На правах рукописи

Меняев Ян Алексеевич

Модели и методы повышения помехоустойчивости корпоративных беспроводных систем с удаленным доступом

Специальность 05.13.17 – Теоретические основы информатики

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2004

Работа выполнена в Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Черненький В.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Ромашкова О.Н.

кандидат технических наук, ст. науч. сотрудник Можаров Г.П.

Ведущая организация: НПК НИИ дальней радиосвязи

Защита диссертации состоится 23 сентября 2004 г. на заседании диссертационного совета Д 212.141.10 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 107005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ваши отзывы в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим высылать по указанному адресу.

Автореферат разослан «5» августа 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н., доцент Иванов С.Р



1. Общая характеристика работы

Актуальность темы. Интенсивное развитие сетевых технологий с удаленным доступом в последние годы характеризуется существенным повышением уровня требований, предъявляемых к разработке новых, более эффективных способов передачи и приема информации в распределенных корпоративных системах. В настоящее время значительно расширился круг задач, решаемых техническими ресурсами корпоративных сетей по обеспечению максимальной пропускной способности с гарантированным качеством. В первую очередь это обусловлено активным развитием сетевых технологий с интеграцией услуг, требующих от каналов связи оптимальной производительности.

Развитие корпоративных сетей с удаленным беспроводным доступом предполагает совершенствование методов передачи и приема данных, прежде всего, на физическом уровне. Одна из главных проблем беспроводного способа соединений заключается в том, что информационный канал не может быть ограничен физически от влияния шумов и помех. Это обусловлено тем, что радиоканал изначально является информационной средой с открытым распространением. Поэтому, для осуществления беспроводных сеансов связи требуются более надежные способы выполнения соединений, в отличие от кабельных технологий удаленного доступа.

Анализ условий функционирования систем рассматриваемого типа показывает, что довольно важными, в этой связи, становятся вопросы проектирования приемопередающих устройств, от работы которых зависит результирующее качество функционирования узлов беспроводной вычислительной сети. Наиболее актуальными при этом являются задачи повышения помехоустойчивости корпоративных беспроводных систем, функционирующих на границе зоны радиопокрытия вычислительной сети.

Цель работы и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка моделей и методов повышения помехоустойчивости корпоративных беспроводных систем с удаленным доступом, учитывающих непроизводительные системные потери, связанные с искажениями сетевых пакетов в физической среде.

В соответствии с поставленной целью исследования проводились по следующим основным направлениям:

1. Анализ существующих методов обеспечения помехоустойчивости беспроводных систем с учетом требований стандарта Wireless Fidelity, предъявляемых к характеристикам физического уровня.
2. Разработка метода оценки параметров информационных сигналов на основе фрактальной статистической теории.
3. Разработка модели комбинационного многолучевого приемника с фрактальным анализом канала.
4. Разработка модели анализа помехоустойчивости радиомаршрутизатора, осуществляющего повторную передачу сетевых пакетов, искаженных случайными шумами и помехами.
5. Разработка метода расчета загрузки общего пула буферов маршрутизатора.

Предмет исследования. Предметом исследования настоящей работы является помехоустойчивость беспроводных вычислительных сетей Wireless Fidelity (Wi-Fi).

Методы исследования. Результаты проведенных исследований получены на основе комплексного использования теории фракталов, теории вероятностей и математической статистики, теории массового обслуживания, теории радиосистем передачи информации, теории статистической радиотехники.

Научная новизна. В работе получены и выносятся на защиту следующие новые научные результаты:

- метод фрактальной оценки информационных процессов физического уровня;
- модель комбинационного многолучевого приемника;
- модель анализа помехоустойчивости беспроводного маршрутизатора;
- метод расчета загрузки общего пула буферов пакетами.

Практическая ценность. Разработанные модели и методы позволяют адекватно описывать функционирование корпоративных беспроводных систем с учетом физических характеристик среды радиоканалов. На основе представленных моделей и методов разработан комплекс методик и алгоритмов по повышению помехоустойчивости удаленных беспроводных систем. Приведены конкретные практические рекомендации по их использованию в разработке аппаратуры беспроводных радиомаршрутизаторов. Практическая ценность состоит в том, что полученные результаты и установленные закономерности позволяют реализовывать более надежные способы выполнения беспроводных соединений.

Внедрение результатов работы. Разработанные модели и методы внедрены в ЦНИТИ «Техномаш» и в Учебно-научном центре факультета ИБМ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Полученные результаты рекомендованы к использованию при решении задач проектирования и анализа как функционирующих, так и развертываемых сегментов вычислительных сетей, работающих на принципах беспроводной передачи данных. В обеих организациях внедрение дало положительный результат, что подтверждено соответствующими актами.

Апробация работы. Материалы работы были изложены автором на следующих конференциях и семинарах:

- Научно-технический семинар кафедры «Системы обработки информации и управления», М., МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003 г.
- 5-я международная конференция «Молодежь и наука. Компьютерные науки. Информационные технологии», М., МИФИ, 2002 г.
- 5-й всероссийский научно-практический семинар «Новые информационные технологии», М., МГИЭМ, 2002 г.
- Ежегодная международная научно-техническая конференция «Интеллектуальные системы управления и обработки информации», Уфа, УГАТУ, 2001 г.

Публикации по теме. По материалам работы опубликовано 5 печатных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий

объем работы составляет 195 страниц. Список литературы содержит 159 библиографических источников. Диссертация проиллюстрирована 34 рисунками и графиками, а также содержит 9 таблиц.

2. Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цели и задачи исследования, приводятся основные положения. Излагается краткое содержание глав диссертации, а также показывается логическая связь между ними.

