



Universitatea Tehnică a Moldovei

**CERCETAREA ȘI MODELAREA
PROPRIETĂȚILOR DE CORELAȚIE A
SEMNALELOR ÎN COMUNICAȚIILE DE
BANDĂ LARGĂ**

Student:

Cabanov Maxim

Coordonator:

**Secieru Nicolae
conf. univ., dr.**

Chișinău 2022

REZUMAT

Autorul: Cabanov Maxim, gr. SISRC-211M

Titlul tezei de master: Cercetarea și modelarea proprietăților de corelație a semnalelor în comunicațiile de bandă largă

Structura lucrării: constă din pagini de titlu, aviz, rezumat, introducere, 3 capitoli, concluzii, bibliografie.

Cuvinte cheie: Sistem CDMA, semnale asemănătoare zgomotului, secvențe pseudo-aleatoare, funcție de autocorelare.

Problematica studiului: Analiza proprietăților de corelație ale semnalelor asemănătoare zgomotului pe baza derivatelor funcțiilor Walsh pentru sistemele de transmisie de date multicanal

Scopul lucrării: Cercetare și modelarea proprietăților de corelare a semnalelor de bandă largă (pe baza derivatelor funcțiilor Walsh în funcție de tipul funcției generatoare) cu vârfurile maxime ale lobilor principali FAC, nivelurile minime ale lobilor laterali FAC și vârfurile minime FCI.

Obiectivele:

1. Efectuați o analiză a SPA-urilor aplicate pentru a obține semnale asemănătoare zgomotului;
2. Investigați proprietățile de autocorelare ale derivatelor funcțiilor Walsh cu diferite funcții generatoare;
3. Cercetați proprietăților de corelație reciprocă ale derivatelor funcțiilor Walsh cu diferite funcții generatoare;
4. Simulați în mediul Matlab derivatele considerate ale funcției Walsh cu diferite funcții generatoare pentru a determina funcția care are lobi laterali minimi ai FAC;
5. Simulați în mediul Matlab derivatele considerate ale funcției Walsh cu diferite funcții generatoare pentru a determina vârfurile maxime ale FCR;
6. Faceți concluzii și recomandări cu privire la cercetări efectuată.

Metode aplicate: SPA-urile studiate ale derivatelor funcțiilor Walsh au fost investigate analitic și simulate în mediul Matlab folosind biblioteca de blocuri Simulink și în mod programatic.

Rezultatele obținute: Rezultatele modelării și calculelor software ale caracteristicilor de corelație ale derivatelor considerate ale funcțiilor Walsh au confirmat că funcțiile de corelație ale derivatelor funcțiilor Walsh depind de tipul funcției generatoare. Funcțiile Walsh derivate au caracteristici mai bune cu funcția generatoare SPA3 (funcția Barker modificată).

Obținerea tuturor secvențelor ansamblului de derivate ale funcțiilor Walsh este necesară pentru utilizarea optimă a secvențelor considerate în sistemul de comunicații, deoarece de aceasta depinde numărul de abonați ai sistemului și, în consecință, eficiența sistemului și protecția de la acces neautorizat.

SUMMARY

Author: Cabanov Maxim, gr. SISRC-211M

Title: **Research and modeling of signal correlation properties in broadband communications**

Thesis structure: consists of title pages, Review, Summary, Introduction, Conclusions, Bibliography.

Key words: CDMA system, noise-like signals, pseudo-random sequences, autocorrelation function, cross correlation function, Walsh function derivative, generating function.

Research problem: Analysis of correlation properties of noise-like signals based on derivatives of Walsh functions for multichannel data transmission systems.

Thesis purpose: Investigating and modeling the correlation properties of broadband signals (based on derivatives of Walsh functions depending on the type of generating function) with ACF mainlobe maximum peaks, ACF sidelobe minimum levels, and CCF minimum peaks..

Objectives:

1. Perform an analysis of applied PRSs to obtain noise-like signals.
2. Investigate autocorrelation properties of derivatives of Walsh functions with different generating functions.
3. Investigate the cross-correlation properties of derivatives of Walsh functions with different generating functions.
4. Simulate in the Matlab environment the considered derivatives of the Walsh function with different generating functions in order to determine the function that has the minimum side lobes of the ACF.
5. Simulate in the Matlab environment the considered derivatives of the Walsh function with different generating functions in order to determine the maximum peaks of the CCF.
6. Make conclusions and recommendations on the research work done.

