

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

д.т.н., доцента Бабанова Н.Ю. на диссертационную работу Аль Тахар Инас Ануара, выполненную на тему «Методы обработки принимаемых сигналов в системах связи с пространственно-временным разнесением», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Диссертационная работа Аль Тахар Инас Ануара направлена на решение одной из актуальных задач – разработку методов и алгоритмов обработки многолучевых сигналов принимаемых комплексами связи, использующими технологии пространственно-временного кодирования (MIMO), активно применяющихся в последние годы в новых стандартах радиосвязи. В научной литературе в целях получения выигрыша либо по скорости передачи, либо по помехоустойчивости уделяется много внимания кодированию сигналов. Сложению сигналов, принимаемых несколькими антеннами при MIMO, уделяется меньше внимания, а на практике используются, в основном, давно апробированные методы разнесенного приема: автовыбор, линейное и оптимальное сложение сигналов. Следует также отметить, что используемое в настоящее время при расчетах радиолиний связи описание случайных флуктуаций передаточной функции многолучевых радиоканалов распределением Релея подтверждается на практике только в 60% времени сеансов связи. Часто наблюдаются более глубокие замирания сигналов, приводящие к ошибкам в приеме информации. В работе рассматривается более общее описание передаточной функции четырехпараметрическим распределением вероятностей, в которое релеевское распределение входит как частный случай. При таком выборе распределения вероятностей передаточной функции радиоканала учитываются более глубокие замирания, являющиеся основным источником ошибок при приеме цифровой информации. Диссертация Аль Тахар Инас Ануара направлена на исследование методов сложения принятых системой MIMO сигналов, прошедших многолучевой радиоканал и подверженных замираниям, что и определяет ее своевременность и актуальность.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, 6 приложений и изложена на 152 страницах. Методически работа построена правильно - от обзора систем MIMO и анализа методов сложения разнесенных сигналов к разработке алгоритмов сложения и модельным экспериментам, подтверждающим выносимые на защиту положения.

В первой главе приводится обзор методов разнесенного приема сигналов в системах радиосвязи и вариантов практического применения как MIMO, так и его модификаций - SIMO, MISO, V-BLAST, H-BLAST. Определена цель работы и намечены основные задачи диссертационного исследования.

Во второй главе выполнен анализ алгоритмов обработки разнесенных сигналов и рассмотрены критерии оценки помехоустойчивости принимаемых системами MIMO сигналов. Исследованы методы объединения разнесенных сигналов, в том числе гибридные. Предложен алгоритм для оценки производительности системы связи с MIMO по критерию минимума вероятности битовой ошибки.

В третьей главе исследуется влияние быстрых интерференционных замираний сигналов в многолучевых радиоканалах на помехоустойчивость приема по радиоканалам MIMO. В работе показано, что более точным описанием интерференционных замираний сигнала является распределение вероятностей, называемое четырехпараметрическим законом распределения замираний, частными случаями которого являются релеевское, усеченно-нормальное, бимодальное и другие распределения. Предложен алгоритм моделирования случайных процессов с четырехпараметрическим распределением плотности вероятностей, который в дальнейшем используется при экспериментальном исследовании методов сложения разнесенных сигналов. Разработана программа моделирования структуры MIMO, при пространственно-временной обработке сигналов с использованием алгоритма кодирования Аламоути при двух видах модуляции (BPSK, QAM) для случаев двойного и четырехкратного разнесения сигналов. Выполнены эксперименты для систем MISO и MIMO при различных методах сложения сигналов.

Стоит отдельно отметить предложенную в этой главе методику оценки вероятности срыва связи при фиксированном пороге чувствительности приемника и четырехпараметрическом законе распределения замираний. Приведены уравнения оценки вероятности срыва связи для различных методов сложения сигналов: автовыбора, линейного и оптимального сложений разнесенных сигналов MIMO.

В четвертой главе разработана модель сигнала пораженного замираниями и шумом и реализующая ее программа для ЭВМ. Предложен субоптимальный метод сложения разнесенных сигналов, отличающийся простотой реализации по сравнению с оптимальным методом, но не уступающий ему по эффективности. Проведены многочисленные эксперименты при различных и некоррелированных соотношениях сигнал/(шум+замирания) в каналах разнесения для двух, трех, четырех и

пятикратного разнесения в системе ММО. Проведено сравнение полученных результатов с известными результатами, полученными при освоении систем дальней тропосферной связи, использующих разнесенный прием, и отмечено их хорошее совпадение.