В первой главе исследуются основные принципы функционирования беспроводных вычислительных сетей на базе стандарта Wireless Fidelity (Wi-Fi). Проводится анализ требований стандарта, предъявляемых к информационным характеристикам физического уровня беспроводных сетей. Показывается, что физический уровень технологии Wi-Fi является самостоятельной информационной системой, требующей проведения комплексного исследования помехоустойчивости. Определяются преимущества использования в технологии Wi-Fi широкополосных информационных сигналов, анализ которых лег в основу дальнейших исследований, выполняемых в рамках диссертационной работы. На основе проделанного анализа этой технологии показана необходимость разработки методов обеспечения помехоустойчивости корпоративных беспроводных систем.

Ставится задача повышения помехоустойчивости корпоративной беспроводной системы с целью минимизации ее физических потерь в условиях ухудшения в каналах помеховой обстановки. Для выполнения исследований помехоустойчивости используется соответствующая модель удаленной беспроводной системы, основывающаяся на схеме распределенной сети на базе соединения «точка-точка» (рис. 1).

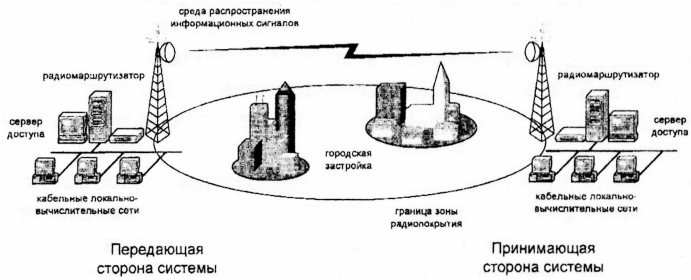


Рис. 1. Модель беспроводной системы с удаленным доступом (на базе соединения «точка-точка»)

В данной обобщенной модели системы беспроводные маршрутизаторы корпоративной сети определены как координационные узлы, которые осуществляют обработку запросов соединений, используя некоторый фиксированный ресурс радиоканалов. Принимается ограничение, которое состоит в том, что функционирование вычислительной сети происходит в пределах одной зоны радиопокрытия, т.е. предполагается, что смежные зоны

работают независимо и не оказывают взаимного влияния. Это позволяет произвести формализацию удаленной корпоративной системы в виде следующей модели:

$$M = (U, I, S, F, Q) \quad (1)$$

где

$U = \{U_1, U_2\}$ – приемопередающие устройства системы: U_1 – оборудование принимающей стороны, U_2 – оборудование передающей стороны;

$I = \{I_1, I_2\}$ – исходная информация: I_1 – полезные сигналы, I_2 – сетевые пакеты;

$S = \{S_1, S_2\}$ – среда распространения информационных сигналов: S_1 – ограничения по затуханию и рассеянью волн, S_2 – шумовые характеристики обстановки радиоэфира;

$F = \{F_1, F_2, F_3\}$ – правила проведения сеансов связи: F_1 – необходимые условия выполнения соединений в радиосети, F_2 – принципы коммутации сетевых пакетов, F_3 – способы управления каналами радиоинтерфейса;

$Q = \{Q_1, Q_2, Q_3\}$ – параметры качества связи в сети: Q_1 – пропускная способность, Q_2 – отношение сигнал/шум, Q_3 – непроизводительные временные задержки.

Особенность такой формы представления модели заключается в том, что беспроводная сеть исследуется с точки зрения улучшения физических параметров системы, что в свою очередь позволяет непосредственно перейти к анализу системных потерь. При этом функциональные преобразования над информационными процессами в модели (1) задаются следующим соотношением:

$$Q = F(U, S(I)) \quad (2)$$

Данное выражение однозначно определяет необходимую формализацию для проведения изучения помехоустойчивости корпоративной беспроводной сети. В соответствии с таким подходом обобщенная модель состоит из передающей и принимающей системных частей, что дает возможность исследовать потери, возникающие в информационных каналах, каждой из сторон отдельно. Такое разделение области исследования на части является целесообразным ввиду значительных сложностей, возникающих при анализе системы в целом.

С учетом поставленной задачи и предложенной обобщенной модели, проводится анализ существующих методов обеспечения помехоустойчивости беспроводных систем, отмечаются их основные достоинства и недостатки. Анализ показывает, что для уменьшения физических потерь и повышения помехоустойчивости беспроводных систем могут применяться два класса методов: энергетические и кодовые. Классификация этих методов произведена следующим образом:

I. Энергетические методы.

1. Использование оптимальных видов модуляции сигналов.
2. Расширение спектра сигналов по псевдослучайному закону.
3. Разнесение сигналов с последующим комбинированием.

II. Кодовые методы.

1. Выявление искажений кодами контроля четности.
2. Исправление ошибок кодами коррекции.
3. Разделение информационных битов кодами перемежения.

Группе энергетических методов посвящено значительное количество работ, в основном, радиотехнических школ. Их основное внимание сосредоточено на физических аспектах выполнения соединений и в гораздо меньшей степени – на проблемах общесистемных потерь. С другой стороны группа кодовых методов широко рассматривается в работах информационных школ. Однако в них наряду с изучением логического кодирования в недостаточной мере рассматриваются вопросы причин возникновения физических искажений.

Между группами энергетических и кодовых методов обеспечения помехоустойчивости можно выделить следующее сходство: обе группы методов пытаются максимально наполнить информационное пространство физического уровня как можно большим количеством разнесенных состояний (позиций). При этом, общим недостатком всех перечисленных методов следует назвать то обстоятельство, что в результате их применения пропорционально уменьшается эффективная пропускная способность беспроводной системы.

Во второй главе исследуются вопросы оценки параметров широкополосных сигналов, используемых на физическом уровне беспроводных систем Wi-Fi. Разрабатывается метод оценки сигналов, основанный на перспективной и динамично развивающейся в настоящее время теории фракталов, которая достаточно глубоко отражает физические процессы, происходящие в радиоканалах беспроводных систем.

