



На правах рукописи

Скуднев Дмитрий Михайлович

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИНТЕЗА
ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ ETHERNET**

Специальности:

05.13.13 – Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

05.13.12 – Системы автоматизации проектирования (технические системы)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Рязань 2009

Работа выполнена на кафедре вычислительной и прикладной математики (ВПМ) в ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент

Шибанов Александр Петрович

Консультант: кандидат технических наук, доцент

Благодаров Андрей Витальевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент

Антипов Владимир Анатольевич

кандидат технических наук

Чепайкин Алексей Олегович

Ведущая организация: ФГУП «Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ – Прогресс» – ОКБ «Спектр».

Защита состоится «23» июня 2009 г в 11 час. На заседании диссертационного совета Д212.211.02 в Рязанском государственном радиотехническом университете по адресу: 390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО РГРТУ.

Автореферат разослан «20» мая 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д212.211.02



Телков И.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время локальные вычислительные сети (ЛВС) нашли широкое применение в различных сферах деятельности человека. В процессе развития ЛВС происходила стандартизация технологии объединения компьютеров в сеть – Ethernet, FDDI, Token Ring, и др. Наибольшее распространение получила сеть Ethernet, архитектура которой определяется стандартом IEEE 802.3 и базируется на протоколе функционирования общей среды передачи CSMA/CD.

Проблемами анализа и параметрической оптимизации ЛВС Ethernet занимались многие отечественные и зарубежные ученые, например, Коган Я.А., Майоров С.А., Вишневикий В.М., Ляхов В.А., Родионов А.С., Марьянович Т.П., Бертсекас Д, Клейн Дж., Войтер А.П., Эд Уилсон, и др. Эти вопросы достаточно хорошо проработаны. В настоящее время, как в России, так и за рубежом, практически единственным подходом к решению задачи выбора топологии ЛВС является опыт инженеров по системной интеграции. Так как ЛВС являются весьма сложными системами, это часто приводит к принятиям неоптимальных решений при их проектировании. Единственный способ избежать указанных трудностей – принимать решения с использованием средств автоматизированного проектирования.

Аналитические методы оперируют с относительно простыми моделями. В них сложно учесть специфические требования пользователей, а для разработки нового математического аппарата требуется значительное время и высокая квалификация разработчиков модели. При использовании имитационных методов можно построить весьма подробную модель. Но проведение имитационных экспериментов требует значительных затрат машинного времени, особенно в тех случаях, когда необходимо найти наилучшее решение. Как аналитическое, так и имитационное моделирование при решении проектных задач дают возможность оценить показатели качества сети, в частности, найти точки, в которых могут возникнуть перегрузки или отказы сети.

В последнее время появились работы по синтезу и структурной оптимизации компьютерных сетей на основе генетических алгоритмов, в частности Кузнецова И.В., Трекина А.Г., Бугрова Д.А., Аль-Шрайдеха Х. С., Адиль О., Мальчерека М. Получен ряд частных результатов, но в целом задача структурной оптимизации ЛВС Ethernet является нерешенной. Существенной характеристикой любой программы анализа или синтеза ЛВС Ethernet является ее функциональная полнота. То же самое можно отнести и к системам структурной оптимизации таких сетей. Важна не только непосредственно сама топология сети, но и то, в какой мере она отвечает потребностям либо проектировщика сети, либо сетевого администратора. Другими словами, в процессе оптимизации (нахождения наилучшей структуры) постоянно должно проверяться выполнение показателей качества сети. Это – любые заданные системным администратором параметры и характеристики, такие как время реакции на запросы системных программ или пользователей, особенности протокола – полнодуплексный или полудуплексный, задержки при передаче пакетов и их вариации, достоверность передачи информации, процент потерь пакетов,

влияние коллизий на характеристики сети, а также параметры, накладывающие ограничения на время восстановления и реконфигурации ЛВС Ethernet.

Поэтому проблема создания новых систем синтеза оптимальной структуры ЛВС Ethernet с учетом возможности настройки такой системы на конкретную спецификацию (набор контролируемых параметров и характеристик) системного администратора является весьма актуальной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в форме гранта, шифр 07-07-00146-а.

Объектом исследований в рамках диссертационной работы является ЛВС Ethernet, оборудование, входящее в ее состав, процессы взаимодействия компонентов локальной сети.

Предметом исследования является математическое и программное обеспечение имитационного моделирования и синтеза оптимальной структуры сети Ethernet.

Целью работы является разработка математического и программного обеспечения имитационного моделирования и выполнения параметрической и структурной оптимизации корпоративной сети Ethernet.

Основные задачи. Для достижения цели диссертационной работы необходимо выполнить анализ проблемной области и решить следующие задачи:

- определить научные подходы для проведения исследований;
- разработать алгоритмы структурного синтеза и оптимизации крупномасштабной и многофункциональной сети Ethernet;
- разработать методики проведения экспериментальных исследований;
- создать методики применения новых научных результатов на практике.

Методы исследования. Основные задачи решены с использованием: теории вероятностей; теории графов, теории систем массового обслуживания; теории больших систем управления (БСУ); общей теории систем; теории имитационного моделирования; теории генетических алгоритмов, методологии структурного и объектно-ориентированного программирования.