Applied methods: The studied PRSs of derivatives of Walsh functions were investigated analytically and simulated in Matlab environment using Simulink block library and programmatically..

The obtained results: The results of modeling and software calculations of the correlation characteristics of the considered derivatives of the Walsh functions confirmed that the correlation functions of the derivatives of the Walsh functions depend on the type of the generating function. The derivative Walsh functions have better characteristics with the generating function PSP3 (modified Barker function).

Obtaining all sequences of the set of derivatives of Walsh functions is necessary for the optimal use of the considered sequences in the communication system, since the number of system subscribers and, consequently, the system efficiency and protection against unauthorized access depend on it.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1 МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ АБОНЕНТОВ (КАНАЛОВ) В СИСТЕМАХ СВЯЗИ	11
1.1 Частотное разделение каналов	12
1.2 Временное разделение сигналов.....	13
1.3 Разделение каналов по форме (коду).....	15
2 ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СИГНАЛОВ	27
2.1 Анализ методов формирования псевдослучайных сигналов	27
2.2 Производные функции Уолша	40
2.3 Анализ корреляционных характеристик производных функций Уолша в зависимости от типа производящей функции	41
3 ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОИЗВОДНЫХ ФУНКЦИЙ УОЛША В СРЕДЕ MATLAB	61
3.1 Моделирование корреляционных характеристик производных функций Уолша в среде Simulink	61
3.2 Анализ корреляционных характеристик производных функций Уолша программным способом	67
3.3 Определение научного эффекта	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
БИБЛИОГРАФИЯ	78
ПРИЛОЖЕНИЯ	

ВВЕДЕНИЕ

Более чем 60-летний опыт применения широкополосных систем связи (ШПСС) подтвердил их достоинства, такие как высокая устойчивость по отношению к узкополосным помехам, возможность работы множества абонентов в одном канале связи, скрытность передачи, высокая устойчивость к многолучевому распространению. Отличительной чертой систем передачи данных с кодовым разделением каналов является возможность повторного (многократного) использования частотного ресурса за счет разделения каналов не по частоте или по времени, а по «форме», что позволяет одновременную работу множества абонентов в одной и той же полосе частот. В такой системе используются псевдослучайные последовательности (ПСП) с заданными корреляционными свойствами. А сами канальные сигналы, образованные путем расширения информационного сигнала псевдослучайными последовательностями, получили название псевдощумовые или шумоподобные (ШПС); для любого другого приемника, которому ничего не известно о расширяющей последовательности, такой сигнал представляет собой шум.

Системы связи с ШПС имеют широкое применение по трем причинам.

Первая причина - широкополосные сигналы, образованные с помощью различных ПСП, могут иметь одну и ту же несущую частоту, т.е. передаваться в одной и той же полосе.

Вторая причина, по которой применение ШПС очень выгодна - высокая устойчивость к воздействию как широкополосных, так и узкополосных помех, что весьма актуально в условиях напряженной электромагнитной обстановки в современных системах связи.

Третья причина - высокая энергетическая скрытность систем с ШПС и, как следствие, высокая конфиденциальность передаваемых данных. Суть сказанного состоит в том, что широкополосный сигнал не только трудно раскодировать - его трудно просто обнаружить, т.е. выявить сам факт работы абонентской станции.

Основными методами расширения спектра сигналов, широко применяемыми в современных системах передачи информации (СПИ), системах управления являются [1, 3,6,11]:

1. Псевдослучайная перестройка рабочей частоты (ППРЧ, англ. frequency-hopping spread spectrum, FHSS). Суть метода заключается в периодическом скачкообразном изменении несущей частоты по некоторому алгоритму, известному приёмнику и передатчику. Преимущество метода — простота реализации, недостаток — задержка в потоке данных при каждом скачке. Метод используется в Bluetooth. Сходные

методы с более редкими изменениями частот (Slow frequency hopping) предлагались для GSM.