Проводится анализ основных видов фрактальных статистик информационных процессов. По результатам сравнительного анализа сделан выбор в пользу *VK* статистики. Данная статистика в большей степени отвечает специфике задач приема зашумленных сигналов, поскольку осуществляет логарифмическую оценку меры самоподобия процессов, более эффективна за счет использования всех накопленных отсчетов, а также имеет довольно хорошую точность анализа по сравнению с традиционной *R/S* статистикой.

Разработанный метод фрактальной оценки зашумленных сигналов основан на анализе и идентификации наблюдаемых процессов. Выявление в процессах физического уровня беспроводных систем признаков самоподобия производится на основе показателей *VK* статистики K_N и A_N. Идентификация и разграничение процессов осуществляются с помощью следующих полученных соотношений:

$$K_N = \frac{(N-i_b)\sum_{i=i_b}^{N} y_i \lg i\Delta t - \sum_{i=i_b}^{N} y_i \sum_{i=i_b}^{N} \lg i\Delta t}{(N-i_b)\sum_{i=i_b}^{N} \lg i\Delta t \lg i\Delta t - (\sum_{i=i_b}^{N} \lg i\Delta t)^2} \qquad (3)$$

$$A_N = \frac{\sum_{i=i_b}^{N} y_i \sum_{i=i_b}^{N} \lg i\Delta t \lg i\Delta t - \sum_{i=i_b}^{N} \lg i\Delta t \sum_{i=i_b}^{N} y_i \lg i\Delta t}{(N-i_b)\sum_{i=i_b}^{N} \lg i\Delta t \lg i\Delta t - (\sum_{i=i_b}^{N} \lg i\Delta t)^2} \qquad (4)$$

где N – количество отсчетов сигнала, $y_i = \lg[VK_i]$ – отсчеты *VK* статистики.

Проводится моделирование добавления шума к отсчетам сигнала. Результаты исследования шума показывают, что при любом логарифмическом масштабе временного накопления фрактальные показатели сигнала способны сохранять устойчивую возрастающую тенденцию (рис. 2).

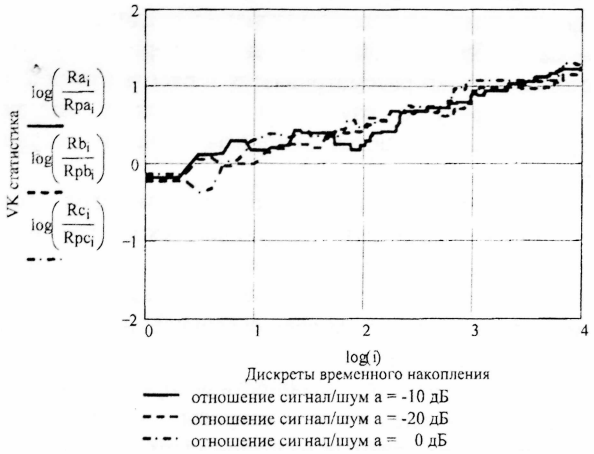


Рис. 2. Фрактальная статистика реализаций процесса приема при различных значениях отношения сигнал/шум

Исследование полученных зависимостей позволяет заключить, что фрактальная *VK* статистика практически не зависит от уровня шума в радиоканале. Показатели статистики определяются только моделью флуктуации анализируемых информационных параметров. Найденные асимптотические значения фрактальных показателей для различных моделей зашумления отсчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Фрактальные разграничения классифицирующего дифференциального показателя K и дополнительного сдвигающего показателя A

Тип процесса	$K_{ср}$	$\pm \Delta K$	$A_{ср}$	$\pm \Delta A$
Гауссовская модель	0.370	0.011	- 0.255	0.036
Рэлеевская модель	0.398	0.011	- 0.281	0.037
Равномерная модель	0.451	0.010	- 0.233	0.032
Арксинусная модель	0.476	0.009	- 0.220	0.030

Из табл. 1 видно, что различным физическим моделям зашумления соответствуют разные значения фрактальных показателей. Это позволяет сделать вывод о том, что плотности распределений параметров сигнала могут быть идентифицированы с помощью единого фрактального показателя. Тогда, осуществляя накапливание отсчетов и выполняя фрактальный анализ, можно

проводить идентификацию информационных параметров сигнала в соответствии с типом физического процесса.

На основе полученных результатов предлагается производить предварительную оценку параметров огибающей и фазы широкополосных информационных сигналов, используемых в беспроводных сетях Wi-Fi. Известно, что огибающая сигнала может описываться гауссовским и рэлеевским законами распределения, а фаза сигнала – равномерным и арксинусным. Тогда в случае, когда тенденции входных процессов носят изменяющийся характер, идентификация флуктуаций огибающей и фазы будет способствовать повышению помехоустойчивости приема, прежде всего, ослабленных зашумленных сигналов. Это связано с тем, что корреляционные характеристики широкополосных сигналов хорошо согласуются с фрактальными накапливающими статистиками информационных процессов. Таким образом, при введении в беспроводный приемник фрактального анализа появляется новая возможность проведения оценки процессов, что позволит повысить информативность традиционных методов обработки сигналов.

Далее осуществляется исследование характеристик физической среды беспроводного канала, для чего рассматривается модель на основе обобщенного фрактального винеровского процесса. С помощью данного случайного процесса проводится изучение добавления шума к отсчетам полезного сигнала исходя из принципов самоподобия. Проводится моделирование процесса зашумления нестационарного беспроводного канала исходя из следующей функции плотности распределения вероятностей (рис. 3):

$$p(\Delta x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\, f\{\sigma^H(\Delta t)\}} \exp\left\{-\frac{1}{2}\frac{\Delta x^2}{f\{\sigma^{2H}(\Delta t)\}}\right\} \qquad (5)$$

где H – показатель Херста, $m\{\Delta x\} = 0$, $\sigma^2_{\Delta x} \sim f\{\sigma^{2H}(\Delta t)\}$.