Научная новизна. В диссертации решена важная научно-техническая задача по синтезу оптимальной структуры сети Ethernet. При ее решении получены следующие новые научные результаты:

- на основе модернизации агрегативного подхода определены базовые функциональные блоки имитационных моделей локальной сети Ethernet, а также способы их сопряжения, что позволило по сравнению с известными аналогами реализовать высокоскоростные алгоритмы оценки функции полезности генетического алгоритма с учетом показателей качества сети Ethernet;
- предложена новая модификация генетического алгоритма для синтеза топологии локальной сети Ethernet, в которой по сравнению с известными аналогами в качестве функции полезности используется система имитации, что позволяет при оценке данного варианта структуры учитывать влияние трафика пользователей на характеристики сети Ethernet;
- создана визуальная система имитационного моделирования локальной сети Ethernet, в которой по сравнению с известными прототипами реализованы

функции параметрической и структурной оптимизации локальной сети Ethernet с учетом ее показателей качества;

- разработана не имеющая аналогов методика параметрической и структурной оптимизации локальной сети Ethernet;
- разработана не имеющая аналогов методика оптимизации структурированной кабельной системы корпоративной сети Ethernet.

Практическая ценность. Созданы инженерные методики и комплекс программ для моделирования сетей Ethernet и их структурной оптимизации. Полученные результаты обладают достаточной универсальностью, что делает возможным их использование в различных областях применения сетей Ethernet:

- для повышения качества, уменьшения стоимости и времени подготовки проектных решений на основе сетей Ethernet;
- в городских сетях Metro Ethernet;
- в промышленных сетях Ethernet;
- в сетях, отличных от стандартов Ethernet, например, в виртуальных частных сетях или в сетях на основе многопротокольной коммутации меток MPLS.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы внедрены:

- в ООО «ЭлекТел» (г. Липецк);
- в учебный процесс Рязанского государственного радиотехнического университета и используются студентами специальности 080801 – «Прикладная информатика (в экономике)» при изучении дисциплины «Открытые информационные системы» и специальности 230105 – «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем» при изучении дисциплины «Сети ЭВМ и телекоммуникации»;
- в учебный процесс Липецкого государственного педагогического университета и используются студентами специальности 090103 – «Организация и технология защиты информации» при изучении дисциплины «Компьютерные коммуникации и сети», а также студентами специальности 010501 – «Прикладная математика и информатика» при изучении дисциплины «Архитектура компьютерных сетей».

Достоверность и обоснованность научных положений и результатов диссертационной работы подтверждается:

- анализом сходимости, вычислительной трудоемкости и затрат памяти алгоритмов;
- верификацией разработанных программных средств;
- сравнением результатов имитационного эксперимента и замеров характеристик действующей сети Ethernet;
- сравнением характеристик структур ЛВС Ethernet, полученных с использованием генетических алгоритмов и реальных сетей;
- имеющимися актами внедрения.

Апробация результатов диссертации. Результаты настоящей диссертационной работы докладывались и обсуждались на 3 международных и одной

всероссийской конференции: 12-й, 13-й, 15-й международных конференциях «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» г. Рязань 2004, 2008 г., всероссийской научно-технической конференции «Информационные и телекоммуникационные технологии. Подготовка специалистов для информационной среды» г. Рязань 2009 г., а также на научных семинарах кафедры Электроники телекоммуникаций и компьютерных технологий Липецкого государственного педагогического университета и кафедры Вычислительной и прикладной математики Рязанского государственного радиотехнического университета.

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в 17 работах, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 программа зарегистрирована в отраслевом фонде регистрации программ (Свидетельство № 20076138090 per. 06.09.07).

Структура и объем диссертации. Диссертация содержит 135 страниц основного текста и состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка из 80 наименований и приложений на 26 листах. В диссертацию включено 59 рисунков и 11 таблиц.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены цель и задача исследований, приведена структура работы.

В первой главе представлены результаты анализа исследований, выполненных другими авторами. В этих работах предлагаются генетические алгоритмы структурного синтеза и оптимизации компьютерных сетей для решения следующих научных задач: синтеза вычислительных систем, в которых в качестве проектных параметров используются: число процессоров, тип каждого процессора, параметры коммутационной среды (Трекин А.Г.); проектирования высокоскоростных региональных и компьютерных сетей с АТМ коммутацией (Мальчерек М); структурной оптимизации магистральных каналов телекоммуникационных сетей (Бугров Д.А.); синтеза плотносвязных образующих блоков при размещении в сети реплицируемого ресурса (Воротницкий Ю.И.); управления в многоканальных телекоммуникационных системах (Кузнецов И.В.). Предлагаются математические модели, алгоритмы анализа и оптимизации: локальной компьютерной сети, представляемой в виде сложной кибернетической человеко-машинной системы. (Аль-Шрайдех Х.С.); системы администрирования локальной сети (Адиль О.).

Общим для этих работ (и ряда других авторов) является то, что генетические алгоритмы используются для решения частных задач оптимизации и структурного синтеза компьютерных сетей. Однако проблемные области, исследуемые вышеуказанными авторами, не совпадают с областью исследований данной диссертационной работы. Объект исследования – сеть Ethernet представлена в диссертации с существенно большим объемом функций (линия Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, Metro Ethernet). Данное различие является принципиальным, так как состояние исследуемого объекта – сети Ethernet отражается в фитнес-функции. Информация в фитнес-функцию передается от специализированной системы имитационного

моделирования семейства сетей Ethernet на каждой итерации генетического алгоритма (для каждой хромосомы), что позволяет получить более глубокие научные результаты и найти для практического использования более эффективные инженерные решения.