2. Расширение спектра методом прямой последовательности (ППС, англ. direct sequence spread spectrum, DSSS). Метод по эффективности превосходит ППРЧ, но сложнее в реализации. Суть метода заключается в повышении тактовой частоты модуляции, при этом каждому символу передаваемого сообщения ставится в соответствие некоторая достаточно длинная псевдослучайная последовательность (ПСП). Метод используется в таких системах как CDMA (Code Division Multiple Access — множественный доступ с кодовым разделением) и системах стандарта IEEE 802.11 (Wi-Fi);

3. Расширение спектра методом линейной частотной модуляции (ЛЧМ, англ. chirp spread spectrum, CSS). Суть метода заключается в перестройке несущей частоты по линейному закону. Метод используется в радиолокации и в некоторых радиомодемах. В ряде систем для уменьшения мощностей побочного электромагнитного излучения могут применяться сходные технологии - Spread-spectrum clock generation (SSCG) - при которых частота тактового генератора высокочастотных синхронных схем постоянно меняется в пределах порядка 30-250 кГц (например, в SATA, DisplayPort).

Таким образом, способ передачи информации с расширением спектра заключается: на передающей стороне – в одновременной и независимой модуляции параметров сигнала специальным кодом (расширяющей спектр функцией) и передаваемым сообщением; на приемной стороне – в синхронной демодуляции сигнала в соответствии с расширяющей спектр функцией и восстановлении переданного сообщения [1, 3].

Для эффективной организации работы множества абонентов в совместной полосе частот необходимо выбирать расширяющую последовательность по строго определенным правилам.

Целью работы является исследование и моделирование корреляционных свойств широкополосных сигналов (на базе производных функций Уолша в зависимости от типа производящей функции), обладающих максимальными выбросами основного лепестка АКФ, минимальными уровнями боковых лепестков АКФ и минимальными выбросами ВКФ.

Для достижения поставленной цели нам необходимо решить следующие задачи:

1. Выполнить анализ применяемых ПСП для получения шумоподобных сигналов;
2. Исследовать автокорреляционные свойства производных функций Уолша с различными производящими функциями;

3. Исследовать взаимные корреляционные свойства производных функций Уолша с различными производящими функциями;
4. Промоделировать в среде Matlab рассмотренные производные функции Уолша с различными производящими функциями с целью определения функции, которая имеет минимальные боковые лепестки АКФ;
5. Промоделировать в среде Matlab рассмотренные производные функции Уолша с различными производящими функциями с целью определения максимальных выбросов ВКФ;
6. Сделать выводы и рекомендации по проделанной исследовательской работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной магистерской работе аналитически, в среде Simulink и программным способом в среде Matlab исследовались корреляционные свойства широкополосных сигналов для использования в системах высокоскоростной передачи данных и системах с кодовым (по форме) разделением каналов. Акцент был сделан на производные функции Уолша.

Анализ корреляционных свойств исследованных производных функций Уолша позволяет сделать следующие выводы:

1. Корреляционные функции производных функций Уолша обладают лучшими ПАКФ и ААКФ чем исходные функции Уолша – все они имеют один максимальный по амплитуде основной лепесток, но с разными коэффициентами подавления в зависимости от вида производящей функции.
2. Корреляционные функции производных функций Уолша зависят от типа производящей функции. Производные функции Уолша имеют лучшие характеристики с производящей функцией ПСПЗ (модифицированная функция Баркера).
3. Исходные функции Уолша обладают лучшими ПВКФ, чем производные функции Уолша. ПВКФ исходных функций Уолша равны 0, однако это условие выполняется для них только в точке. В реальных условиях из-за задержек сигнала относительно друг друга ортогональность нарушается и ПВКФ не равна нулю. Это приводит к увеличению помехи множественного доступа и ошибкам при декодировании входных данных.
4. ПВКФ исследованных производных функций Уолша с производящей функций ПСПЗ имеют наилучшие характеристики, что позволяет такие сигналы применять в многоканальных системах с кодовым (по форме) разделением каналов.
5. Использование производных функций Уолша в качестве кодов расширения ($L = 8$) позволяет значительно снизить амплитуду полезного сигнала, повысить помехозащищенность системы, обеспечить хорошую защиту от несанкционированного доступа и улучшить электромагнитную совместимость с соседними радиотехническими системами.
6. Результаты моделирования в среде Simulink и программным способом в среде Matlab подтвердили корреляционные свойства производных функций Уолша, полученные аналитическим путем.

Необходимы дальнейшие исследования для поиска оптимальных производящих функций, позволяющих получить требуемые корреляционные характеристики шумоподобных сигналов.