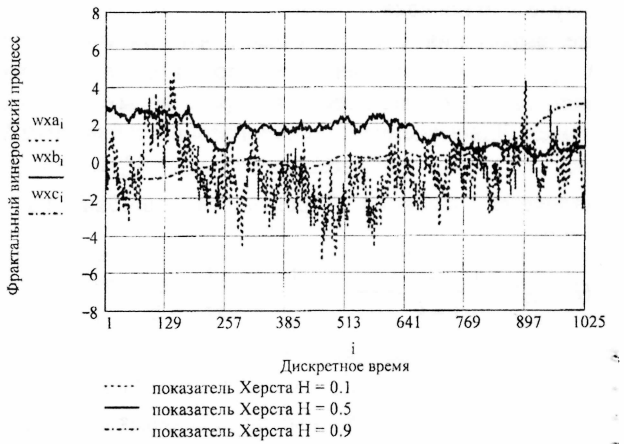


Рис. 3. Профиль самоподобных отклонений отсчетов сигнала в зависимости от показателя Херста H

Исследования параметров распределения показывают, что обобщенный винеровский процесс может быть применен для построения модели нестационарной дисперсивной среды радиоканала с целью изучения влияния различных неоднородностей. Проведенное моделирование приращений отсчетов показывает, что фрактальные подходы являются довольно эффективными в построении таких самоподобных моделей зашумления.

В третьей главе решаются задачи, связанные с обеспечением помехоустойчивости принимающей стороны беспроводной системы и исследуются проблемы удаленного приема информационных сигналов (рис. 1). Увеличение пропускной способности удаленных беспроводных систем Wi-Fi во многом сдерживается явлением замирания, которое является важным фактором, препятствующим приему сигналов с малой вероятностью ошибки. Для предотвращения замираний и повышения помехоустойчивости системы предлагается проводить комбинированный многолучевой прием сигналов. Вводимый способ приема является реализуемым благодаря тому, что в беспроводных вычислительных сетях используются широкополосные информационные сигналы. Тогда сигнальные лучи могут быть разделены по времени прихода и затем объединены вместе.

Для проведения исследования замираний информационных сигналов определена вероятностная модель многолучевого распространения в канале. Функция плотности вероятностей огибающей импульсной характеристики канала u задана следующим образом:

$$p(u)=\frac{u}{b_{мл}\sqrt{2\pi d_0}}\int_0^{\infty}\frac{1}{z}\exp\left(-\frac{(\ln z-m)^2}{2d_0}-\frac{(u^2+z^2)}{2b_{мл}}\right)I_0\left(\frac{uz}{b_{мл}}\right)dz \qquad (6)$$

где $b_{мл}$ – средняя мощность переотраженной многолучевой компоненты, d_0 – дисперсия огибающей компоненты прямого луча, $I_0(\,)$ – модифицированная функция Бесселя нулевого порядка.

Исследование выражения (6) показывает, что плотность вероятностей огибающей $p(u)$ при больших значениях u может быть аппроксимирована гауссовским законом распределения, а при малых значениях u – распределением Рэлея. Для изучения помехоустойчивости системы Wi-Fi в этих условиях вводится коэффициент рассеяния среды $k^2_{рас}=\tilde{d}_0/\tilde{b}_{мл}$, на основе которого анализируется функция вероятности ошибки на один бит информации:

$$P_{ош}(h,k_{рас})=\frac{1}{2}\frac{1+k^2_{рас}}{1+k^2_{рас}+h^2}\exp\left(-\frac{k^2_{рас}}{1+k^2_{рас}+h^2}h^2\right) \qquad (7)$$

где h^2 – отношение сигнал/шум по мощности.

С помощью коэффициента $k^2_{рас}$ удается разграничивать изменения помеховой обстановки канала. Проведенные исследования показывают, что при $k^2_{рас}\approx 0$ для беспроводного канала наиболее приемлемой является рэлеевская модель. Напротив, если $k^2_{рас}\to\infty$, то при наблюдении помеховой обстановки наиболее эффективной является гауссовская модель.

На основе рассмотренных особенностей исходных помеховых условий разработана модель комбинационного многолучевого приемника с

фрактальным анализом канала. Для выполнения повышения помехоустойчивости приемника предлагается осуществлять предварительный анализ импульсной характеристики радиоканала с помощью предложенного в диссертационной работе фрактального оценочного метода. В разработанной модели производится комплексная обработка информационных сигналов на основе совместного выполнения фрактального анализа и согласованной фильтрации (рис. 4).

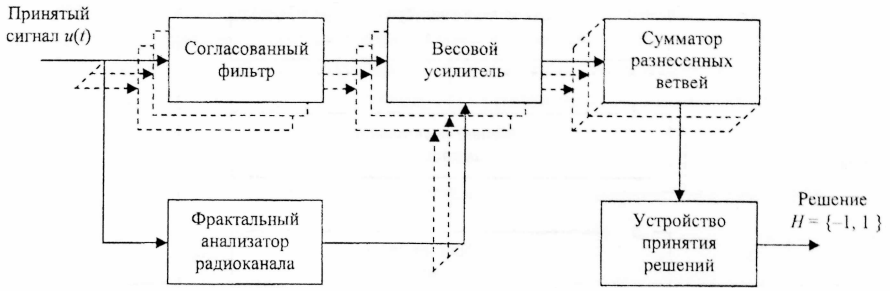


Рис. 4. Модель комбинационного многолучевого приемника с фрактальным анализом канала

Фрактальный анализатор производит предварительное оценивание типа зашумления сигналов и затем осуществляет переключение схемы многолучевого приема в зависимости от изменений условий наблюдения в канале. Для этого он выполняет вычисление фрактальных показателей входного процесса по результатам накопления собственных статистик, являющихся параллельными статистике согласованного фильтра. Анализатор производит наблюдение за основным, т.е. прямым лучом сигнала. Он осуществляет контроль гауссовского зашумления сигнала и предупреждает об изменениях, обусловленных появлением рэлеевских замираний.

