

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ННГУ им. Н.И. Лобачевского

М. В. Иванченко

« 06 » апреля 2022 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» на диссертационную работу Аль Тахар Инас Ануар 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

Актуальность работы. Диссертационная работа Аль Тахар Инас Ануара направлена на разработку методов и реализующих их алгоритмов обработки принимаемых многолучевых сигналов для повышения помехоустойчивости систем связи, использующих технологии ММО. Технология пространственно-временного кодирования стала активно применяться в новых стандартах радиосвязи, но в основном уделяется внимание методам кодирования разнесенных сигналов, а сложению сигналов на приемной стороне уделяется мало внимания, используя в основном давно известные методы сложения сигналов при разнесенном приеме. Поэтому диссертация Аль Тахар Инас Ануара, посвященная анализу и разработке новых методов сложения сигналов многолучевых радиоканалов, своевременна и актуальна.

Структура диссертации Диссертация состоит из введения, четырех глав с выводами по каждой главе, заключения, списка литературы и 6 приложений.

Общий объем диссертационной работы составляет 152 страницы, из них основного текста 134 страниц, в том числе рисунков 56, таблиц 7.

В первой главе выполнен обзор и анализ методов разнесенного приема сигналов в системах радиосвязи, использующих технологию пространственно-временного кодирования (MIMO). Рассмотрены варианты использования MIMO и практического применения его модификаций – SIMO, MISO, V-BLAST, H-BLAST. Поставлена цель исследования, заключающаяся в разработке методов и реализующих их алгоритмов обработки принимаемых многолучевых сигналов для повышения помехоустойчивости систем связи, использующих технологии MIMO. Конкретизированы задачи диссертационного исследования.

Во второй главе рассмотрены критерии оценки помехоустойчивости принимаемых системами MIMO сигналов и выполнен анализ известных алгоритмов обработки разнесенных сигналов. Рассмотрены методы комбинирования сигналов при разнесенном приеме и предложен алгоритм для оценки производительности системы связи с MIMO. Основное – это достижение повышенной помехоустойчивости. С этой целью исследовано применение разнесенного приема для системы связи на основе MIMO в различных вариантах использования методов комбинирования, в том числе и гибридных.

В третьей главе исследовано влияние быстрых интерференционных замираний сигналов в многолучевых радиоканалах, на помехоустойчивость приема по радиоканалам MIMO. В работе показано, что наиболее точным описанием интерференционных замираний сигнала является распределение вероятностей, называемое четырехпараметрическим законом распределения замираний, частными случаями которого являются многие другие распределения. Разработан алгоритм моделирования сигнала с четырехпараметрическим законом распределения вероятностей. Предложена программа для моделирования алгоритма MIMO, и приведены результаты

моделирования для систем MISO и MIMO. Определена вероятность срыва связи для разных алгоритмов сложения разнесенных сигналов.

В четвертой главе приводятся результаты экспериментальных исследований, выполненных с помощью компьютерного моделирования. На языке программирования C++ разработана программа для сравнения различных методов сложения сигналов MIMO при воздействии на сигнал белого шума и замираний. Сравниваются методы объединения сигналов с модуляцией QPSK при релеевском и четырехпараметрическом законах распределения замираний. Проведены эксперименты, которые показали, что при четырехпараметрическом законе распределения замираний ошибок приема больше, чем при описании замираний распределением Релея, которое наблюдается на практике не более 60% времени сеансов связи. Рекомендовано разработчикам линий связи закладывать запас энергopotенциала на 1 дБ больший, чем при релеевских замираниях, чтобы учесть возможность глубоких замираний с усеченно-нормальным законом распределения, которые тоже наблюдаются на практике.

Предложен новый метод сложения разнесенных сигналов, отличающийся от известных методом формирования взвешивающих коэффициентов при сложении. Предложенный метод назван субоптимальным, так как по сравнению с линейным сложением и автовыбором он обеспечивает в 10 раз меньший уровень ошибок, что подтверждено модельными экспериментами.

