

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УКРАИНЫ  
“КИЕВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ”

На правах рукописи

ХАМЕД САКЕР МУБАРК АЛЬ - БИДУР  
(Иордания)

УДК 681.324

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ОПТИМИЗАЦИИ НАГРУЗКИ В  
КОРПОРАТИВНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ

Специальность 05.13.08 - Вычислительные машины, системы  
и сети, элементы и устройства вычислительной  
техники и систем управления

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Киев-1996 г.

Диссертация  
Работа  
кафедры  
00757062 (R)

Научный руководитель: — доктор технических наук,  
профессор  
Луцкий Георгий Михайлович

Официальные оппоненты: — Доктор технических наук,  
профессор  
Печурин Николай Капитонович  
— кандидат технических наук,  
доцент  
Плахотный Николай Викторович

Ведущая организация — Институт проблем  
моделирования в энергетике  
НАН Украины

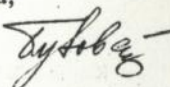
Защита состоится 16 декабря 1996 г. в 14.30 часов на заседании специализированного совета Д 01.02.06 в Киевском политехническом институте (г. Киев, пр. Победы, 37, корп. 18, ауд. 306).

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направлять по адресу: 252056, г. Киев, пр. Победы, 37, Ученому секретарю КПИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского политехнического института.

Автореферат разослан 15 декабря 1996 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
доктор технических наук,  
профессор

 О.В. Бузовский

## АННОТАЦИЯ

Целью диссертационной работы является разработка способов и средств оптимизации нагрузки и интенсивности информационных потоков в высокоскоростных корпоративных компьютерных сетях.

Для достижения указанной цели в диссертации решаются следующие задачи:

1. Анализ влияния трафика информационных потоков на время задержки передачи информации в виртуальных каналах корпоративных компьютерных сетей.

2. Анализ существующих методов расчета интенсивности и времени задержки передачи информационных потоков в высокоскоростных компьютерных сетях.

3. Разработка стохастической модели для оценки временных задержек в высокоскоростных сетях с целью оценки эффективности их функционирования.

4. Разработка адаптивного алгоритма управления потоками в высокоскоростных компьютерных сетях, обеспечивающего оптимальное соотношение между задержкой передачи информации и нагрузкой сети.

5. Формирование представительного набора параметров, определяющих влияние структурно - топологических характеристик на распределение информационных потоков в корпоративных сетях.

6. Разработка средств анализа и синтеза топологии корпоративной сети, оптимизирующих время задержки передачи по виртуальным каналам.

Автор защищает следующие положения и результаты:

1. Способ оценки временных задержек в высокоскоростных компьютерных сетях, основанный на теории очередей.

2. Адаптивный алгоритм управления потоками данных в высокоскоростных компьютерных сетях.

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

3. Алгоритма синтеза сетевых древовидных структур с учетом времени задержки передачи по виртуальному каналу, допускающий организацию более одного маршрута между двумя произвольными абонентскими системами.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы

В связи с широким внедрением вычислительных сетей в различные сферы деятельности повышаются требования к характеристикам компьютерных сетей. Все чаще компьютерные сети используются для приложений типа мультимедиа, которые предъявляют достаточно высокие требования к временным параметрам и в первую очередь ко времени задержки передачи информации через коммуникационную подсистему. Время передачи информации определяется как постоянной составляющей, являющейся функцией физических параметров, так и переменной составляющей, которая зависит от загрузки сети. При увеличении интенсивности информационных потоков производительность сети увеличивается до некоторого предельного значения, а затем начинает снижаться и может достичь нулевого значения при перегрузке и блокировке узлов коммутации. Соответственно задержка передачи изменяется по нелинейному закону, резко увеличиваясь при насыщении сети. В современных сетях типа FR нагрузка на сетевом уровне регулируется путем удаления избыточного числа пакетов, что может привести к нежелательным последствиям. Интеграция локальных сетей и отдельных абонентов в корпоративные компьютерные сети вносит свою специфику в распределение информационных потоков в сети, что также надо учитывать при оптимизации нагрузки в сети. Все это определяет актуальность разработки способов и средств оптимизации нагрузки в сети, учитывающих особенности функционирования высокоскоростных корпоративных сетей.