На рис. 5 показан алгоритм функционирования фрактального анализатора радиоканала. Особенность алгоритма заключается в том, что в нем осуществляется параллельное формирование векторов отсчетов, сдвинутых по сетке друг относительно друга на некоторый временной шаг. После параллельной обработки векторов формируется массив фрактальных показателей входного процесса, на основе анализа которого принимается решение о применении в приемнике соответствующего способа приема. Решение анализатором выносится тогда, когда подряд были зафиксированы несколько одинаковых значений фрактальных показателей, удовлетворяющих диапазонам табличных разграничений.

Предложенный принцип выполнения обработки может быть классифицирован как способ адаптивного управления приемником. Адаптация заключается в том, что фрактальный анализатор производит оценку радиоканала и осуществляет переключение между схемой приема с однолучевой обработкой, в случае отсутствия замираний, и схемой с разнесенной обработкой, при наличии замираний.

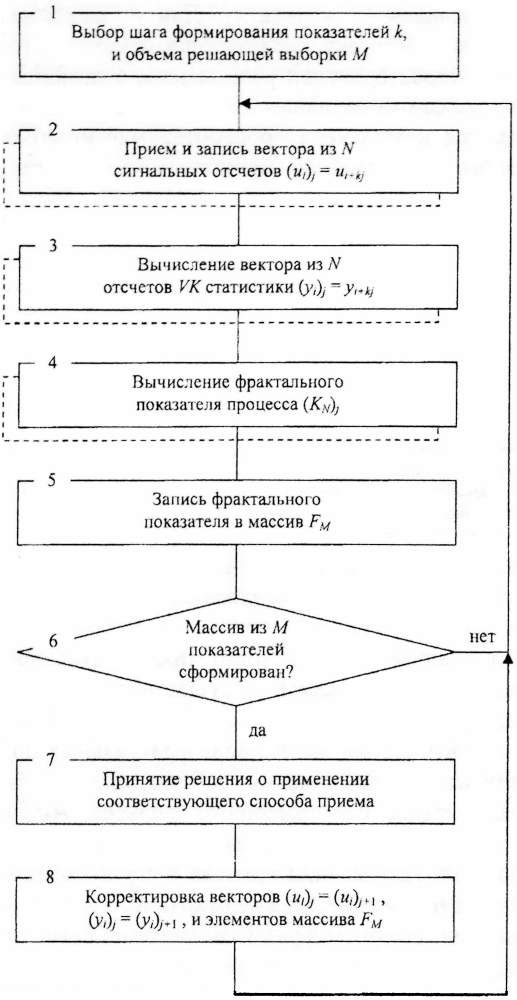


Рис. 5. Схема алгоритма функционирования фрактального анализатора

В разработанной модели комбинационного беспроводного приемника используются адаптивные весовые коэффициенты усиления в ветвях разнесения. Поэтому в результате применения такой весовой обработки оптимально задействуется энергия нескольких переотраженных лучей. С целью уменьшения потерь в системе и повышения помехоустойчивости коэффициенты усиления выбираются так, чтобы выходное отношение сигнал/шум было максимальным. Определено следующее результирующее выражение для отношения сигнал/шум приемника:

$$h_L^2 = \frac{\left(\sum_{i=0}^{L-1} m\{z_i\}\, m\{W_i\}\right)^2}{\sum_{i=0}^{L-1} m^2\{z_i\}\, \sigma^2\{W_i\} + \sum_{i=0}^{L-1} \left(\sigma^2\{W_i\} + m^2\{W_i\}\right)\sigma_i^2} \qquad (8)$$

где z_i – сигнал согласованного фильтра *i*-й ветви, W_i – весовой коэффициент *i*-й ветви, используемый для адаптации системы, σ_i^2 – дисперсия шумовой составляющей в *i*-й ветви.

Разработанная модель приемника обеспечивает лучшее качество приема по сравнению с традиционно применяемой в беспроводных сетях однолучевой схемой. Ниже в табл. 2 приведены значения энергетического выигрыша, обусловленного разнесенным приемом по сравнению с однолучевым приемом.

Таблица 2.

Энергетический выигрыш многолучевой обработки сигналов

Количество лучей L	1	2	3	4	5	6
Энергетический выигрыш k, дБ	0	1.53	2.27	2.69	3.01	3.12

Из табл. 2 видно, что применение $L = 6$ ветвей разнесения дает на выходе приемника «прирост» энергетического выигрыша порядка $k \approx 3.12$ дБ по сравнению с $k = 0$ дБ однолучевого приема $L = 1$. При этом, как следует из таблицы, применение большего количества ветвей является нецелесообразным ввиду малой энергетики последующих лучей. Следовательно, с добавлением новых ветвей в системе произойдет насыщение обработки. Кроме того, наличие большого количества ветвей ведет к появлению длительных временных задержек, связанных с ожиданием, а также к появлению эффекта наложения лучей от разных информационных сигналов, свойственного узкополосным системам, так как в беспроводных сетях Wi-Fi используются достаточно короткие псевдослучайные последовательности DSSS.

Данная модель разнесенного приема позволяет снизить уровень двоичных ошибок в беспроводной сети и, в итоге, уменьшить информационные потери системы. Таким образом, в разработанной модели приемника обеспечивается повышение помехоустойчивости приема широкополосных сигналов Wi-Fi, что является эффективным, прежде всего, при проведении сеансов беспроводной связи на границах зоны радиопокрытия корпоративной сети.