В этой же главе рассматриваются свойства объекта оптимизации – технология и архитектура стандартов Ethernet, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet, 10 Gigabit Ethernet, а также совместимых с ними через коммутаторы сетей Token Ring, FDDI (Fiber Distributed Data Interface). Приводится описание структуры и топологии структурированной кабельной системы корпоративной сети.

Определяются характеристики пользовательского трафика и показатели эффективности локальной сети Ethernet.

Рассматриваются аналитические методы исследования характеристик сети Ethernet. Они позволяют получить различные модели трафика и представляются в форме систем массового обслуживания, которые в зависимости от их особенностей образуют различные схемы: $M/M/1$; $M/M/1/n$; $M/M/n$; $M/M/n/m$; $M/M/\infty$. Аналитические методы позволяют получить достаточно точные оценки исследуемых характеристик для небольших сетей, либо исследовать крупномасштабные сети, но с использованием ряда ограничений на параметры сетей и отдельных устройств. Однако использовать данные методы для синтеза и оптимизации крупномасштабных и многофункциональных сетей Ethernet не представляется возможным.

Рассматриваются имитационные системы общего назначения, типичным представителем которых является система COMNETIII. Она позволяет выполнять детальное моделирование полученной сети, отображать результаты динамически в виде наглядной мультипликации результирующего трафика. Но исследуется только один конкретный вариант проектируемой сети, а возможности проведения структурной оптимизации ограничены.

Если известна связь между проектными параметрами и надлежащим образом выбрана целевая функция, то для решения задачи оптимизации сети Ethernet можно было бы использовать классические методы оптимизации. Однако решение задач структурной оптимизации такой сложной сети как Ethernet на основе классического подхода проблематично. Перед разработчиком встает дилемма: либо решать комбинаторную задачу очень большого объема, что практически невозможно, либо использовать формальные подходы, позволяющие последовательно улучшать показатели качества на основе определения наиболее важных критериев функционирования системы. К таким методам относятся эволюционные методы, в частности генетические алгоритмы.

В главе на основе проведенного анализа определяются задачи диссертационных исследований.

Во **второй главе** рассмотрены области применения локальной вычислительной сети Ethernet, подробно рассмотрены локальные корпоративные сети Ethernet Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ) и Липецкого государственного педагогического университета (ЛГПУ). На уровне формального описания ЛВС Ethernet представлена совокупностью блоков, определенных по функциональным признакам. Профили

трафика в сети определяются пользовательскими сервисами: предоставлением услуг файл-серверов, серверов баз данных и серверов приложений, передачей мультимедийной информации, широковещательной аудио- и видеоинформации, применением Web-камер, поддержкой видеоконференций, обеспечением доступа в Интернет и Интранет, поддержкой электронного документооборота и электронной почты.

Коммуникационное оборудование локальных сетей предназначено для связи устройств в единую сеть, для создания и объединения множества сетей или подсетей, а также для развертывания сети предприятия (кампуса). На основе проведенного анализа выделены основные конструктивно-функциональные компоненты: канал связи; сетевые адаптеры; повторители; коммутаторы.

Сеть Ethernet рассматривается как сложная система. Ее формальное описание основывается на следующих принципах:

- система функционирует во времени и в каждый момент времени может находиться в одном из возможных состояний;
- на вход системы могут поступать входные сигналы;
- на выходе системы наблюдаются выходные сигналы;
- состояние системы в данный момент времени определяется предыдущими состояниями и выходными сигналами;
- выходной сигнал определяется состояниями системы и входными сигналами, относящимся к данному и предшествующим состояниям.

Для создания средств оперативной оценки функции полезности генетического алгоритма произведено рассмотрение ЛВС Ethernet с использованием агрегативного подхода, выделены типовые компоненты модели и реализована визуальная система имитационного моделирования.

Функционирование каждого элемента рассматривается на множестве моментов времени t . Множество T является подмножеством действительных чисел (множеством рассматриваемых моментов времени). На вход системы поступают входные сигналы (входные воздействия) $x_i \in X$, $i = \overline{1, n_x}$. Кроме того, на систему воздействуют сигналы внешней среды $v_i \in V$, $i = \overline{1, n_v}$. Система выдает выходные сигналы $y_i \in Y$, $i = \overline{1, n_y}$. Входные сигналы, воздействия внешней среды и выходные сигналы в некоторый момент времени $t \in T$ описываются в общем случае наборами соответствующих значений, т.е. $\bar{x}(t) = \{x_1(t), \dots, x_{n_x}(t)\}$; $\bar{v}(t) = \{v_1(t), \dots, v_{n_v}(t)\}$; $\bar{y}(t) = \{y_1(t), \dots, y_{n_y}(t)\}$. Сама система характеризуется совокупностью внутренних параметров $\bar{b}(t) = \{b_1(t), \dots, b_{n_b}(t)\} \in B$. Процесс функционирования системы S задается во времени некоторым параметром F_S , который в общем случае преобразует экзогенные (независимые) переменные в эндогенные (зависимые) в соответствии с преобразованием: $\bar{y}(t) = F_S(\bar{x}, \bar{v}, \bar{b}, t)$. Оператор F_S определяет закон функционирования системы и является для нее уникальным свойством. Такое

представление системы называется агрегатом. Состояние системы (агрегата) характеризуется векторами: $\bar{z}' = \{z'_1, \dots, z'_2\}$; $\bar{z}'' = \{z''_1, \dots, z''_2\}$, где $z'_i = z_i(t')$ – состояние агрегата в момент времени $t' \in T$; $z''_i = z_i(t'')$ – состояние агрегатов в момент времени $t'' \in T$. Процесс функционирования агрегата можно представить как последовательность смены состояний $z_1(t), \dots, z_k(t)$, т.е. как координаты точки в k -мерном пространстве. При этом каждой реализации будет соответствовать некоторая траектория в фазовом k -мерном пространстве.

