

«УТВЕРЖДАЮ»

Первый заместитель генерального директора
Федерального государственного унитарного
предприятия «Научно-исследовательский
институт радио», кандидат технических наук



М.Ю. Сподобаев

2018 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ведущей организации - Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-исследовательский институт радио» (ФГУП НИИР) - на диссертационную работу Старовойтова Михаила Юрьевича «Разработка и исследование новых алгоритмов комбинирования антенн на приеме в системах MIMO с пространственным мультиплексированием», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Актуальность темы диссертационного исследования

Практика применения технологии MIMO в современных сетях связи ставит перед теорией радиосвязи новые задачи. Одной из задач является расширение зоны радиопокрытия наиболее спектрально эффективных режимов MIMO, к которым можно отнести однопользовательский MIMO с пространственным мультиплексированием (SU MIMO SM).

На сегодняшний день проблема повышения помехоустойчивости MIMO без внесения изменений в стандарты 3GPP и с наложением минимальных требований на сети операторов сотовой связи весьма актуальна.

В работе предлагается техническое решение с использованием комбинирования антенн в приемном тракте ведущее к повышению помехоустойчивости SU MIMO SM.

Комбинирование и выбор антенн на приеме является технологией, которая позволяет улучшить помехоустойчивость MIMO при минимальных финансовых инвестициях со стороны оператора связи и регулятора.

В работе рассмотрен как традиционный для теории способ комбинирования антенн в приемном тракте в случае стационарного радиоканала с известными параметрами матрицы канала, так и нетрадиционный способ выбора приемных антенн в условиях существенной нестационарности характеристик радиоканала при быстром движении приемника.

Отдельное внимание удалено корректной постановке проблемы обеспечения выигрыша в помехоустойчивости системы при выборе приемных антенн в условиях необходимости регулярного получения и анализа информации пилотных каналов со всех антенн приемной решетки.

Структура диссертационной работы

Работа изложена на 127 страницах текста и состоит из введения, пяти глав, заключения, перечня обозначений и сокращений, списка литературы и семи приложений. Стиль изложения научно-доказательный.

В первой главе представлен обзор известных теоретических фактов и результатов, относящихся к теме исследования. Даны модель системы с комбинированием антенн на приеме; обоснован выбор критерия, применяемого для поиска оптимальной матрицы додетекторного комбинирования; описаны известные методы комбинирования на приеме; приведены базовые факты о чтении и обработке пилотной информации в радиоканале в стандарте LTE; отмечена необходимость предсказания характеристик радиоканала для выбора антенн на приеме. Обозначены необходимые условия для работы известных методов предсказания канала,

главным из которых в нестационарном канале является обозначенное автором «круговое считывание пилотной информации» со всех антенн приемной решетки.

Введена буквенно-цифровая классификация методов, предлагаемых в работе. В основу классификации положено понятие о методе комбинирования на приеме как о сочетании функциональной схемы и алгоритма расчета параметров этой схемы. В первой главе также даны результаты моделирования помехоустойчивости МММО с известными методами комбинирования, которые служат основой для сравнительного определения эффекта от предложенных новых методов комбинирования в следующих главах.

Во второй главе предложена новая функциональная схема комбинирования сигналов на додетекторной стадии, а также разработан алгоритм вычисления параметров этой схемы, которые в совокупности отвечают требованиям повышения помехоустойчивости SU MIMO SM в условиях стационарной радиосреды по сравнению со случаем простого выбора антенн на приеме ценой минимального усложнения схемы и минимальных дополнительных вычислений, производимых новым алгоритмом. Проведено компьютерное моделирование для численного описания эффекта от применения нового метода.

В третьей главе рассмотрен случай нестационарного радиоканала в условиях быстрого движения антенной решетки на стороне приемника. Для линейной антенной решетки предложен новый алгоритм предсказания параметров радиоканала, который позволяет избежать кругового считывания пилотной информации со всех антенн в приемной решетке, и таким образом получить значительный выигрыш в помехоустойчивости от выбора антенн на приеме. Проведено компьютерное моделирование для численного описания эффекта от применения нового алгоритма.

