Янцен Александр Сергеевич. Анализ помехоустойчивости систем радиосвязи, использующих технологию MIMO: диссертация ... кандидата Технических наук: 05.12.13 / Янцен Александр Сергеевич;[Место защиты: ФГБОУ ВО Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики], 2017

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Сибирский государственный университет телекоммуникаций и

информатики»

На

Янцен Александр Сергеевич

АНАЛИЗ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ,

ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЮ MIMO

Специальность 05.12.13 - Системы, сети и устройства телекоммуникаций

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Носов В.И.

НОВОСИБИРСК - 2017

Оглавление

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 5

СПИСОК ОБОЗНАЧЕНИЙ 6

ВВЕДЕНИЕ 8

1 АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ MIMO И ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОГО

КОДИРОВАНИЯ 20

1.1 Пространственно-временное кодирование 20

1.2 Система MIMO без обратной связи 26

1.3 Система MIMO с обратной связью 27

1.4 Коэффициенты корреляции 31

1.5 Помехоустойчивость разнесенного приема в каналах с наличием

корреляции между параметрами 39

1.6 Постановка задачи исследования 43

Выводы по первой главе 45

2 ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОСИСТЕМ С

РАЗНЕСЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙИ ПРИЕМОМ ПО КОРРЕЛИРОВАННЫМ КАНАЛАМ 47

2.1 Коэффициент корреляции при вертикальном разносе антенн для

реального углового рассеивания мощности 47

2.2 Помехоустойчивость MISO для неоднородных и непостоянных

во времени каналов с наличием корреляции 53

2.3 Частные случаи вероятности ошибки системы MISO 57

2.3.1 Двух антенная система MISO 57

2.3.2 Трех антенная система MISO 59

2.3.3 Четырех антенная система MISO 61

2.3.4 Двух, трех и четырех антенные системы MISO и SIMO 64

2.4 Помехоустойчивость системы MIMO для однородных каналов с

учётом корреляции сигналов 66

Выводы по второй главе 82

3. ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ РАДИОСИСТЕМ С РАЗНЕСЕННОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ И ПРИЕМОМ ПО СОБСТВЕННЫМ ПОДКАНАЛАМ 85

3.1 Спектральная эффективность 85

3.2 Оценка помехоустойчивости в случае представления системы MIMO

в виде пространственных подканалов 94

3.3 Алгоритмы распределение мощности для MIMO 4x4, 3x3, 2x2 99

3.3.1 Двух антенная система MIMO 103

3.3.2 Трёх антенная система MIMO 105

3.3.3 Четырех антенная система MIMO 107

3.4 Сравнение MIMO различных порядков для однородных и

неоднородных каналов 107

3.5 Сравнение результатов для MIMO, MISO и SIMO для неоднородных

и непостоянных каналов для произвольного количества приемо-передающих антенн 109

Выводы по третьей главе 112

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ 113

4.1 Модель вычисления помехоустойчивости систем MISO и SIMO для

неоднородных и непостоянных во времени каналов 113

4.2 Модель вычисления помехоустойчивости системы MIMO, MISO и

SIMO для однородных и постоянных во времени каналов 118

4.3 Модель вычисления спектральной эффективности системы MIMO на

основе сингулярного разложения канальной матрицы 124

4.4 Модель вычисления помехоустойчивости системы MIMO на основе

сингулярного разложения канальной матрицы 128

Выводы по четвертой главе 134

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ 141

ПРИЛОЖЕНИЕ А 147

ПРИЛОЖЕНИЕ Б 148

ПРИЛОЖЕНИЕ В 149

ПРИЛОЖЕНИЕ Г 150

ПРИЛОЖЕНИЕ Д 151

ПРИЛОЖЕНИЕ E 152

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж 153

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время происходит интенсивное развитие систем беспроводной связи. Повышение скорости передачи данных и уменьшение вероятности ошибок является одним из приоритетных направлений.

В многолучевых системах разнос антенн является эффективным способом борьбы с замираниями. Одним из первых способов являлся разнос антенн только на приеме - система SIMO. Он позволяет увеличить помехоустойчивость системы без применения техник пространственного кодирования. Позже с разработкой в области пространственно-временных решетчатых и блочных кодов стала применяться техника разноса только на передаче, называемой также технологией MISO, а также одновременно на приеме и передаче - технология MIMO.

Между составляющими коэффициентов передачи разнесенных каналов почти всегда существует некоторая зависимость, которая характеризуется коэффициентами взаимной корреляции. При этом необходимо рассматривать множественную корреляцию сигналов: пространственную в горизонтальной и вертикальной плоскостях; поляризационную; кодовую.

Наиболее перспективным развивающимся направлением является представление системы MIMO в виде пространственных подканалов, полученных с использованием сингулярного разложения матрицы коэффициентов передачи. Эти подканалы являются параллельными, так как передают независимые потоки данных пространственно временного блочного кода.