Методы исследований базируются на использовании основных положений теории вероятности, теории очередей, графов, комбинаторного анализа и теории проектирования компьютерных сетей.

Научная новизна заключается в разработке и обосновании:

- стохастической модели функционирования корпоративной сети, позволяющей с достаточной степенью адекватности определить ос-

новые факторы и степень влияния их на трафик виртуальных каналов и общую загрузку сети;

- способа адаптивного управления нагрузкой в высокоскоростных компьютерных сетях, повышающего эффективность их функционирования, а также снижающего вероятность удаления кадров в сети FR и отличающегося от известных меньшим временем запаздывания.

Практическая ценность результатов диссертационной работы определяется тем, что на основе предложенного метода достигается оптимальное соотношение между загрузкой сети и задержками в виртуальных каналах, что позволяет повысить эффективность ее функционирования. Полученные результаты также могут быть использованы на этапах анализа и синтеза как компьютерных сетей, так мультипроцессорных систем.

Достоверность теоретических результатов подтверждается корректностью доказательств основных положений, выводов и рекомендаций, их экспериментальной проверкой, а также результатами внедрения.

Реализация работы. Основные результаты диссертационной работы использованы при выполнении научно - исследовательских работ кафедры вычислительной техники, а также в учебном процессе на данной кафедре в дисциплинах " Проектирование вычислительных сетей" и " Сетевые информационные технологии".

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Объем диссертационной работы без приложения содержит 107 страниц машинописного текста, 19 рисунков, список литературы из 23 наименования.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируется цель и задачи исследований, основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматривается область и объект исследования, определяются основные топологические особенности корпоративных компьютерных сетей, оценивается влияние их на временные параметры сети. Рассмотрены основные известные способы оценки временных параметров компьютерных сетей, обосновывается целесообраз-

ность использования стохастических методов на этапе структурного анализа и синтеза компьютерных сетей.

Во второй главе рассматриваются вопросы взаимодействия абонентов в рамках единой корпоративной сети. Определены основные протоколы управления системой передачи данных, используемые в современных высокоскоростных корпоративных сетях, предложена математическая модель оценки временных задержек в коммутационной среде, позволяющая оценить эффективность управления потоками в сетях. На основе результатов моделирования поведения компьютерной сети при изменении интенсивностей информационных потоков предложен алгоритм оптимизации нагрузки в магистральной подсистеме корпоративной компьютерной сети.

В третьей главе рассматриваются вопросы взаимодействия высокоскоростных локальных сетей с магистральной подсистемой корпоративной сети, их взаимное влияние на скорость передачи и временные задержки в виртуальных каналах. Рассматриваются временные параметры наиболее распространенных методы доступа высокоскоростных локальных сетей. Особое внимание уделяется анализу влияния протоколов MAC уровня сетей 100 VG Any Lan, Fast Ethernet и FDDI на распределение нагрузки в корпоративных сетях.

В четвертой главе рассматриваются основные особенности этапа структурного анализа высокоскоростных компьютерных сетей. Определен представительный набор структурно - топологических характеристик, позволяющих оценить временные и надежность параметры сетевых структур. Предлагается и обосновывается алгоритм синтеза сети древовидной структуры с дополнительными каналами связи, обеспечивающими сокращение времени передачи по виртуальным каналам и требуемый уровень связности топологии компьютерной сети.

В заключении приведены основные результаты работы.