Отдельно предложен алгоритм, позволяющий оценить предельно достижимую помехоустойчивость системы МММО с выбором антенн на

приеме при условии непрерывного кругового считывания пилотной информации со всех приемных антенн.

В четвертой главе показано влияние отличия оцененной на приеме матрицы канала от истинной на эффективность предложенных методов комбинирования и выбора антенн. Экспериментально показано, что в канале с рэлеевскими замираниями и гауссовским шумом эффект от применения предложенных методов не только не уменьшается, но в некоторых случаях увеличивается по сравнению со случаем отсутствия разницы между оценкой матрицы канала и истинной матрицей канала.

В пятой главе дается описание ожидаемого эффекта увеличения зоны действия SU MIMO SM на местности в результате применения методов, предложенных в главах 2 и 3. Моделирование проводится с применением помехоустойчивого кодирования, с мягкой демодуляцией и декодированием Витерби на приеме. Показанное увеличение зоны действия в 20% является стимулом к практическому применению новых предложенных методов на абонентской стороне в сетях подвижной связи.

В диссертации приведены все необходимые ссылки на авторов и источники заимствования, в том числе на научные работы соискателя. Признаков плагиата и недобросовестного цитирования не обнаружено. Тема и содержание диссертации соответствуют областям исследования научной специальности 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций» в части пункта 8 паспорта специальности.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, включает постановку задач, решаемых в диссертации, основные результаты и выводы, а также описание логических выводов, составляющих основу доказательной базы диссертации. Приведенные в автореферате ссылки на печатные работы автора корректны.

Научная новизна диссертационной работы

1. Разработанная функциональная схема комбинирования сигналов в приемном тракте обеспечивает выигрыш в помехоустойчивости системы SU MIMO SM в 2 дБ по сравнению с известной схемой простого выбора приемных антенн;
2. Разработанный алгоритм предсказания параметров нестационарного радиоканала при движении линейной антенной решетки на высокой скорости позволяет получить выигрыш в помехоустойчивости системы SU MIMO SM в 2,5...3,5 дБ;
3. Предложенный алгоритм выбора приемных антенн при условии повторения кругов чтения и обработки пилотной информации со всех антенн приемной решетки позволяет определить максимальный уровень помехоустойчивости системы SU MIMO SM при условии выбора приемных антенн совместно с известными алгоритмами предсказания параметров нестационарного радиоканала.

Теоретическая значимость диссертационной работы

Для нестационарного радиоканала показано ограничение на применение выбора приемных антенн, связанное с необходимостью кругового чтения и обработки пилотной информации со всех антенн решетки с целью предсказания характеристик радиоканала известными методами. Для линейной антенной решетки на приемной стороне предложен новый метод предсказания характеристик нестационарного радиоканала, позволяющий отказаться от кругового чтения и обработки пилотной информации, и применить выбор приемных антенн с выигрышем в помехоустойчивости SU MIMO SM.

Научная и практическая значимость результатов диссертационного исследования.

Научные и практические результаты, полученные соискателем в процессе выполнения работы, полезны для применения в НИР, проводимых ФГУП НИИР, и имеют практическую ценность для решения прикладных задач применения технологии MIMO на сетях подвижной радиосвязи. Практическая ценность диссертации также подтверждается использованием её результатов компанией “ООО Нокиа Солюшнз энд Нетворкс”, о чём свидетельствует соответствующий акт.

Рекомендации по использованию результатов и выводов

1. Метод комбинирования, предложенный в Главе 2, может быть рекомендован для организаций, занимающихся разработкой аппаратных и программных дополнений к абонентским комплексам из приемных решеток и усилителей радиосигнала для установки в стационарных условиях на абонентской стороне. Ожидаемым результатом будет увеличение зоны радиопокрытия для спектрально эффективного режима MIMO с пространственным мультиплексированием для фиксированных точек радиодоступа.