Новыми научными результатами, полученными в диссертации, являются:

1. Обоснование необходимости использования многопараметрических законов распределения вероятностей при описании интерференционных замираний, возникающих при приеме сигналов в системах MIMO.
2. Новая методика оценки вероятности срывов связи в радиоканале приемного устройства при достаточно общей четырехпараметрической модели замираний.
3. Разработанная модель и реализующая ее программа для сравнения методов сложения разнесенных сигналов MIMO.

4. Предложение и исследование новой методики субоптимального сложения разнесенных сигналов.

Практическая значимость результатов, полученных в диссертации, заключается в том, что:

1. Разработан метод субоптимального сложения сигналов ММО, всегда обеспечивающий выигрыш от 0,2 до 1 дБ по отношению сигнал/шум по сравнению с известными методами.

2. Алгоритм субоптимального сложения сигналов обеспечивает уменьшение вероятности ошибки в 10 раз при двух каналах разнесения ММО.

3. Для разработчиков линий связи с многолучевыми радиоканалами предложены рекомендации по необходимости добавления запаса энергопотенциала для противодействия глубоким многопараметрическим интерференционным замираниям.

4. Результаты работы практически использованы при разработке радиорелейных линий связи «Иракской службой по метеорологии и сейсмологии».

Степень обоснованности и достоверности научных положений диссертации Аль Тахар Инас Ануара подтверждается апробацией результатов исследований на 6 международных научных конференциях, публикацией основных результатов в 4 статьях в ведущих журналах, входящих в перечень ВАК и государственной регистрацией программы на ЭВМ по расчету затухания сигналов в пыльных бурях. Достоверность также подтверждается реальным внедрением результатов исследования в Ираке и внедрением в учебный процесс по курсу «Радиотехнические системы передачи информации». Выводы в работе логично вытекают из текста диссертации и достаточно подробно обоснованы.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Считаю целесообразным продолжить работу по направлению «Радиотехнические системы передачи информации в условиях воздействия

преднамеренных помех». Использование МИМО подхода может существенно устранить влияние помех от систем внешнего подавления.

Замечания по диссертационной работе:

1. Не ясно, зачем автор разрабатывал и исследовал адаптивный алгоритм сложения сигналов МИМО (стр. 89-91), так как оптимальное сложение всегда лучше автовыбора или линейного сложения, и если его заложили уже аппаратно, то зачем другие методы.

2. На стр. 8 ошибочно написано, что предложенный алгоритм снижает вероятность ошибки на 5 дБ. Согласно рис. 4.24 на стр. 121, вероятность ошибки снижается в 5-7 раз.

3. Автор обосновал использование многопараметрического описания замираний и в предложенных рекомендациях (стр. 122) предложил при расчете линий связи добавлять энергетический запас на противодействие замираниям, но не указал на сколько децибел.

4. Не ясно, почему нет сравнения предложенного субоптимального метода сложения разнесенных сигналов с оптимальным методом.

Указанные замечания не снижают научную и практическую значимость выполненной диссертационной работы, которая имеет логичную компоновку и внутреннее единство.

Выводы. Тема исследования является актуальной и соответствует паспорту специальности 05.12.13 (2.2.15) – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. Результатом исследований являются новые научные знания, полезные с практической точки зрения, которые достаточно подробно изложены автором в диссертационной работе. Диссертация Аль Тахар Инас Ануара обладает внутренним единством, методически правильно построена структурно. Работа написана научным языком и оформлена в соответствии с требованиями. Автореферат достаточно подробно освещает суть работы.

Представленная диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для развития радиосвязи, а автор

диссертационного исследования Аль Тахар Инас Ануар заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.15 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв на диссертационную работу обсужден и одобрен на заседании кафедры радиотехники 6 апреля 2022 г., протокол № 9.

Заключение подготовил
доктор технических наук,
заведующий кафедрой радиотехники
радиофизического факультета
ННГУ им. Н.И. Лобачевского



Е.С. Фитасов