Приложение содержит алгоритмы программ моделирования и расчета временных параметров компьютерных сетей.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В настоящее время объективно существует тенденция объединения различных, как правило, высокоскоростных, локальных се-

тей в глобальные сети. Это в конечном итоге приводит к неоднородности компьютерных сетей. Среди современных компьютерных сетей наибольшее распространение получили корпоративные сети, представляющие собой множество локальных сетей и отдельных абонентских систем, объединенных между собой сетью передачи данных. До настоящего времени в качестве основной системы связи локальных сетей использовались относительно низкоскоростные сети стандарта X.25. В протоколе X25 можно отметить некоторую избыточность в процедуре управления передачей информации, связанную с контролем информации на уровне смежных узлов коммутации. Это оправданно для сетей с относительно высоким уровнем помех, однако, с повышением качества каналов связи роль данной процедуры снижается. Таким образом, использование протокола X.25 в современных высокоскоростных, помехоустойчивых сетях не позволяет достичь в них максимальной скорости передачи информации.

В связи с появлением высокоскоростных локальных сетей, таких как FDDI, 100VG AnyLan, Ultra Net со скоростью передачи 100 и более мегабит в секунду, возникла необходимость в переходе к более высокоскоростным (чем X.25) сетям связи. В настоящее время в качестве связующих элементов локальных компьютерных сетей находят использование высокоскоростные коммутационные сети, представляющие собой множество маршрутизаторов, объединенных между собой высокоскоростными цифровыми каналами передачи данных. Широкое применение находят сети *ретрансляции кадров (FR)* и *режима асинхронной передачи (ATM)*, а также сети типа HDDI.

В последних работах по анализу высокоскоростных сетей показано, что с повышением скорости передачи информации существенно увеличивается влияние нагрузки сети на время задержки передачи пакетов, а в некоторых случаях, например, в сетях ретрансляции кадров - к потере информации. При этом время задержка увеличивается по нелинейному закону, начиная резко расти примерно с 80 % загрузки сети. Все это определяет актуальность разработки алгоритмов регулирования нагрузки сети.

Анализ известных методов управления нагрузкой в сети показал, что основным механизмом управления, как правило, является снижение скорости передачи по перегруженному виртуальному маршруту на величину перегрузки независимо от других виртуальных каналов. В результате этого при прохождении нескольких маршрутов через один и тот же узел по каждому из них снижается нагрузка и в целом по узлу нагрузка становится меньше оптимальной, что вызывает необходимость повторной коррекции трафика. В большинстве слу-

чаев это приводит к итерационному процессу. Поэтому более эффективными будут алгоритмы, учитывающие взаимное влияние потоков.

Учитывая сказанное выше, предлагается следующий подход к управлению нагрузкой в сети. Исходными значениями является топология сети и интенсивность входных потоков. Как и при большинстве современных методов маршрутизации рассчитывается несколько допустимых маршрутов, при этом вычисляется минимальное время передачи по каждому из них. Затем при средних значениях трафика в сети рассчитываются вероятностные значения задержек. С этой целью сеть передачи данных представляется в виде стохастической сети массового обслуживания. Для оценки этого параметра воспользуемся математическим аппаратом теории очередей, который, как следует из основных работ по теории компьютерных сетей, позволяет с достаточной степенью адекватности моделировать временные параметры компьютерных сетей.

С учетом особенностей топологии современных компьютерных сетей задержка в передаче информации складывается из задержки в локальных сетях, глобальной сети (X.25, FR, ATM) и задержка в межсетевой системе коммутации (мостах). Как правило, передача информации в рамках локальной сети осуществляется без организации логического соединения. В этом случае для моделирования используются разомкнутые системы массового обслуживания. При этом для каждого типа локальной сети определяется своя модель расчета задержек в передаче информации, которые рассматриваются как задержки доступа к сети. Сети X.25 используют механизм "скользящего окна", для моделирования которого используется замкнутая сеть массового обслуживания, в свою очередь сеть FR моделируется разомкнутой стохастической сетью. Каждый мост моделируется в виде разомкнутой системы без потерь.

