Отзыв
официального оппонента

на диссертацию Старовойтова Михаила Юрьевича
на тему «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 диссертации

Комбинирование антенн на приемной стороне широко и давно используется для борьбы с замираниями сигналов, начиная с развития коротковолновой радиосвязи. Однако с появлением систем с MIMO каналами эта задача получила новый толчок к развитию новых решений и использованию новых критериев оптимизации. В системах MIMO комбинирование возможно как на приемной стороне, так и на передающей.

В данной работе рассматривается случай применения комбинирования антенн на приемной стороне, не требующий обратного канала от приемника к передатчику для передачи информации о канале связи. Особенностью этого случая является использование для повышения энергетической эффективности аппаратных и программных средств лишь на приемной стороне, не затрагивая построение существующей сети подвижной связи. Простота и надежность аппаратных решений в сочетании с ограниченной сложностью вычислений в алгоритмах весьма затребованы практикой. В работе Старовойтова М.Ю. предлагаются новые аппаратно-программные решения по комбинированию сигналов на приеме в системах с MIMO каналом как для стационарного, так и для нестационарного радиоканала.

Обзор содержания диссертации

Диссертация состоит из оглавления, введения, пяти глав, заключения, списка обозначений и сокращений, списка литературы и семи приложений. Объем работы составляет 127 страниц, 21 из которых составляют приложения. В одном из приложений содержится акт о внедрении результатов диссертации.

Вход. № 78/18
«09» 06 2018 г.
подпись

В Главе 1 рассмотрены основные результаты, используемые либо развиваемые в диссертации. Представлена модель однопользовательской системы с пространственным мультиплексированием в MIMO канале с комбинированием сигналов от приемных антенн на додетекторной стадии. Для вычисления матрицы линейного комбинирования выбран критерий максимума емкости канала MIMO.

Подробно рассматривается вариант выбора антенн для быстро движущейся приемной антенной решетки в системе MIMO. Выстраивается цепь логических рассуждений, позволяющая для случая нестационарного канала показать необходимость поочередного и циклически повторяющегося считывания пилотной информации со всех антенн приемной решетки. Демонстрируется ограничение на достижимый выигрыш в характеристиках системы, следующее из необходимости кругового считывания пилотной информации.

В Главе 2 рассмотрен случай стационарного радиоканала. Разработана новая функциональная схема комбинирования на приеме, дающая выигрыш в 2дБ по сравнению со схемой выбора антенн при аналогичной асимптотической сложности вычислений параметров. В результате моделирования показано, что новая функциональная схема по аппаратной сложности реализации и по помехоустойчивости занимает промежуточное положение между известной схемой оптимального сложения и классической схемой выбора антенн.

В Главе 3 предложен метод предсказания параметров MIMO канала для случая линейной антенной решетки, позволяющий отказаться от кругового считывания пилотной информации и эффективно применить выбор антенн на приеме для MIMO в условиях быстро движущейся антенной решетки. Проведено моделирование, показывающее выигрыш нового метода предсказания параметров канала и выбора антенн на приеме по сравнению с методом без выбора антенн на приеме в диапазоне 2,5-3,5 дБ. Доказательство корректности сравнения нового метода с режимом без выбора антенн представлено.

В главах 4 и 5 дана дополнительная информация об особенностях применения методов, разработанных в диссертации, в условиях, приближенных к условиям в реальной сотовой сети.

В Главе 4 представлены результаты моделирования при неточной информации о параметрах канала на приеме. Результаты подтверждают эффективность метода, предложенного в главе 2, по сравнению с обычным выбором антенн, а также эффективность метода предсказания и выбора антенн, предложенного в параграфе 3.1 по сравнению с

режимом без выбора антенн, как при точно известном канале, так и при наличии ошибок в оценках параметров канала.

В Главе 5 исследовано соответствие между выигрышем в помехоустойчивости и увеличением зоны действия на местности в однопользовательском режиме с пространственным мультиплексированием в MIMO канале для новых методов по сравнению с известными методами.

В **Заключении** изложены основные результаты исследований и моделирования, полученные в диссертации.

Научная новизна

1. Разработан подход к построению и оптимизации алгоритма комбинирования принимаемых сигналов в системах связи с MIMO каналами. Методом математического моделирования доказана его эффективность.