В четвертой главе решаются задачи, связанные с обеспечением качества функционирования передающей стороны беспроводной системы и исследуются вопросы анализа непроизводительных потерь, которые обусловлены физической средой радиоканалов (рис. 1). Решение этих задач необходимо для оценки помехоустойчивости радиомаршрутизаторов сети, а также для изучения оптимальных вариантов загрузки беспроводных каналов.

Производится исследование емкости системного пула радиомаршрутизатора исходя из количества буферов, выделяемых для хранения сетевых пакетов, искаженных шумами и помехами. Разрабатываются две соответствующие модели анализа помехоустойчивости: с дискретным и

непрерывным временем поступления пакетов, которые строятся на основе методологии цепей Маркова.

В первой модели каждый радиоканал рассматривается отдельно, т.е. беспроводный маршрутизатор анализируется как приведенная система, состоящая из однотипных каналов передачи. Переходные вероятности модели найдены на основе вероятностной схемы распределения Бернулли, в которой учитываются только разрешенные варианты заполнения дополнительных буферов:

$$P_{k,m} = \frac{C_n^k \, C_n^m \, p^{k+m} \, q^{2n-(k+m)}}{\sum_{m=k-1}^{k+1} C_n^k \, C_n^m \, p^{k+m} \, q^{2n-(k+m)}} \qquad (9)$$

где $p = p_{ош}$, $q = 1 - p_{ош}$; $p_{ош}$ – вероятность ошибки сетевого пакета, характеризующая физическую обстановку среды радиоканала.

Пропускная способность канала определена как отношение числа пакетов, передаваемых окнами при наличии искажений, к максимально возможному числу пакетов, передаваемых системой. На основе проведения соответствующих преобразований, получено следующее выражение:

$$c = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^{n} k \, \pi_k} \qquad (10)$$

Вероятность потерь беспроводного канала определена как вероятность того, что все n дополнительных буферов в пуле будут заняты, т.е. новые сетевые пакеты не смогут обрабатываться в системе:

$$P_{пот} = \pi_n = f(P_{k,m}) \qquad (11)$$

Проведенные исследования стационарных характеристик первой модели показывают, что в зависимости от уровня помех в канале, кривые пропускной способности имеют ярко выраженный спадающий характер (рис. 6).

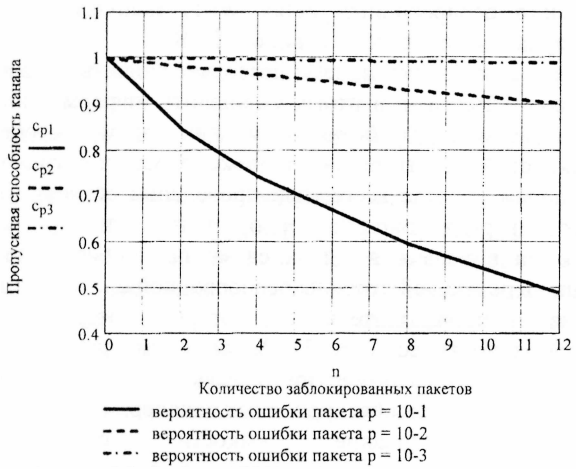


Рис. 6. Пропускная способность канала радиомаршрутизатора в зависимости от числа заблокированных пакетов

Из приведенных графиков видно, что с увеличением числа хранимых пакетов, при фиксации уровня ошибок, пропускная способность канала снижается. Поэтому для передачи пакетов без потерь требуется большее количество дополнительных буферов пула, однако это приводит к пропорциональному уменьшению пропускной способности системы.

Построенная модель анализа помехоустойчивости маршрутизатора с раздельными буферами не позволяет задействовать механизмы выбора каналов в зависимости от уровня помех в радиоэфире. Поэтому далее для изучения путей повышения помехоустойчивости системы разрабатывается модель анализа многоканального маршрутизатора с общим пулом хранения. Для этого сначала разрабатывается метод расчета загрузки общего пула дополнительных буферов на основе аппарата случайных размещений. С помощью данного метода изучаются вопросы размещения заблокированных пакетов исходя из ресурса каналов беспроводного маршрутизатора. Получено следующее выражение для вероятности отсутствия блокировки в каналах системы:

$$P\{\mu_0(n,N)=r\}=C_N^r\left(1-\frac{r}{N}\right)^n\sum_{l=0}^{N-r}C_{N-r}^l(-1)^l\left(1-\frac{l}{N-r}\right)^n \qquad (12)$$

где r – количество незанятых каналов маршрутизатора, N – общее количество каналов.

Проведенные исследования загрузки пула на основе случайных размещений показывают, что с увеличением количества заблокированных пакетов вероятность наличия свободных каналов пропорционально уменьшается (рис. 7).

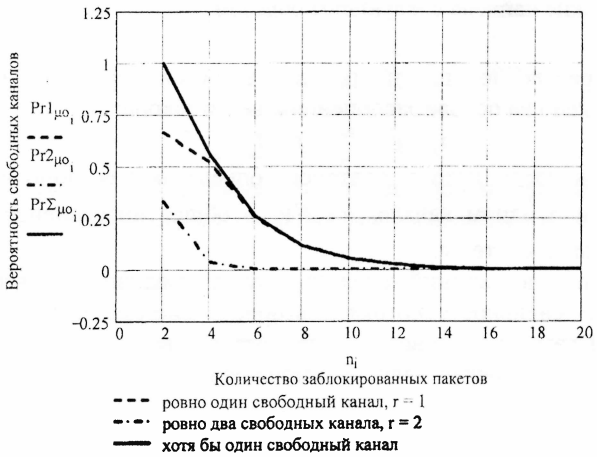


Рис. 7. Вероятность наличия свободных каналов радиомаршрутизатора в зависимости от величины загрузки буферов

Затем для изучения эффективности функционирования беспроводной системы разрабатывается и исследуется вторая модель анализа помехоустойчивости маршрутизатора с общим пулом, в которой изучаются вопросы передачи пакетов в условиях воздействия сильных помех (рис. 8).