Полагаем, что абонентская система первой локальной сети генерирует пакеты для абонентской системы второй локальной сети, согласно Пуассоновскому закону со средним значением интенсивности  $\lambda$  (пакетов/с). Правомерность такого предположения подтверждается рядом работ по анализу компьютерных сетей. Пакеты из первой локальной сети через мост передаются в глобальную сеть, а затем через мост во вторую локальную сеть. Межсетевые пакеты на этом определенном логическом соединении будем называть внутренними пакетами, а остальные пакеты, поступающие на вход межсетевых коммутаторов - внешними пакетами. Учитывая значительное число межсетевых коммутаторов для упрощения стохастической сети, используем теорему Нортона о замещении систем массового обслуживания.

В соответствии с принятым подходом регулирования нагрузки в разрабатываемой модели необходимо учесть влияние внешних пакетов на время задержки внутренних пакетов и наоборот. Это может быть достигнуто следующим образом. Очереди. Пусть  $n_i$  - число внутренних пакетов  $i$ -й очереди, а  $m_i$  - числом внешних пакетов  $i$ -й очереди. Обозначим  $X_i$  относительное использование внутренние пакетами  $i$ -й очереди, которое является константой, пропорциональной  $1/\mu_{ij}$ , и  $\rho_i = \lambda_{2i}/\mu_{2i}$  абсолютное использование внешним пакетами очереди  $i$  для  $i$  от 1 до  $L$ . Тогда стационарное распределение вероятности состояний определяется из:

$$P(S) = \frac{1}{G(n)} \prod_{i=1}^L \frac{(n_i + m_i)!}{n_i! m_i!} X_i^{n_i} r_i^{m_i} (1 - r_i),$$

где  $X_i/(1-\rho_i)$  представляет собой эффективное относительное использование внутренние пакетов в очереди  $i$ , и нормированный коэффициент:

$$G(n) = \sum_{S \in \Omega(n)} \prod_{i=1}^L X_i^{n_i} / (1 - r_i)$$

Определены составляющие задержки для каждого участка сети, в частности для сети FR эта величина равна:

$$E(D_1) = \sum_{n=1}^{N_1-1} \left( \sum_{i=1}^n i \times P(n_{k+1} = n - i) \right) P_n + \sum_{n=1}^{N_1} \left( \sum_{i=1}^n i \times P(n_{k+1} = N_1 - i) \right) P_m$$

Ожидаемая полная задержка определяется по формуле:

$$E(D) = \sum_{n=1}^{N_1} \frac{n \lambda^n p_0}{(\gamma_1(n))! \lambda (1 - P_1)},$$

где вероятность потерь  $P_1$  и  $\lambda(1-P_1)$  представляет производительность системы,  $n$  - число маршрутизаторов виртуального канала,  $\lambda$  - интенсивность потока пакетов,  $\gamma$  - отношение интенсивности поступления пакетов к интенсивности их ухода из маршрутизатора.

Анализ рассмотренной модели сети позволил определить характер и численные значения задержек по виртуальному каналу в зависимости от интенсивностей внутреннего и внешних потоков. Показано, что неравномерное изменение внешних потоков оказывает существенное влияние на временные параметры сети, что особенно сказывается при предельных нагрузках. На основе проведенного анализа поведения сети при различных нагрузках разработан алгоритм адаптивного управления нагрузкой в неоднородных сетях передачи данных, объединяющих сети типа FR, ATM и X.25. Суть данного алгоритма заключается в следующем. В процессе работы сети определяются реальные значения задержек передачи, которые сравниваются с ожидаемым средним значением задержки, если оно превышает расчетное, то принимается решение либо об изменении маршрута, если имеется маршрут с меньшим значением задержки, либо снижается скорость передачи по виртуальному каналу. Расчет значения новой скорости передачи осуществляется на основе информации, поступившей от наиболее загруженного маршрутизатора на данном виртуальном канале. С целью наиболее оптимального регулирования наиболее загруженный узел "распределяет" снижение скорости по всем виртуальным каналам, проходящим через него. Таким образом, осуществляется достаточно быстрая адаптации сети к изменению входных потоков. В случае изменения конфигурации сети, связанной с выходом из строя маршрутизаторов на виртуальном пути, величина задержки начинает превышать допустимые значения, что также приводит к изменению маршрута. Предлагаемый алгоритм может быть использован и на этапе анализа эффективности выбранной сетевой топологии.