В **третьей главе** рассматриваются основные типы агрегатов, входящих в ЛВС Ethernet. Все устройства локальной сети Ethernet, например коммутатор, представляются как агрегаты, состоящие, в свою очередь, из нескольких других агрегатов, между которыми происходит информационный обмен (рис. 1). Несколько агрегатов в совокупности образуют агрегативную систему.

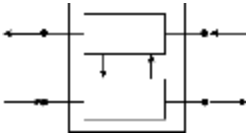


Рис. 1



Рис. 2

В отличие от стандартного подхода, все устройства локальной сети имеют двунаправленные связи, так как передача информации между компонентами сети Ethernet двусторонняя. Это не только передача кадров между компонентами сети, но и передача служебных сообщений, сигналов о распространении коллизий, сообщений о занятости канала и др. Такую агрегативную систему будем называть блоком.

Блок (рис. 2) – объект, характеризующийся множеством внешних выводов и алгоритмом преобразования входных данных в выходные. Внешними называются выводы, связывающие блок с другими блоками, не входящими в состав данного блока. Входными называются данные, получаемые блоком через его внешние выводы, а выходными – данные, выставляемые блоком на его внешние выводы.

Двунаправленные связи будем называть – контактом. Контакт характеризуется номером, указателем на другой контакт, значением контакта, меткой контакта.

Вся работа блоков с контактами происходит через выводы. Вывод – объект, хранящий некоторое действительное значение и реализующий следующие действия: установка связи с другим контактом, (настройка указателя на заданный контакт); проверка целостности связи с другим контактом; отвержение поврежденной связи; установка значения выхода; получение значения; присвоение идентифицирующего номера.

После формальной структуризации ЛВС Ethernet с разбиением на составные части была выполнена их блоковая и алгоритмическая реализация (рис. 3).

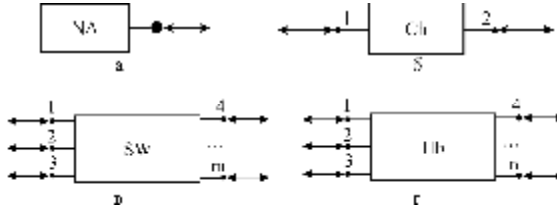


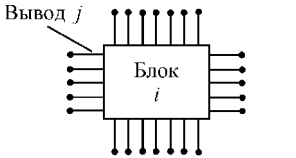
Рис. 3. Блоковая реализация компонентов сети: а – сетевой адаптер (рабочая станция); б – канал связи; в – коммутатор; г – повторитель

Важной составляющей модели сети Ethernet является описание взаимодействия блоков, отражающих отдельные устройства и процессы передачи трафика в сети, между собой. Сопряжение блоков выполняется с учетом их состава и характера взаимосвязей с использованием следующих допущений:

- в связи с тем, что связи у блоков двунаправленные, т.е. передача сигналов может происходить в обоих направлениях, совокупность элементарных сигналов на выходах блока будет записываться как $w_1(t), \mathbf{K}, w_n(t)$;
- элементарные сигналы передаются в системе по элементарным каналам, независимо друг от друга;
- к любому выводу любого блока одновременно может быть подключен не более чем один элементарный канал.

Предположим, что сеть состоит из N элементов, тогда, для i -го элемента имеем множество $W^{(i)}$ элементарных сигналов $w^{(i)} \in W^{(i)}$, $w^{(i)} = \langle x^{(i)}, y^{(i)} \rangle$.

Каждый сигнал, приходящий на блок, складывается из отдельных элементарных сигналов, приходящих от других блоков, непосредственно с ним связанных. Таким образом, для каждого элемента имеем множество выводов для i -го $[W_j^{(i)}]^{n_i} = (W_1^{(i)}, \mathbf{K}, W_{n_i}^{(i)})$ и k -го $[W_l^{(k)}]^{n_k} = (W_1^{(k)}, \mathbf{K}, W_{n_k}^{(k)})$ блоков, где i, k – номер блока, j, l – номер вывода блока (рис. 4, 5).



n – общее количество выводов

Рис. 4. Представление блока i

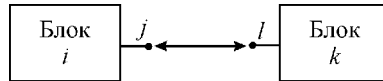


Рис. 5. Связь вывода j блока i и вывода l блока k элементарным каналом

Введем оператор сопряжения R , который сопоставляет выводу j блока i вывод l блока k . Выводы связываются между собой элементарным каналом. Математически это представляется следующим образом: $W_l^{(k)} = R(W_j^{(i)})$, где

$W_i^{(k)} \in \bigcup_{k=1}^N [W_i^k]^{n_k}$, $W_j^{(i)} \in \bigcup_{i=1}^N [W_j^i]^{n_i}$, N – общее количество блоков. Оператор