Повышение помехозащищенности систем передачи данных, которые используют в качестве кодов расширения производные функции Уолша, возможно при увеличении длины кода расширения – увеличения количества символов в производных функциях Уолша. Однако надо учитывать то, что при этом происходит расширение спектра шумоподобного сигнала, спектр которого должен быть согласован с шириной полосы пропускания канала связи.

Поиск и разработка ПСП произвольной длины на базе производных функций Уолша - реальная практическая задача. *Получение всех последовательностей ансамбля производных функций Уолша необходимо для оптимального использования рассматриваемых последовательностей в системе связи, поскольку от этого зависит количество абонентов системы, а следовательно, и экономичность системы, и защита от несанкционированного доступа.*

В то же время эти последовательности должны обладать определенными характеристиками (иметь низкий порог взаимной корреляции и ярко выраженный пик автокорреляции). Результаты могут быть использованы при построении широкополосных систем связи и систем передачи информации с защитой от несанкционированного доступа.

Выполненная дипломная работа имеет экономический эффект так как научный эффект $E_{\text{ст}}$ больше нижнего предела: $1,4 > 0,26$.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 348с. УДК 321.39: 621.391.82.
2. Мазурков М.И. Системы широкополосной радиосвязи. – О.: Наука и техника, 2009. – 344с. ISBN: 978-966-8335-95-2.
3. Solomon W. Golomb and Guang Gong. Signal Design for Good Correlation, Cambridge, Cambridge University Press, 2005, 458 p. ISBN: 978-0-51154-690-7.
4. Феер К. Беспроводная цифровая связь, методы модуляции и расширения спектра. Перевод с англ. / Под ред. В.И.Журавлева. – М.: Радио и связь, 2000. ISBN: 5-256-01444-7.
5. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез и обработка —Спб.: Наука и техника, 2005. —400 с. ISBN: 5-94387-158-6.
6. Ипатов В. П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения: Пер. с англ. М.: Техносфера. 2007. 488 с. ISBN: 978-5-94836-128-4.
7. Волков, Л.Н., Немировский, М.С., Шинаков, Ю.С. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: Учеб. Пособие. – М.: Эко-Трендз, 2005 – 392 с. ISBN: 5-88405-071-2.
8. Никитин, Г.И. Применение функций Уолша в сотовых системах связи с кодовым разделением каналов. - С – Петербург.: СПбГУАП, 2003. – 86 с. УДК 62.391.2.
9. Беспалов, М.С., Складенко. Функции Уолша и их приложения. – Владимир; Изд-во ВлГУ, 2012. – 35 с. ISBN: 978-5-9984-0310-1.
10. Sorochin, Gherman, Şestacova, Tatiana. Comparative analysis of composite Barker codes and composite Walsh functions. *Osterreichisches Multiscience Journal*. Innsbruck, Austria. vol 1, No38 (2021), p. 72-78. ISSN - 1740-1798.
11. Бессарабова А.А., Венедиктов М.Д., Ледовских В.И. Разделение каналов по форме в широкополосных системах передачи информации: Учеб.пособие. – 2-е изд., испр. и доп. [А.А. БЕССАРАБОВА, М.Д. ВЕНЕДИКТОВ, В.И. ЛЕДОВСКИХ. – Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2006. 102 с. УДК 621.396.49.
12. Волынская А.В., Калинин П.М. Новые помехоустойчивые сигналы для интеллектуального канала телемеханики // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 11-4. – С. 922-926; УДК 656.25, 621.391.82.
13. Дербунович Л. В. Генераторы детерминированных тестов на сдвиговых регистрах с нелинейной обратной связью / Л. В. Дербунович, Д. А. Татаренко, А. В. Клименко // *Вестник НТУ "ХПИ"*, — 2005. — №7 — сс. 58-63. УДК 004. 054.

14. POPA, Cristina. Tehnici de modelare și simulare: Aplicații MATLAB / Cristina, Popa, Bogdan, Doicin. - Ploiești: Editura Universitatii PetrolGaze din Ploiești, 2018. - 161 p; fig., tab. - Bibliogr.: p. 161. ISBN: 978-973-719-729-0.
15. GANGAN, Silvia. Analiza eficiențelor economice și științifice în tezele de licență și de master. - Chisinau: Tehnica – UTM, 2019.