Рассматривая локальные сети, следует отметить, что широкий выбор современных сетевых средств позволяет синтезировать достаточно сложные сетевые структуры, однако известные математические модели рассчитаны на сети стандарта IEEE 802.3, 802.4, 802.5. Современные достижения в области сетевых технологий, переход к высокоскоростным сетям переопределяют критерии эффективности вычислительных сетей и, соответственно оказывают влияние на методы анализа и синтеза сетевых топологий. Все это вызывает необходимость разработки соответствующих методов синтеза вычислительных сетей. В настоящее время наметилась тенденция использования звездообразной топологии для построения высокоскоростных локальных сетей, примером является 1Гбайтная сеть Ultra Net с концентратором в центральной точке. В качестве математической модели при оценке временных параметров сетей с подобной топологией в работе обосновывается корректность использования систем массового обслуживания с многомерным потоком заявок с пуассоновским входным потоком и

экспоненциальным законом распределения времени обслуживания. В общем случае при бесприоритетном потоке заявок значение среднего времени ожидания  $E(W)$  определяется по формуле:

$$E(W) = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i X_i^{(2)}}{2(1 - \rho_1 - \rho_2 - \dots - \rho_M)},$$

где:  $\rho_i$  - интенсивность  $i$ -го входного потока,  $M$  - количество входных источников,  $X_i^{(2)}$  - второй начальный момент длительности обслуживания заявок  $i$ -го типа. Для экспоненциального закона обслуживания  $X_i^{(2)} = 2X_i^2 = 1/\mu_i^2$ , соответственно:

$$E(W) = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i X_i^2}{(1 - \rho_1 - \rho_2 - \dots - \rho_M)}$$

Как известно, сеть 100VG Any Lan обладает древовидной структурой, в узлах которой располагаются концентраторы. В сети различают два уровня приоритетов кадров данных. Заявки равного приоритета ставятся в очередь и обслуживаются в порядке кругового опроса. При этом временем опроса можно пренебречь, рассматривая поступление заявок от различных источников как от одного источника с суммарной интенсивностью. В этом случае на уровне концентратора сеть может быть представлена в виде системы массового обслуживания с двумя входными потоками. В работе получены следующие зависимости для среднего времени  $E(W)_1$  ожидания заявок для потока  $S_1$  с максимальным приоритетом и среднего времени ожидания  $E(W)_2$  для потока  $S_2$  с минимальным приоритетом:

$$E(W)_1 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu(\mu - \lambda_1)}$$

и

$$E(W)_2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu(\mu - \lambda_1)(\mu - \lambda_1 - \lambda_2)}$$

Эти значения рассматриваются как составляющие части общей нагрузки корпоративной сети.

Для сравнения в работе приводится значение среднего времени ожидания  $E(W)$  с двумя бесприоритетными потоками:

$$E(W) = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{\mu(\mu - \lambda_1 - \lambda_2)}$$

Анализ последних трех формул показывает, что минимальное значение среднего времени ожидания достигается при максимальном приоритете заявок за счет увеличения времени ожидания менее приоритетных заявок. При этом среднее время ожидания менее приоритетных заявок становится даже больше среднего времени ожидания при бесприоритетной системе обслуживания.

Как известно, сеть FDDI является локальной вычислительной сетью, все  $N$  станций которой расположены по кольцу. Симметричная нагрузка предполагает равномерное распределение трафика (интенсивности потока) между всеми станциями.