2. Метод предсказания характеристик радиоканала, предложенный в Главе 3, может быть рекомендован для организаций, занимающихся разработкой и внедрением новых алгоритмов на сетях подвижной связи, требующих знания характеристик радиоканала для быстро движущихся абонентов. В частности, встраивание нового алгоритма предсказания радиоканала для быстро движущихся приемников в качестве компонента решения будет полезным для разработки новых алгоритмов назначения радиоресурсов, направленных на улучшение помеховой ситуации на большом сегменте сети.

Достоверность и апробация результатов диссертационного исследования

Обоснованность научных положений и полученных результатов исследования подтверждаются:

1. Адекватностью математической модели, используемых допущений и ограничений физическим процессам, происходящим в радиосреде и в цепях приема сигнала;
2. Корректностью применения математических методов и методов моделирования к рассматриваемой модели при сделанных допущениях.

Уровень аprobации и обсуждения результатов диссертационной работы на всероссийских и международных конференциях представляется достаточным.

Публикация основных результатов диссертации и личный вклад соискателя

Изучение публикаций соискателя показало, что в них отражены основные результаты диссертационного исследования. По теме диссертации всего опубликовано 9 печатных работ, из них 5 - в рецензируемых периодических изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России. Материалы диссертации были доложены на 4 всероссийских и международных научно-технических и научно-практических конференциях, которые затрагивали темы применения технологии MIMO на сетях подвижной связи. Наличие в списке трудов работ без соавторства позволяет сделать вывод о том, что основные результаты по теме диссертации получены автором лично.

Замечания по диссертационной работе

1. В Главе 1 текста диссертации: неясно, зачем дается вывод уравнений для метода оценивания и предсказания радиоканала ESPRIT. Описания фильтра Калмана было бы достаточно.

2. В работе не отражены результаты применения предложенных методов для модуляции QPSK;

3. В Главе 2 текста диссертации дано описание алгоритма А2.2, который не предлагается в качестве финального решения оптимизационной задачи и далее в компьютерном моделировании не используется. Неясна причина введения алгоритма А2.2 в рассмотрение;

4. Примечание в конце приложения 6 текста диссертации о необходимости времени инициализации до начала применения алгоритма ПЗ нуждается в подробном обосновании.

Несмотря на перечисленные замечания, представленная работа заслуживает общей положительной оценки. Научные и практические результаты, полученные в работе, обладают новизной и представляют научную и практическую значимость.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ

Диссертационное исследование Старовойтова М. Ю. на тему «Разработка и исследование новых алгоритмов комбинирования антенн на приеме в системах MIMO с пространственным мультиплексированием» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком уровне, в которой решена научная проблема, имеющая важное техническое и социально-экономическое значение.

В целом диссертация соответствует п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Старовойтов Михаил Юрьевич заслуживает присуждения ученой

степени кандидата технических наук по специальности ВАК 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций.

Отзыв подготовлен Директором Научно-технического центра (НТЦ) Анализа электромагнитной совместимости ФГУП НИИР, доктором технических наук Веерпалу Вячеславом Энновичем.

Отзыв заслушан, обсужден и одобрен на заседании Научно-технического совета НТЦ Анализа электромагнитной совместимости ФГУП НИИР 04.05.2018 г., протокол № 4.

Директор НТЦ АЭМС ФГУП НИИР,
д.т.н. ,
Тел.: (499) 261-05-05
Эл. почта: veerpalu@niir.ru



В.Э. Веерпалу

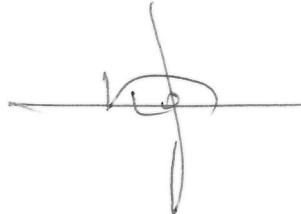
Адрес: 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, д. 16.

Телефон: +7 (495) 261-05-05

Электронная почта: veerpalu@niir.ru

Подпись директора НТЦ Анализа ЭМС ФГУП НИИР, доктора технических наук Веерпалу Вячеслава Энновича заверяю.

Ученый секретарь, к.т.н., с.н.с



В.А. Корж

Федеральное государственное унитарное предприятие Ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт радио (ФГУП НИИР). 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, 16. Телефон: (495) 647-18-30. Факс: (499) 261-00-90. Адрес электронной почты: info@niir.ru.