



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский
университет «Московский институт
электронной техники»

Шокина пл., д.1, г.Зеленоград, Москва, 124498
Тел.: +7(499) 731 44 41 Факс: +7(499) 710 22 33
E-mail: netadm@miet.ru <http://www.miet.ru>

ОГРН 1027739615584

11.04.2025 № 96-1840/3-71
на №

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
работе НИУ МИЭТ, к.т.н.



А.А. Дронов

04 2025 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Ву Ши Дао на тему «Обнаружение и синхронизация слабых по мощности периодических шумоподобных сигналов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения»

Актуальность темы диссертационного исследования

Быстрая синхронизация по совокупности слабых по мощности многих копий шумоподобных сигналов, рассогласованных по частоте и временной задержке, одновременно присутствующих на входе приемника, может существенно повысить эффективность целого ряда как наземных, так и спутниковых радиосистем, включая системы передачи информации, радионавигации, а также различных комплексов контроля частотного диапазона, числа одновременно функционирующих станций с определением их местоположения и т.д. При этом может решаться задача синхронизации и суммирования сигналов в многолучевом канале, включая ситуацию с искусственно организованной многолучевостью в случае излучения сигналов разными ретрансляторами, например, в спутниковых радиосистемах.

Во многих случаях удобно использовать шумоподобные синхросигналы с большими периодами повторения порядка нескольких и даже десятков тысяч элементарных символов, а результатом их излучения одновременно с потоком информационных сигналов является низкое отношение сигнал/(шум+помеха) на входе

Вход. № 19/25
«14» 04 2025 г.
подпись

001924

приемника синхро-канала, когда суммарная помеха в десятки, сотни, а иногда в тысячи раз превосходит по мощности полезный сигнал.

Эффективное обнаружение и синхронизация таких сигналов с помощью традиционного подхода на основе поэлементного приема, либо при использовании корреляторов и согласованных фильтров, невозможно из-за высокой вычислительной сложности соответствующих алгоритмов, пропорциональной квадрату длины псевдослучайных последовательностей, использовавшихся для формирования сигналов. При этом длительность времени их обнаружения на основе традиционного подхода может составлять несколько десятков секунд, что неприемлемо для современных радиосистем.

Повышение эффективности устройств обнаружения шумоподобных сигналов может быть обеспечено с использованием цифровых алгоритмов их обработки, на основе дискретной свертки, которая в конечном итоге сводится к операции многократного векторно-матричного перемножения. Более точная оценка параметров шумоподобных сигналов для работы квазикогерентного приемника может быть произведена в устройствах слежения за изменением их частоты и задержки по времени в системах фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) и устройствах автоматической подстройки времени (АПВ). То есть обнаружение шумоподобных сигналов может использоваться с целью вывода устройств слежения за параметрами уже обнаруженных сигналов на рабочие участки дискриминационных характеристик этих устройств слежения.

Таким образом, задача повышения эффективности цифровых алгоритмов обнаружения слабых по мощности шумоподобных сигналов, а также анализ совместной работы соответствующих устройств с петлевыми схемами слежения за изменением их параметров при заданной точности их конечной оценки, а также выработка единого критерия качества синхронизации является актуальной, а диссертационная работа на тему «Обнаружение и синхронизация слабых по мощности периодических шумоподобных сигналов», представленная Ву Ши Дао, имеет важное значение для развития соответствующих инновационных технологий.

Автор верно определил, корректно сформулировал, поставил и решил научную задачу, направленную на достижение цели исследования.

Структура и основные результаты работы

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня сокращений и терминов, четырех приложений, список литературы включает 72 источника; она содержит 193 страницы, 46 рисунков и 10 таблиц.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, приведена историческая перспектива разработанности темы, сформулирована цель работы и связанная с ней научная задача; определен круг частных задач и методов их решения, указаны практическая, теоретическая значимость работы и ее научная новизна; сформулированы положения, выносимые на защиту.

В первом разделе рассматривается алгоритм совместного обнаружения и оценки параметров совокупности шумоподобных сложных сигналов в соответствии с критерием максимального правдоподобия на фоне белого гауссовского шума и взаимосвязь этого алгоритма с задачей перемножения матрицы и вектора больших размерностей в случае обнаружения слабых по мощности сигналов. Обосновывается целесообразность использования M -подобных последовательностей для формирования шумоподобных сигналов с целью использования быстрых спектральных преобразований для реализации матричного перемножения.