Учитывая сумму задержки в передающей среде и времени задержки на станции  $D$  получим следующее уравнение для определения  $TRT_{cp}$ :

$$TRT_{cp} = \frac{N * TTRT + D}{N + 1}$$

Эта величина является исходной для вычисления среднего значения времени доступа, при этом приведенное значение интенсивности обслуживания определяется по формуле:

$$\mu_s = \frac{TTRT - TRT}{TTRT}$$

Полученные аналитические зависимости показывают, что величины  $TRT$  и пропускная способность сети FDDI при симметричной нагрузке увеличиваются при возрастании интенсивности поступления данных практически по линейному закону до некоторой величины, называемой точкой насыщения, после которой эти величины остаются постоянными. На возрастающем участке обслуживаются все поступающие заявки на передачу кадров данных. После точки насыщения обслуживается часть заявок, объем которых ограничивается предельной пропускной способностью канала передачи данных. Осталь-

ные заявки становятся в очередь на обслуживания. С точки зрения загрузки сети оптимальным следует считать значение интенсивности, близкое к точке насыщения.

Характерной чертой современных глобальных сетей является использование методов: FR - *рестрансляции кадров* и АТМ - *метод асинхронной передачи*, что так же оказывает влияние на выбор сетевой топологии. В этом случае вычислительную сеть целесообразно рассматривать как множество локальных сетей, объединенных между собой соответствующими средствами комплексирования. Начальным этапом синтеза подобных структур естественно рассматривать декомпозицию структуры информационных потоков с целью определения подграфов с минимальными потоками между ними. Эта задача может быть сведена к комбинаторной задаче определения минимальной области, сочленения. При этом кроме основного параметра разбиения - *минимального потока* необходимо ввести ограничения, связанные с реализацией конкретных сетевых структур, в том числе максимально стоимость. По сравнению с известными подходами в данном случае структура локальной подсети может быть произвольной; то есть не ограничивается двухуровневой древовидной структурой. Очевидно, что сеть будет наиболее близкой к оптимальной при соответствии ее структуры распределению информационных потоков. Для оценки этого свойства предлагается использовать параметр, аналогичный общей структурной близости элементов:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} d_{i,j} \quad (i \neq j),$$

где:  $d_{i,j}$  - минимальная длина цепи между  $i$  и  $j$  вершинами графа структуры сети.

Количественно структурная близость определяется с помощью относительной структурной близости:

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{min}}} - 1,$$

где:  $Q_{\text{min}} = n(n-1)$  - минимальное значение структурной близости, соответствующее полносвязной структуре графа, для которой  $d_{i,j} = 1$  для любых вершин.

При анализе потоков в сетях используется нагруженный граф с соответствующими начальными значениями интенсивности ( $v_{i,j}^0$ ) потока между вершинами  $i$  и  $j$ . Величина  $v_{i,j}^0$  рассматривается при условии, что  $d_{i,j} = 1$ . В этом случае на основе выражения (1) для сети

конкретной топологии получим удвоенное значение суммарного потока:

$$D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} v_{i,j}^0 d_{i,j}$$

Соответственно, вместо будем использовать выражение:

$$D_{\text{min}} = \frac{D}{D_{\text{max}}}$$

где:  $D_{\text{max}}$  - удвоенное значение суммарного потока при  $d_{i,j} = 1$  для любых вершин.

Следует заметить, что значение  $D$  будет минимальным не только для полносвязанной структуры, а для любой сети у которой распределение потоков совпадает с ее топологией. Таким образом, соотношение (4) может рассматриваться в качестве критерия соответствия структуры сети ее информационным потокам, то есть в качестве одного из основных критериев структурной оптимизации.