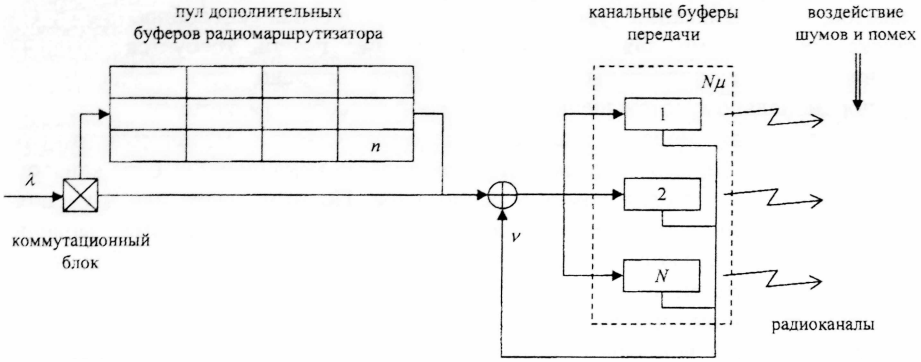


Рис. 8. Модель анализа многоканального беспроводного маршрутизатора

В построенной модели принимается, что количество окон для дополнительных передач искаженного пакета является эквивалентным числу пакетов, поступивших в очередь пула за то же самое время. Для учета влияния отказов радиоканалов на производительность беспроводной системы разработан метод расчета физических потерь пакетов в ситуациях ухудшения помеховой обстановки. В разработанном методе подразумевается, что повторная обработка пакетов производится в моменты времени, кратные длительности окна информационных передач. Для этого в системе задействуется автоматическая обратная связь. Вероятность повтора в *i*-м дополнительном окне найдена следующим образом:

$$P_i = p_{ош}^i (1 - p_{ош}) \qquad (13)$$

Тогда распределение плотности вероятностей времени повторной обработки определено на основе экспоненциального закона:

$$p(t) = \nu_1 e^{-\nu_1 t}, \quad t \geq 0 \qquad (14)$$

где ν_1 – интенсивность потока повторов, определяющая дополнительную нагрузку передачи в одном канале, $\nu = N\nu_1$ – общая интенсивность потока повторов *N*-канальной системы.

Из полученных выражений следует, что с увеличением вероятности ошибки пакета интенсивность потока повторов в системе пропорционально увеличивается. Поэтому условием помехоустойчивой работоспособности беспроводного маршрутизатора является выполнение следующего требования:

$$\frac{\lambda}{N\mu} + \frac{\nu}{N\mu} < 1 \qquad (15)$$

где λ – интенсивность потока поступлений сетевых пакетов, μ – интенсивность потока передач, $\rho_{пр} = \lambda / N\mu$ – приведенная нагрузка потока поступлений, $\beta_{пр} = \nu / N\mu$ – приведенная нагрузка потока повторов.

В разработанной модели пропускная способность маршрутизатора определена как отношение числа пакетов, передаваемых по всем радиоканалам, к общему числу пакетов, находящихся в системе:

$$c = \frac{\sum_{k=1}^{N} k\, p_k + N \sum_{l=1}^{n} p_{N+l}}{\sum_{k=1}^{N} k\, p_k + N \sum_{l=1}^{n} p_{N+l} + \sum_{l=1}^{n} l\, p_{N+l}} \qquad (16)$$

Вероятность потерь системы, определяющая качество помехоустойчивого функционирования беспроводного маршрутизатора, найдена следующим образом:

$$P_{пот} = p_{N+n} = \frac{\frac{(\rho+\beta)^N}{N!}\frac{(\rho+\beta)^n}{N^n}}{1 + \sum_{k=1}^{N}\frac{(\rho+\beta)^k}{k!} + \frac{(\rho+\beta)^N}{N!}\sum_{l=1}^{n}\frac{(\rho+\beta)^l}{N^l}} \qquad (17)$$

На рис. 9 приведены зависимости пропускной способности второй модели при различных вариантах нагрузки системы от вероятности ошибки пакета.

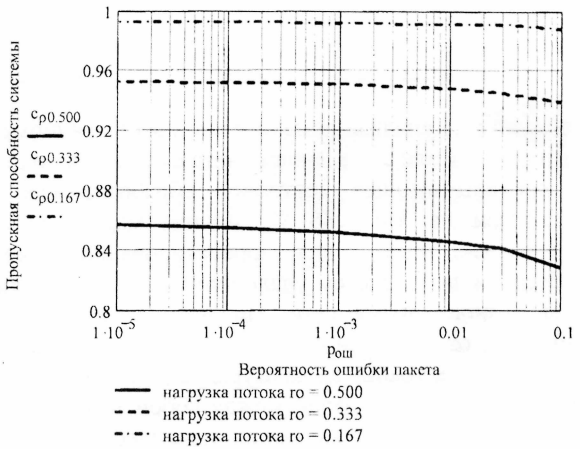


Рис. 9. Пропускная способность многоканальной беспроводной системы в зависимости от вероятности ошибки пакета

Из полученных графиков видно, что с ухудшением помеховой обстановки в радиоканалах наблюдается возрастающее влияние блокировок на пропускную способность беспроводной системы. Поэтому, при изменении помеховой обстановки маршрутизатор должен максимально задействовать пул дополнительных буферов и использовать повторную обработку, а также своевременно перераспределять потоки сетевых пакетов. Исследования вероятности потерь разработанной модели анализа помехоустойчивости на основе общего пула приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Потери многоканального беспроводного маршрутизатора