2. Предложен алгоритм предсказания канала для выбора антенн в системах связи с MIMO каналом, основанный на повторяемости положения элементов линейной периодической антенной решётки при её движении. Приведены условия его использования. Методом математического моделирования подтверждена эффективность данного алгоритма.

Практическая ценность

В результатах диссертации ясно выражена ее практическая направленность. Несмотря на использование критерия максимума взаимной информации в канале, конечной целью исследований является повышение энергетической эффективности системы связи с MIMO каналом. Все результаты моделирования в диссертации рассматриваются с точки зрения получения выигрыша в помехоустойчивости при использовании новых методов по отношению к известным. Выигрыш в помехоустойчивости в итоге трансформируется в увеличение зоны покрытия базовой станции. При этом не остается без внимания вопрос сложности как программной части, реализующей вычисление параметров алгоритма комбинирования, так и аппаратной части, непосредственно, реализующей процедуру комбинирования сигналов.

Практическая ценность диссертации подтверждается соответствующим актом о внедрении результатов в Приложении 7.

Недостатки

1. В диссертации для оптимизации алгоритма комбинирования использовался критерий максимума взаимной информации. При этом не даётся достаточно полного обоснования, почему используется именно этот критерий.

2. В диссертации оговариваются условия применения предложенного метода предсказания, которые являются достаточно ограничивающими область его использования, при этом отсутствуют оценки вероятности выполнения этих условий на практике в условиях реальных сетей на местности;

3. Предлагаемый в главе 3 алгоритм предсказания использован только для линейной (одномерной) антенной решётки, что привело к появлению условия использования данного алгоритма только для прямолинейного движения приемника. Использование двумерной антенной решётки, возможно, привело бы к снижению требований этого условия или его полной отмене.

4. В параграфе 3.1 не раскрыт вопрос о достижимой точности определения и предсказания скорости движения объекта.

К недостаткам можно частично отнести также фразеологические повторы в тексте диссертации и автореферата.

Следует отметить, что выявленные недостатки не являются критическими и не снижают ценность диссертации в целом.

Обоснованность методов исследования

Правомерность применения испытаний Монте-Карло к моделированию в отношении использованной автором линейной модели системы узкополосного канала LTE с релеевскими замираниями и гауссовским шумом с целью получения характеристик помехоустойчивости системы обоснована в известной научной литературе. В списке литературы приведены необходимые ссылки на теоретические работы по методологии моделирования в рассмотренном случае. Отдельно в Приложении 1 приведено обоснование достаточности принятого числа испытаний Монте-Карло для получения каждой точки на графике помехоустойчивости с необходимой степенью точности.

Заключение по диссертации

Работа Старовойтова М.Ю. является примером удачного поиска путей повышения помехоустойчивости системы с MIMO каналом в сетях подвижной связи, не затрагивающих структуру самой сети, а реализуемых только путём некоторой модификации антенной части и линейного тракта приемника, что позволяет полученные результаты использовать как в существующих сетях связи, так и перспективных. Диссертация написана общепринятым научным языком, изложение является последовательным и полным. Использованный в диссертации математический аппарат адекватен исследовательским задачам, теоретические выкладки и компьютерное моделирование проведены на высоком профессиональном уровне.

Согласно вышеизложенному, предлагаю признать работу Старовойтова Михаила Юрьевича соответствующей формальным требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание степени кандидата технических наук. Считаю автора достойным присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.12.13 - «Системы, сети и устройства телекоммуникаций».

Официальный оппонент:
Бакулин Михаил Германович,
начальник отдела Информационных технологий
кандидат технических наук
(специальности 05.12.02, 05.12.17) Бакулин М. Г.

Сведения об организации:
Общество с ограниченной ответственность
«Радарные технологии – 2Т»
Адрес: 125009, г. Москва, ул. Тверская, дом 12 стр. 9 - 92.
тел. +7(495) 786-97-09,
email: m.g.bakulin@gmail.com

Подпись официального оппонента, к.т.н.
Бакулина М.Г. заверяю

Генеральный директор
ООО «Радарные технологии – 2Т» Масловский А.В.

"Радарные технологии-2Т"