сопряжения задается в виде таблицы, в которой на пересечении строк с номерами блоков (i) и столбцов с номерами контактов (j) располагаются пары чисел (k, l), указывающие номер блока и номер вывода, с которым соединен вывод $W_j^{(i)}$. Оператор сопряжения R можно задать и другим способом: строки и столбцы нумеруются парами чисел (i, j) и (k, l) соответственно; если выводы $z_j^{(i)}$ и $z_l^{(k)}$ соединены каналом, то на пересечении соответствующей строки и столбца ставится 1, в противном случае – 0. Хотя таблица такого рода громоздка и недостаточно наглядна, ее преимуществом является то, что она представляет собой матрицу смежности ориентированного графа, вершинами которого являются выводы, а дугами – каналы. Это позволяет применить методы теории графов для изучения структуры связей между выводами блоков.

Четвертая глава посвящена разработке алгоритмов оптимизации и синтеза локальной сети Ethernet. Для решения данной задачи необходимо учитывать, что в локальной сети имеется оборудование двух типов: коммутационное оборудование (коммутаторы и повторители) и рабочие станции. Подключение рабочих станций к портам коммутаторов производится в соответствии с действующими логическими и конструктивными и стоимостными ограничениями.

Разработаны генетические алгоритмы и компьютерные программы, которые позволяют получить оптимальную топологию сети по заданным параметрам: числу компьютеров в сети; количеству и типам коммутаторов; объему трафика между клиентами сети, заданному в таблице; спецификациям генетического алгоритма; виду функции полезности – фитнес-функции.

В процессе выполнения генетического алгоритма просматривается не одно, а множество вариантов структуры, выбранных с использованием вероятностных механизмов. Приближение к экстремуму происходит по нескольким путям, что приводит к появлению одних и тех же хромосом. В связи с этим предлагается использовать специальный буфер (кеш) для хранения некоторого множества хромосом и вычисленных ранее значений целевой функции. Это необходимо, так как в качестве функции полезности используются результаты имитационного моделирования данного варианта структуры Ethernet. Хотя для ускорения расчетов применяется упрощенный вариант имитации (отключается функция имитации процессов распространения и обработки коллизий, что соответствует режиму работы сети Ethernet с коэффициентом нагрузки примерно 0,35 – 0,45), и, кроме того, не используется выдача графической информации на экран компьютера, все-таки возникает необходимость сокращения времени вычислений. На основании расчетов и применения программы для оптимизации ЛВС Ethernet можно сделать вывод о том, что применение буфера позволяет сократить процесс вычисления значений фитнес-функции на 80...90%.

Для синтеза оптимальной структуры по стоимости сети была использована фитнес-функция $fit = \min(S)$. На рис. 6, 7 и 8 изображены копии экрана,

на которых представлены входные данные, оптимальные структуры и отражен процесс улучшения значений параметра совокупной длины соединений.

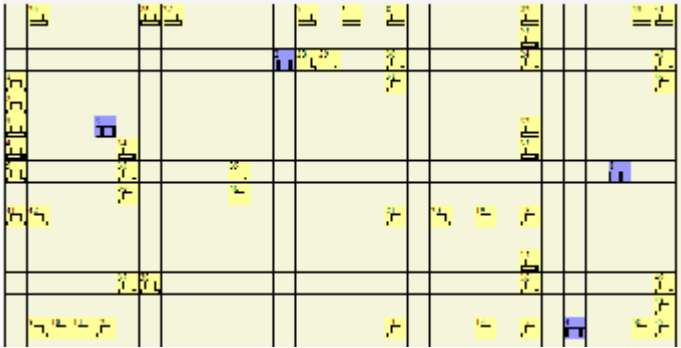


Рис. 6. Карта сети

```

22221112222330001000022111100222222220100000 (совокупная длина 324) - окрешление 184673
222211122223330000310022111100022122221210003000 (совокупная длина 316) - окрешление 200105
33001111002233330003300001211110022333300033000 (совокупная длина 313) - окрешление 205781
33000111002233330003300001111110022333300033000333 (совокупная длина 309) - окрешление 207819
2222111222233300033010211111002222222201000000 (совокупная длина 308) - окрешление 225579
222211122223330003300001100221111100222222220100000 (совокупная длина 307) - окрешление 246305
222211122223330003300001111110022122222220000000 (совокупная длина 307) - окрешление 246305
330011110022333300033000011111100223333000330003305 (совокупная длина 305) - окрешление 250651
330001110022333300033100011111100223333000330003305 (совокупная длина 304) - окрешление 251537
222211122223330003300001111110022222222010003303 (совокупная длина 303) - окрешление 253150
Сеть № 1 - 15 портов, номера компьютеров: 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25, 30, 40, 41, 46, 49
Сеть № 2 - 15 портов, номера компьютеров: 6, 7, 8, 20, 27, 30, 35, 38, 41
Сеть № 3 - 24 портов, номера компьютеров: 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 25, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42
Сеть № 4 - 16 портов, номера компьютеров: 13, 14, 15, 16, 20, 21, 47, 48, 50
Совокупная длина сети: 34
Стоимость кабеля для соединения сетей: 49
Стоимость кабеля для соединения компьютеров со сетями: 300
Суммарная стоимость сети: 385

