сложен сигнал

При cdma2000, разширяването на спектъра в низходящия канал е подобно като това в cdmaone. Съществува различия във възходящия канал. В cdma2000 физичните канали се разделят с помощта на кодове на Уолш и дълги кодове, а мобилните станции с дълги кодове. При IS-95 се използват само дълги кодове.

Тъй като в трафичния канал в cdma2000 се предявява изискването да поддържа голямо количество данни е необходимо да се използват кодове на Уолш с променлива дължина. В основния канал кодовете на Уолш са с фиксирана дължина. Но във допълнителния канал, където количеството информация се увеличава, дължината на кода намалява (което по същество намалява „печалбата“ от процеса и броя на потребителите в един и същ времеви период в CDMA канал).

Извод

В системите CDMA се използват кодове на Уолш за разширяване на спектъра на излъчвания сигнал. Тъй като разширяването не е равномерно по широчината на честотната лента, същите се използват съвместно с PN кодове.

Основната функция на кодовете на Уолш в низходящия канал на една CDMA система е свързана с идентификацията на мобилните потребители. Основната им функция във възходящия канал е да осъществят 64 ортогонална модулираща схема.

Литература:

- [1.] Дубровский Василий, Синхронное кодовое разделение: технология будущего, 2005
- [2.] <http://www.complextoreal.com/CDMA.pdf>
- [3.] M.R. Karim, M. Sarraf, W-CDMA and CDMA 2000 for 3G Mobile Netw