Нагрузка потока поступления $\rho_{пр}$	*Макс. нагрузка потока повторов* $\beta_{пр}$	*Емкость пула доп. буферов* n	*Вероятность потерь системы* $P_{пот}$
0.167	0.043	4	$4.321 * 10^{-5}$
		8	$8.420 * 10^{-8}$
		12	$1.641 * 10^{-10}$
		16	$3.197 * 10^{-13}$
0.333	0.043	4	$1.538 * 10^{-3}$
		8	$3.100 * 10^{-5}$
		12	$6.247 * 10^{-7}$
		16	$1.259 * 10^{-8}$
0.500	0.043	4	$0.120 * 10^{-1}$
		8	$1.005 * 10^{-3}$
		12	$8.765 * 10^{-5}$
		16	$7.644 * 10^{-6}$

Разработанная модель анализа помехоустойчивости радиомаршрутизатора является эффективной, так как с введением учета физических ошибок в каналах и проведением соответствующей повторной обработки удается сократить общесистемные потери на $k = 22.86$ %. Данная модель анализа является необходимой, прежде всего, для проектирования маршрутизаторов корпоративных беспроводных систем удаленного доступа, функционирующих на границе зоны радиопокрытия сети. Полученные результаты позволяют обоснованно выбирать тот или иной вариант технического решения в процессе разработки и выбора конфигурации аппаратуры радиомаршрутизаторов.

Проводя сравнение обеих моделей между собой можно сделать вывод о том, что представленные модели являются, по-существу, моделями равных способов хранения сетевых пакетов. При этом, если сравнивать их по пропускной способности, то модель анализа на основе раздельных дополнительных буферов является более эффективной, чем модель на основе общего пула. С другой стороны, исследование их по вероятности общесистемных потерь показывает, что вторая модель дает более приемлемые значения этого параметра, чем первая. Кроме этого, в модели с общим пулом возможно осуществление перераспределения нагрузки сетевых потоков, что является важным при неравномерном ухудшении помеховой обстановки в радиоканалах.

3. Основные результаты работы

В работе получены следующие результаты.

1. Выполнен анализ существующих методов обеспечения помехоустойчивости беспроводных информационных систем. Построена классификация методов и определены области их применимости. Анализ показал, что для корпоративных беспроводных систем с удаленным доступом, и особенно для систем, функционирующих на границах зон радиопокрытия сети, существующие методы проявляют недостаточную эффективность.

2. Предложено формализованное описание структуры корпоративной беспроводной системы с учетом физических принципов передачи и приема информации в распределенных сетях, что позволило сформулировать основные требования по помехоустойчивости к удаленным корпоративным системам и выполнить постановку задачи исследования.

3. Решена комплексная задача анализа и обеспечения помехоустойчивости беспроводного сетевого оборудования, что позволило повысить эффективность функционирования как передающей, так и принимающей частей удаленной корпоративной системы.

4. Разработан метод вычисления фрактальной оценки случайных процессов, наблюдаемых при приеме информации на физическом уровне беспроводных систем. Исследования показали, что разработанный метод позволяет эффективно различать типы зашумления полезных информационных сигналов.

5. Разработана модель комбинационного многолучевого приемника, осуществляющего адаптивный прием широкополосных сигналов с использованием фрактального анализатора. Исследования показали, что применение в приемнике фрактального анализа и введение многолучевого приема позволяет повысить помехоустойчивость сигнальной обработки на 3.12 дБ по сравнению с традиционно применяемым однолучевым приемом.

6. Разработаны две модели анализа помехоустойчивости беспроводного маршрутизатора, позволяющие оценивать эффективность передачи сетевых пакетов в условиях воздействия сильных помех. Исследования показали, что при введении в маршрутизаторе повторной обработки сетевых пакетов общее сокращение физических потерь беспроводной системы составляет 22.86 %.

7. Предложен метод расчета загрузки общего пула буферов многоканального маршрутизатора на основе анализа случайных размещений сетевых пакетов. Исследования показали, что данный метод позволяет оценивать эффективность работы передающей части системы, когда ресурсы хранения пакетов распределены между всеми беспроводными каналами.

8. Предложенные модели и методы внедрены в ЦНИТИ «Техномаш» и использовались при разработке и проектировании коммутационного беспроводного оборудования, что подтверждено соответствующим актом.

1680438

По теме диссертации опубликованы следующие работы.

1. Черненький В.М., Меняев Я.А. Метод защиты информации в радиоканале с помощью фрактального кодирования // Научный вестник МГТУ ГА. Информатика, прикладная математика. – 2002. – № 55. – С. 13–17.
2. Жарова И.З., Меняев Я.А. К вопросу о технологии построения беспроводной радиосети на основе стандарта «Radioethernet» // Электротехнические комплексы и системы. – Уфа: УГАТУ. – 2001. – С. 211–222.
3. Меняев Я.А. Математическое моделирование фрактального представления ые информационные технологии: М. семинара. – М., 2002. – С. 212–216.
4. Меняев Я.А. ия информации в радиоканале б системы управления и обработки и межд. науч. конф. – Уфа, 2001. – С.
5. Меняев Я.А. роения защищенной информационн / Молодежь и наука: Мате

1680438
Меняев Я.А.
Модели и методы повышения помехоустойчивости корпоративных беспроводных систем с уда...
2004 0-00

Д1680438

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Принято к исполнению 04/08/2004 Заказ № 277
Исполнено 04/08/2004 Тираж: 100 экз.

ООО «11-й ФОРМАТ» ИНН 7726330900
Москва, Балаклавский пр-т, 20-2-93
(095) 747-64-70
(095) 318-40-68
www.autoreferat.ru