```

Рис. 7. Выходные данные работы программы оптимизации по цене



Рис. 8. Работа генетического алгоритма для 50 компьютеров и 5 коммутаторов

Решается задача нахождения оптимальной структуры сети Fast Ethernet с одним коммутатором. Качество очередного варианта структуры сети Fast Ethernet оценивается по минимаксному критерию $fit = \min(\max(K_i))$, где K_i – коэффициент нагрузки i -го порта коммутатора. Нагрузка портов оценивается по величине входных потоков на входе порта коммутатора и задается в программе в виде матрицы, в которой элемент a_{ij} определяет нагрузку в Мбит/с, передаваемую от компьютера i к компьютеру j . При заданной предельной производительности всех портов коммутатора Fast Ethernet в 100 Мбит/с необходимо так сбалансировать входную нагрузку, чтобы выполнялось соотношение $(K_{\max} - K_{\min})/2 \leq e$, где K_{\max} , K_{\min} – соответственно максимальная и минимальная входные нагрузки портов коммутатора, e – заданное значение разброса величины K .

Поиск лучших вариантов проводился при числе итераций 50 и объеме начальной популяции хромосом, равном 500. На рис. 9 приводится диаграмма входной нагрузки всех портов коммутатора. В результате прогона программы получено значение $(K_{\max} - K_{\min})/2 = 8,5\% \leq e$, где $e = 10\%$.

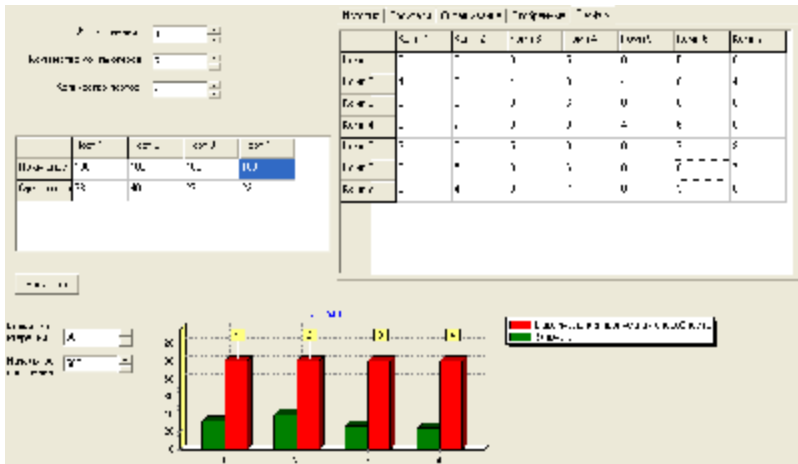


Рис. 9. Загрузка портов коммутатора при $(K_{\max} - K_{\min})/2 \leq 10\%$

При увеличении числа портов коммутатора, а также подключаемых к ним компьютеров число всевозможных вариантов подключения становится столь большим, что полный перебор становится невозможным. Поэтому решение задачи оптимизации структуры сети Fast Ethernet с одним коммутатором на основе генетического алгоритма является эффективным способом нахождения решений, близких к наилучшим.

В связи с тем, что нахождение оптимальной топологии сети с обеспечением необходимой производительности является весьма сложным, составле-

ние фитнес-функции в виде математических выражений, не представляется возможным. Поэтому вместо результатов вычисления фитнес-функции используются результаты имитационных прогонов сети Ethernet.

В систему имитации вводятся следующие основные данные: количество компьютеров в сети; число коммутаторов в сети; параметры генетического алгоритма (количество поколений, тип кроссовера, популяция, вероятность мутации и др.); сведения по каждому устройству в сети (для рабочей станции – размер генерируемых кадров, закон распределения и др., для коммутатора – количество портов, размер буфера порта, задержка при обработке кадров и др.); организация связи между устройствами.

Выходными данными системы имитационного моделирования является величина нагрузки устройств сети, вероятность потерь кадров, время, затрачиваемое на передачу заявок и его вариация, влияние на характеристики коллизий в сегментах Ethernet и т.д.

Оптимизация проводилась на основе минимаксного критерия. Ее целью являлось по возможности равномерное уменьшение коэффициентов нагрузки I_{\max} наиболее загруженных коммутаторов. Минимизация значения I_{\max} нужна для определения возможно большего числа свободных (резервных) логических дорожек при условии относительно равномерной загрузки каналов связи и портов коммутаторов. Нагрузка коммутатора складывается из потока трафика $w^{(i)} = \langle x^{(i)}, y^{(i)} \rangle$. Целевая функция описывается выражением $fit = \min [\max (\sum I_{i,j})]$, где $I_{i,j}$ – трафик между узлами i, j . В генетическом алгоритме по характеристикам хромосом подготавливаются файлы, которые итерационно загружаются в программу имитационного моделирования. Программа, реализующая генетический алгоритм, считывает полученные данные и использует их для вычисления значений фитнес-функции. Результаты, полученные в процессе имитационного моделирования, экспортируются в текстовый файл.