В ходе исследования разработаны ряд методик и решены следующие задачи:

1. В экспериментальных исследованиях, представленных в литературе было показано, что в условиях городской застройки рассеянная энергия поступает на вход приемника в горизонтальной плоскости с непрерывного диапазона углов, а в вертикальной плоскости с диапазона углов, описываемого Гауссовым распределением. Исходя из этого было получено аналитическое выражение для коэффициента пространственной корреляции сигнала в вертикальной плоскости.
2. Наряду с пространственным разносом антенн, может быть использован и поляризационный разнос, поэтому была получена формула множественного коэффицинета корреляции. Следует отметить, что полученный по приведённой методике множественный коэффициент корреляции с учётом пространственного распределения приходящей мощности, используется в качестве элементов матриц корреляции для: систем MISO и SIMO; определения матриц корреляции системы MIMO; расчета канальной матрицы, расширенной корреляционной.
3. В литературе была показана возможность применения формулы определения помехоустойчивости системы SIMO для расчета помехоустойчивости системы MISO. Эта формула имеет очень важный недостаток - она справедлива лишь при условии статистически однородных разнесённых каналов. Поэтому была разработана методика определения помехоустойчивости системы MISO для случая, реальных условий распространения сигнала. По этой методике были получены формулы определения вероятности ошибки для MISO2x1, MISO3x1 и MISO4x1, по которым проведено сравнение помехоустойчивости систем для однородных и неоднородных каналов. Проведено также сравнение помехоустойчивости систем MISO и SIMO для однородных и неоднородных каналов.
4. В настоящее время все больше интерес проявляется к технологии

MIMO, поэтому была разработана методика определения

помехоустойчивости системы MIMO путем поиска собственных значений матрицы, полученной из произведения канальной матрицы и матрицы множественной корреляции для статистически однородных каналов. По предложенной методике получены выражения вероятности ошибки для случаев MIMO2x2, MIMO3x3 и MIMO4x4. Предложенная методика позволила сравнить помехоустойчивость систем с разносом антенн на приёме SIMO, с разносом антенн на передаче MISO и с разносом антенн на приёме и на передаче MIMO для однородных во времени каналов.

1. Анализ научных работ показал, что спектральная эффективность с точки зрения корреляции практически нигде не исследуется, не говоря даже о множественном виде корреляции. Поэтому была разработана методика, позволяющая определить спектральную эффективность технологии MIMO в случае многолучевого распространения сигналов при учёте множественной корреляции сигналов в антеннах с использованием различных алгоритмов распределения мощности между пространственными подканалами. Получена новая канальная матрица множественной корреляции, учитывающая влияние пространственного и поляризационного разноса. Учитывая многообразие канальной матрицы, предложено усреднить спектральную эффективность по всем возможным значениям канальной матрицы. В результате получена новая формула определения спектральной эффективности системы MIMO с учётом влияния множественной корреляции. Предложенная методика учёта множественной корреляции для определения спектральной эффективности технологии MIMO была использована при учёте различных способов распределения мощности между собственными подканалами - равномерное распределение мощности, передача всей мощности в канал с максимальным усилением, распределение мощности по водоналивному алгоритму. Получены выражения определения спектральной эффективности для рассматриваемых случаев.
2. Адаптивная пространственная обработка сигналов при передаче и приеме в MIMO-системе может быть реализована с использованием сингулярного разложения канальной матрицы [29-32]. Сформированные таким образом параллельные подканалы для передачи данных называются собственными, так как используют в качестве весовых векторов пространственной обработки собственные векторы канальной матрицы. Каждый собственный подканал соответствует одному из собственных векторов и собственных чисел. Максимальное количество подканалов, которое можно сформировать, определяется статистическими свойствами среды распространения радиоволн и равно рангу канальной матрицы. Поэтому была разработана методика определения помехоустойчивости системы MIMO для случая реального распространения сигнала на основе знания о параллельных собственных подканалах. При разработке методики были решены следующие задачи: создана канальная матрица коэффициентов передачи канала при помощи команды в программе Matlab для соответсвующего количетсва приемных N и передающих M антенн; создана матрица коэффициентов корреляции для необходимого количетсва приемо­передающих антенн; создана матрица коэффициентов передачи каналов, учитывающая множественную корреляцию; найдены собсвенные числа канальной матрицы и сингулярные числа объединённой канальной и корреляционной матриц; получена матрица распределения мощности по подканалам в соответствии с выбранным алгоритмом. Получены выражения для определения вероятности ошибки для разных алгоритмов распределения мощности в параллельные подканалы для MIMO4x4, MIMO3x3 и MIMO2x2. По предложенным методикам произведено сравнение помехоустойчивости систем SIMO, MISO и MIMO для не однородных во времени каналов.
3. На основе данных сравнительного анализа кривых помехоустойчивости MIMO-систем различных порядков построенных по аналитически полученным формулам, и полученных экспериментально при моделировании в среде MatLAB, делается вывод, что полученные формулы для расчета матрицы коэффициентов передачи и определения вероятности ошибки совпадают с экспериментальными результатами.

Наиболее значимыми новыми научными результатами являются:

1. Разработана методика определения помехоустойчивость приёма технологии MISO с учётом неоднородности разнесённых каналов и наличием множественной корреляции с разработкой её матричной модели.
2. Разработана методика определения помехоустойчивости приёма технологии MIMO для однородных каналов с наличием множественной корреляции разнесённых сигналов.
3. Разработана методика определения пропускной способности технологии MIMO в случае многолучевого распространения сигналов при учёте множественной корреляции сигналов в антеннах с учётом распределения мощности между собственными подканалами.
4. Разработана методика оценки помехоустойчивости технологии MIMO М-го порядка в каналах с замираниями с учётом неоднородности разнесённых каналов на основе сингулярного разложения обобщённой канальной и корреляционной матриц и информации о характеристиках параллельных собственных подканалов.