В втором разделе рассматривается взаимосвязь задачи синхронизации M -последовательностей и последовательностей Голда с синхронизацией периодического шумоподобного сигнала по времени при его обнаружении в приемнике. С целью разработки ускоренных алгоритмов синхронизации псевдослучайных последовательностей при обнаружении-различении шумоподобных сигналов с неизвестными параметрами разрабатываются и исследуются варианты построения матриц-циркулянтов псевдослучайных M -подобных последовательностей на основе мультипликативных групп расширенного поля Галуа по модулю неприводимого примитивного полинома, а также варианты приведения этих матриц к полной или усеченной матрице Адамара, либо ее аналогам.

В третьем разделе рассматривается совместная работа устройств обнаружения слабых шумоподобных сигналов и устройств слежения за изменением их параметров при заданной точности конечной оценки этих параметров с формированием копий принимаемых сигналов в квазикогерентном приемнике при многоэтапной параллельно-последовательной процедуре обнаружения и синхронизации, а также вырабатывается критерий качества синхронизации и производится его анализ на примере спутниковой радиосистемы.

В четвертом разделе разработана методика расчета двумерных автокорреляционных функций шумоподобных сигналов на частотно-временной плоскости, соответствующей области их определения, при учете возможности формирования сигналов на основе псевдослучайных последовательностей разных типов, а также проведено исследование параметров функций распределения боковых пиков двумерных автокорреляционных функций сигналов, являющихся случайными величинами при неизвестных частоте и задержке сигнала по времени. Результаты этого исследования использовались при расчете вероятностных характеристик обнаружения шумоподобных сигналов с неизвестными значениями параметров несущей частоты и задержки по времени.

В заключении сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

В приложениях к работе представлен акт об использовании результатов диссертационной работы и полученные свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Научная новизна результатов

1. Показано, что дискретный сигнал, при формировании которого используется М-подобная последовательность, может быть преобразован к любой функции Уолша при перестановке его символов по возрастанию значений элементов мультипликативной группы расширенного поля Галуа, построенного по модулю неприводимого примитивного полинома, использовавшегося при формировании исходной последовательности, или по возрастанию значений некоторой конфигурации

таких групп разных полей Галуа; установлено, что на основе вариантов сопровождающих матриц исходного полинома можно построить как минимум четыре мультипликативных группы.

2. Новым является разработанный способ преобразования М-последовательности или последовательности Голда на основе выбранной мультипликативной группы расширенного поля Галуа или суммы мультипликативных групп разных полей, а также выбор первообразного элемента группы, с которого начинается перестановка элементов исходной ПСП, позволяющий однозначно определить начальный блок преобразованной М-последовательности или циклический сдвиг последовательности Голда с использованием быстрого спектрального преобразования Уолша-Адамара.

3. Любая М-последовательность или последовательность Голда может быть приведена к любой из меандровых функций Радемахера соответствующей размерности или к ее аналогу; подоптимальный алгоритм идентификации полученной последовательности Радемахера может быть основан на использовании набора цифровых или аналоговых фильтров, число которых равно $\log_2(N)$, где N – длина последовательности.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы обосновывается новыми результатами, полученными в области использования теории ускоренного декодирования циклических двоичных блоковых кодов максимальной длины, а также циклических кодов, производных от них, на основе быстрого преобразования Уолша-Адамара для синхронизации периодических последовательностей.

Достоверность полученных результатов

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждаются использованием адекватных современных методов исследований, соотнесением результатов, полученных на основе теоретических исследований и результатов

компьютерного моделирования, а также широкой апробацией на международных и российских конференциях. Основные результаты докладывались и обсуждались на:

- международной научно-технической конференции (МНТК) «Технологии информационного общества» в 2022, 2023 и 2024 годах со следующими темами: «Устройство ускоренного поиска шумоподобного сигнала», «Эффективность устройства грубой оценки параметров синхронизации шумоподобного сигнала», «Статистические характеристики двумерных автокорреляционных функций шумоподобных сложных сигналов»;

- МНТК Синхроинфо-2024 в 2024 году в городе Выборге с темой доклада «Fast Spectral Transformations in the Truncated Walsh-Hadamard Basic and Synchronization of M-like Sequences».

Личный вклад автора

Все научные положения, промежуточные выводы, описанные в работе, получены автором лично. Из публикаций по теме работы, написанных в соавторстве, в диссертации использованы только части, подготовленные автором лично.