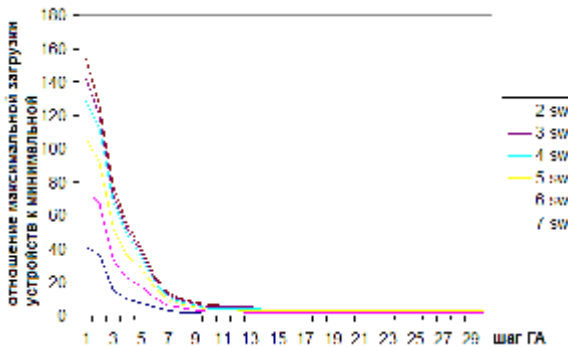


Рис. 10. Результаты работы программы оптимизации нагрузки на сеть, содержащую 50 компьютеров и 2, 3, 4, 5, 6 и 7 коммутаторов

В общем случае генетический алгоритм заканчивает свою работу, когда он находит такую структуру сети Ethernet, для которой реализованы условия, заданные в фитнес-функции. При минимаксном критерии – это условия равномерного распределения нагрузки на всех компонентах сети. На рис. 10 приведены результаты работы программы для случая, когда с помощью фитнес-функции контролируется отношение максимальной нагрузки устройства к ее минимальному значению. В локальной сети основной трафик циркулирует между абонентами и серверами, но имеется и трафик между рабочими группами абонентов.

Проведены экспериментальные исследования на фрагменте структурированной кабельной сети ГОУ ВПО ЛГПУ. Фрагмент включает в себя 60 точек подключения абонентских устройств, трафик в сети является разнородным. В сети функционируют такие сервисы как: IP видеонаблюдение; базы данных (Гарант, Консультант, Университет); Интернет; корпоративный почтовый сервис; используется файл-сервер. Количество коммутаторов в данном сегменте – 3. Количество портов на каждом коммутаторе – 32. Оценивалась нагрузка на коммутаторах до и после оптимизации. Результаты эксперимента представлены в таблице и графически на рис. 11.

Таблица

Устройство	Загрузка коммутатора до оптимизации	Загрузка коммутатора после оптимизации
Коммутатор 1	0,441	0,407
Коммутатор 2	0,388	0,408
Коммутатор 3	0,395	0,406

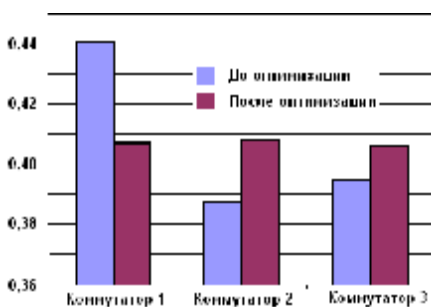


Рис. 11

Из полученных результатов видно, что после проведения оптимизации разброс загрузки коммутаторов уменьшился, что минимизирует длину очередей в буферах коммутаторов, снижает время передачи пакетов и его вариацию. Кроме того, резерв полосы пропускания сети увеличивается.

На основе генетического алгоритма разработана методика оптимизации структурированной кабельной системы корпоративной сети Ethernet. В алгоритме используется фитнес-функция, минимизирующая коэффициенты нагрузки наиболее загруженных линий связи или портов коммутаторов. Методи-

ка может быть использована для оперативной реконфигурации сетевых связей при динамическом изменении объема и структуры передаваемого трафика. Это необходимо для высококачественной передачи синхронной информации, критичной к задержкам и их вариациям (IP-телефонии, аудио-видео роликов по заказу, радио-видео передач по сети, аудио-видео конференций и т.п.).

Теоретические методы оптимизации сети Ethernet на основе генетического алгоритма были проверены на корпоративной сети ЛГПУ. В результате обработки данных после проведения оптимизации выяснилось, что максимальная нагрузка на устройства снизилась в среднем 4-5 % (рис. 12).

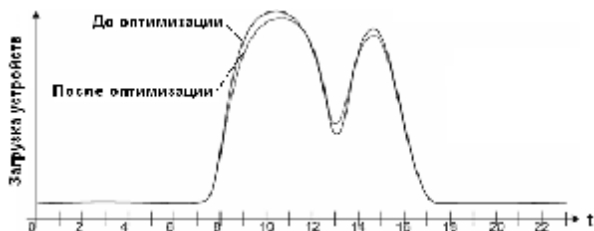


Рис. 12

Выигрыш в распределении нагрузки на коммутаторы позволяет снизить вероятность перегрузок в сети, уменьшить средние задержки передачи пакетов и их вариации, увеличить резерв полосы пропускания, и в конечном итоге – повысить качество услуг, предоставляемых пользователям сети, а также сократить материальные затраты.

В заключении подведены итоги проведенной работы и сформулированы основные научные и практические результаты. В диссертации решена задача разработки математического и программного обеспечения имитационного моделирования и синтеза оптимальной структуры сети Ethernet, имеющая существенное значение для сокращения сроков, уменьшения материальных затрат и повышения качества проектирования локальных вычислительных сетей Ethernet.

В приложениях приведено более подробное описание средств мониторинга и анализа существующих локальных сетей, а также не вошедшие в основную часть диссертационной работы материалы описания системы имитационного моделирования.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Главным итогом диссертационной работы является разработка генетических алгоритмов синтеза оптимальной структуры локальных сетей Ethernet и структурированных кабельных систем для корпоративных сетей.