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов и выводов обеспечивается применением в проводимых исследованиях понятной методики на основе имитационного моделирования, использованием при вычислениях и моделировании общеизвестного математического аппарата, а также не противоречием достигнутых результатов с известными из теории разнесенного приема. Обоснованность подтверждается также состоятельностью и репрезентативностью экспериментов, так как план экспериментов состоял в передаче одного миллиона символов и вычислении итогового соотношения сигнал/шум для разных алгоритмов обработки разнесенных сигналов с некоррелированными шумами и замираниями и различным соотношением сигнал/шум при фиксированном соотношении сигнал/шум в одном из каналов.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

- использовано многопараметрическое распределения вероятностей при описании интерференционных замираний, возникающих при приеме сигналов в системах ММО, более точно описывающее многолучевый прием;
- предложена новая методика оценки вероятности срывов связи в радиоканале приемного устройства при достаточно общей четырехпараметрической модели замираний;
- разработан алгоритм моделирования замираний с четырехпараметрическим законом распределения вероятностей;
- разработан алгоритм и зарегистрирована программа на ЭВМ для сравнения методов сложения разнесенных сигналов при технологии ММО в системах связи;
- предложена и исследована новая методика сложения разнесенных сигналов, названная в работе субоптимальным методом сложения, отличающаяся от известного алгоритма оптимального сложения простотой в реализации.
- предложен метод субоптимального сложения сигналов ММО при любых условиях в радиоканалах обеспечивающий выигрыш по величине отношения сигнал/(шум+замирания) по сравнению с методами автовыбора и линейного сложения и не уступающий методу оптимального сложения. При этом более простая реализация субоптимального сложения, по сравнению с оптимальным, достигнута с помощью предложенного метода формирования коэффициентов,

взвешивающих сигналы перед сложением, за счет возведения в квадрат не самих сигналов, а числовых значений их амплитуд.

Практическое значение имеет разработанная программа моделирования системы ММО, на которую получено государственное свидетельство о регистрации. Следует положительно отметить и востребованность проведенного исследования, что подтверждается актом внедрения результатов работы в Ираке.

Представляет определенный интерес разработанный алгоритм сравнения методов сложения сигналов по критерию вероятности ошибок, приведенный на стр. 49 диссертационной работы. Этот алгоритм позволяет на этапе проектирования сетей связи с помощью модельных экспериментов обосновать выбор аппаратной реализации устройства сложения сигналов ММО для каждой конкретной линии связи.

Основные результаты выполненного исследования отражены в 19 научных публикациях, пять из которых опубликованы без соавторства, что подтверждает самостоятельность автора при выполнении исследования.

Рассматриваемая диссертация по цели, поставленным задачам и полученным результатам, а также сформулированным научным положениям соответствует паспорту специальности 2.2.15 (05.12.13) – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Автореферат достаточно полно отражает содержание диссертации и представляет краткое изложение основных выводов и результатов работы.

Замечания к диссертационной работе:

1. Предложенный метод субоптимального сложения описан скупо, а о его положительных сторонах сказано вскользь.

2. Формулировка второго положения, выносимого на защиту, представляется не совсем удачной, так как не отражает того факта, что предложенный метод по эффективности совпадает с оптимальным сложением, а его достоинства заключаются в простой технической реализации.

3. Сопоставление графиков на рис. 4.21 и 4.22 экспериментально доказывает необходимость большего запаса энергии при проектировании линий связи с технологией ММО, что подтверждает положение, вынесенное на защиту, но в тексте диссертации это не отражено.

4. В работе имеются описки, например, на страницах 8 и 9 диссертации выигрыш по вероятности ошибок приведен в дБ, а дальше в тексте и в автореферате он правильно обозначается в размах.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической значимости диссертации Аль Тахар Инас Ануара. Личный вклад автора по обоснованию и разработке моделей и алгоритмов не вызывает сомнений. Работа апробирована на ряде конференций, а ее результаты освещены в 19 публикациях, в том числе в 4 по списку ВАК.

Таким образом, анализ текста диссертации, ее автореферата, публикаций автора позволяют заключить, что диссертационная работа «Методы обработки принимаемых сигналов в системах связи с пространственно-временным разнесением» является законченной научно-квалификационной работой, которая по научной новизне, и практической значимости, а также достоверности результатов соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Аль Тахар Инас Ануар заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

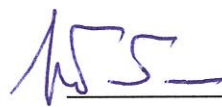
ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Бабанов Николай Юрьевич, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электроника и сети ЭВМ» института радиоэлектроники и информационных технологий ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева».

Адрес: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.

Телефон: +7 (831)436-83-82

E-mail: babanov@nntu.ru

 /Н. Ю. Бабанов/
12 апреля 2022 г.

Подпись Бабанова Н.Ю. удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета НГТУ им. Р.Е. Алексеева



 /И.Н. Мерзляков /