Соответствие паспорту специальности

Проведенное автором исследование соответствует п. 1. "Исследование процессов и явлений в радиотехнике, позволяющих повысить эффективность радиотехнических устройств и систем", п. 3. "Разработка и исследование радиотехнических устройств и систем, обеспечивающих улучшение характеристик точности, быстродействия и помехоустойчивости.", п. 5. "Разработка и исследование алгоритмов, включая цифровые, обработки сигналов и информации в радиотехнических устройствах и системах различного назначения, в том числе синтез и оптимизация алгоритмов обработки", п. 6. "Разработка и исследование методов и алгоритмов обработки сигналов и информации в радиотехнических устройствах и системах различного назначения, включая системы телевидения и передачи информации, при наличии помех с целью повышения помехоустойчивости", п. 10. "Разра-

ботка и исследование методов и устройств передачи, приема, обработки, отображения, регистрации, хранения и распространения информации, включая беспроводные, космические, эфирные, кабельные и мобильные системы передачи информации" паспорта специальности 2.2.13 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

Публикации научных результатов работы

Основные результаты диссертации изложены в 11 печатных изданиях, 2 из которых размещены в журналах, рекомендованных ВАК. Автором получены 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Апробация научных результатов работы

Результаты работы были представлены автором при его личном участии на

- международной научно-технической конференции (МНТК) «Технологии информационного общества» г. Москва, Россия, в 2022, 2023 и 2024 годах;
- МНТК «2024 Systems of signal synchronization, generating and processing in telecommunications» (SYNCHROINFO 2024), г. Выборг, Россия, 2024 г.

Недостатки и рекомендации по диссертационной работе

1. В третьей главе не рассмотрена взаимосвязь скорости изменения частоты обнаруживаемого сигнала и величины динамической ошибки системы фазовой автоподстройки частоты, использующейся для слежения за ее изменением. В связи с этим и выбор минимально допустимой ширины полосы пропускания петлевого фильтра представляется недостаточно обоснованным.
2. В диссертации предполагается, что обнаружение шумоподобного сигнала производится только по одному периоду его повторения. Вопросы, связанные с важными для практических приложений ситуациями, когда необходимо обрабатывать только отрезок сигнала, по длительности меньший, чем его период, либо несколько периодов повторения сигнала, не рассмат-

ривается. Последетекторный накопитель энергии, который может использоваться на выходе устройства свертки шимоподобного сигнала с целью обеспечения необходимых значений вероятностных характеристик его обнаружения, только упоминается в работе. Принципы его построения не рассматриваются.

3. На странице 72 диссертации сокращение, ранее раскрытое в тексте, повторно расшифровывается, что не является необходимым.
4. В параграфе 3 третьей главы (стр. 78) частично дублируется содержание последнего параграфа первой главы.
5. Некоторые символы, например, m и z , используются в диссертации повторно для обозначения разных величин.
6. В четвертой главе не расшифрованы обозначения: $N_{аб}$ — ?, $K_{ш}$ — ?, $\mu_{т.і}$ — ?.

Указанные недостатки не влияют на общую положительную оценку диссертации Ву Ши Дао, не снижают её теоретическую и практическую ценность.

Рекомендации по использованию результатов диссертации

Разработанные Ву Ши Дао алгоритмы и устройства обнаружения и синхронизации слабых по мощности периодических шумоподобных сигналов могут быть применены во многих радиосистемах, в которых необходима синхронизация по времени и частоте по многим копиям рассогласованных сигналов. Результаты диссертации могут применяться в системах передачи информации с многолучевым характером распространения сигналов, в которых одновременно производится определение местоположения абонентов, а также в наземных и спутниковых системах радионавигации.

Заключение

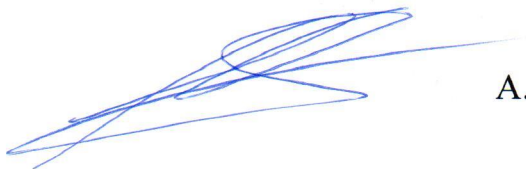
Диссертационная работа Ву Ши Дао «Обнаружение и синхронизация слабых по мощности периодических шумоподобных сигналов» является законченной

научной квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на актуальную тему и на достаточном научном уровне. Автореферат диссертации соответствует ее содержанию.

Диссертация соответствует паспорту специальности 2.2.13. - «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения». По новизне, уровню научной проработки и практической значимости полученных результатов работа отвечает требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции). Соискатель Ву Ши Дао заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.13 – «Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения».

Отзыв на диссертацию Ву Ши Дао обсуждён и утверждён на заседании НТС кафедры телекоммуникационных систем НИУ МИЭТ, протокол №8 от 10.04.2025г.

Заведующий кафедрой теле-
коммуникационных систем
НИУ МИЭТ,
к.т.н., доцент



А. А. Бахтин

Сведения о ведущей организации:

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники» (НИУ МИЭТ).

Адрес: 124498, г. Москва, г. Зеленоград, площадь Шокина, дом 1.

Веб-сайт: <https://miet.ru/>

Телефон: (499) 731-44-41.

Адрес электронной почты: netadm@mieee.ru.