В ходе выполнения исследований получены следующие результаты:

— выполнен анализ современных работ в области синтеза компьютерных сетей и сделано заключение о том, что задача создания математического и программного обеспечения синтеза оптимальной структуры сети Ethernet яв-

ляется нерешенной. Сделан вывод о перспективности проведения исследований по теме диссертации с использованием генетических алгоритмов;

- разработан новый генетический алгоритм для синтеза топологии локальной сети Ethernet, в котором по сравнению с известными аналогами в качестве функции полезности используется система имитации, что позволяет при оценке данного варианта структуры учитывать показатели качества сети Ethernet;

- создана визуальная система имитационного моделирования локальной сети Ethernet, в которой по сравнению с известными аналогами реализованы функции параметрической и структурной оптимизации сети Ethernet;

- впервые разработан генетический алгоритм оптимизации корпоративной структурированной кабельной сети Ethernet;

- на основе генетического алгоритма разработаны не имеющие аналогов методики параметрической и структурной оптимизации локальных сетей Ethernet и структурированных кабельных систем корпоративных сетей;

- разработаны программы оптимизации и синтеза крупномасштабных и многофункциональных сетей Ethernet.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК

1. Благодаров А.В., Пылькин А.Н., Скуднев Д.М. Моделирование процессов функционирования сети Ethernet // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета РГРТУ – 2007. Вып. 21 С. 60-64.

2. Благодаров А.В., Пылькин А.Н., Шибанов А.П., Скуднев Д.М. Синтез оптимальной по стоимости сети Ethernet // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета РГРТУ, 2009. Вып. 1. С. 8 – 12.

Основные публикации

3. Благодаров А.В., Скуднев Д.М.. Блочный подход к моделированию работы локальных сетей ЭВМ // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 12-международной науч.-техн. конф. Рязань, 2004. С. 83 – 84.

4. Благодаров А.В., Качкаев А.И., Скуднев Д.М. Моделирование работы локальных сетей ЭВМ // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 13-международной науч.-техн. конф. Рязань, 2004. С. 110 – 111.

5. Малыш В.Н., Скуднев Д.М. Вопросы проектирования сетей масштаба предприятия // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: межвуз. сб. Липецк, ГОУ ВПО "ЛГПУ", 2005. (Выпуск 8) С. 84 – 88.

6. Скуднев Д.М. Проблемы производительности вычислительных систем // Математическое и программное обеспечение вычислительных систем: межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. Рязань: РГРТА, 2005. С. 143 – 147.

7. Зияутдинов В.С., Скуднев Д.М., Ярцев А.С. Физическая среда передачи данных. Кабельные системы. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ. Липецк, ГОУ ВПО «ЛГПУ», 2006.

8. Зияутдинов В.С., Скуднев Д.М., Ярцев А.С. Конфигурация стека протокола TCP/IP в среде Windows Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ. Липецк, ГОУ ВПО «ЛГПУ», 2006.

9. Благодаров А.В., Зияутдинов В.С., Ребриев Р., Скуднев Д.М. Функциональная модель локальной вычислительной сети // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: межвуз. сб. Липецк, ГОУ ВПО "ЛГПУ", 2006. Вып. 9. Том 1. С. 38 – 42.

10. Благодаров А.В., Зияутдинов В.С., Ребриев Р., Скуднев Д.М. Методология моделирования процессов в локальной сети // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: межвуз. сб. Липецк, ГОУ ВПО "ЛГПУ", 2006. Вып. 9. Том 1. С. 42 – 48.

11. Зияутдинов В.С., Малыш В.Н., Скуднев Д.М. Математическое моделирование локальных сетей // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: межвуз. сб. Липецк, ГОУ ВПО "ЛГПУ", 2006. Вып. 9. Том 2. С. 74 – 77.

12. Благодаров А.В., Пылькин А.Н., Скуднев Д.М. Выбор основных блоков локальной сети Ethernet и их алгоритмы для программной реализации // Математическое и программное обеспечение информационных систем: межвуз. сб. науч. тр. / Под ред. А.Н. Пылькина. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. С. 13 – 20.

13. Ананьев С.В., Господарикова Ю.В., Скуднев Д.М. Математическое моделирование компьютерных сетей на основе теории сетей массового обслуживания // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: Межвуз. сб. статей. – Липецк: ГОУ ВПО "ЛГПУ", 2007. Вып. 10. С.7 – 9.

14. Благодаров А.В., Пылькин А.Н., Скуднев Д.М. Блочный подход к моделированию процессов функционирования сети Ethernet // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: Межвуз. сб. статей. – Липецк: ГОУ ВПО "ЛГПУ", 2007. Вып. 10. С. 29 – 37.

15. Благодаров А.В., Скуднев Д.М. Классификация видов информационно-вычислительных систем, использующие локальные сети ЭВМ // Информационные технологии в процессе подготовки современного специалиста: Межвуз. Сб. статей. – Липецк: ГОУ ВПО "ЛГПУ", 2007. Вып. 10. С. 221 – 224.

16. Скуднев Д.М. программа «EthernetModeling», номер государственной регистрации 20076138090 от 06.09.07 г.

17. Благодаров А.В., Пылькин А.Н., Скуднев Д.М. Анализ основных устройств корпоративной сети Ethernet Липецкого государственного педагогического университета // Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций: материалы 15-межд. науч.-техн. конф. Рязань 13-15 февраля 2008 г. С. 9 – 11.

СКУДНЕВ Дмитрий Михайлович

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И СИНТЕЗА
ОПТИМАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СЕТИ ETHERNET**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 18 мая 2009 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать трафаретная. Ус. печ. л. 1,0

Уч.-изд.л. 1,0 Тираж 100 экз.

ГОУВПО Рязанский государственный радиотехнический университет.

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1,

Редакционно-издательский центр РГРТУ