При анализе топологии сети будем использовать матрицу  $|a_{i,j}|_{n,n}$  смежности вершин, матрицу  $|s_{i,j}|_{n,n}$  расстояний и матрицу  $|v_{i,j}^0|_{n,n}$  интенсивности потоков между  $i$  и  $j$  абонентскими системами. Далее, каждой вершине  $r_i$  ( $i=1,2, \dots, n$ ) сопоставим исходное значение входных и выходных потоков:  $w_i^0 = \sum_{j=1}^n v_{i,j}^0$ . Заметим, что реальное значения  $v_{i,j}$  и  $w_i$  будет отличаться от исходных в большую сторону за счет транзитных потоков, появляющихся при  $d_{i,j} > 1$ . Соотношение величин  $s_{i,j}$  и  $w_i$  можно представить в виде функции  $w_i = \varphi(x_{i,j}, y_{i,j})$  в трехмерном пространстве с координатами  $(x, y, z)$ . В общем случае эта функция будет иметь локальные максимумы и минимумы. Решение задачи декомпозиции структуры будем считать близким к оптимальному в том случае, когда в каждом подграфе графа структуры сети будет находится не менее одного локального максимума, а смежные вершины будут характеризоваться минимальным значением внешнего потока. На начальном этапе синтеза предлагается определить минимальное число подобных подграфов с учетом максимально допустимого расстояния  $s_{\text{max}}$  в локальной сети выбираемого типа. В качестве исходной выбирается вершина с максимальным значением  $w_i^0$ , все вершины, находящиеся в радиусе,  $r \leq w_i^0$  условно включаются в данное подмножество. Затем в радиусе  $r + 3r$  выбирается центр очередного подграфа. После этого методом минимального потока через разрез уточняется граница между подграфами. Аналогичным образом фор-

мируются все последующие подграфы. Выбор структуры локальной сети осуществляется путем обеспечения минимального значения  $D_{\text{он}}$  среди возможных топологий. Одной из существенных задач построения высокоскоростных сетей является обоснованный выбор количества и месторасположения устройств сопряжения (мостов, маршрутизаторов, шлюзов), связывающих между собой отдельные подсети. Количество подобных устройств должно быть таким, чтобы при минимальной стоимости обеспечились достаточные условия по пропускной способности и живучести сети. Первое условие рассматривается в плоскости оптимизации информационных потоков в вычислительной сети. Исходным является множество  $P = |p_{ij}|_m$  информационных процессов, взаимодействующих между собой с интенсивностью  $\lambda_{ij}$ , где  $i$  - номер процесса, являющегося источником, а  $j$  - получателем информации.

Интенсивность взаимодействия всего множества процессов представим в виде соответствующей матрицы  $\Lambda = |\lambda_{ij}|_n$ . Топология сети передачи данных задается с помощью множества  $S = |s_{ij}|_n$  вершин графа сети передачи данных и множества его ребер  $A = |a_{ij}|_n$ . В данном случае вместо операций над матрицами будем использовать операции над множествами, образованными на основании содержимого строк исходной матрицы смежности. При этом дополнительно к подмножествам  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) сформируем вспомогательные подматрицы  $|C_i^i|_{2 \times d}$ , в которых первая строка указывает на номер столбца матрицы  $|A|_{n \times n}$  на пересечении с которым в  $i$ -ой строке исходной матрицы  $|A|_{n \times n}$  находится значение  $\lambda_{ij} \neq 0$ , а ее вторая строка определяет само значение этой величины. Здесь величина  $\gamma$  определяет общее число ненулевых элементов в  $i$ -ой строке исходной матрицы  $|A|_{n \times n}$ . Учитывая, что для большинства сетевых технологий  $\delta_{\text{ср}} \ll n$  подобное представление матрицы требует меньших затрат памяти по сравнению с использованием исходной матрицы. В соответствии с предлагаемым алгоритмом на каждом шаге вычисления формируются два непосредственно не связанных между собой подграфа, номера вершин которых будем соответственно заносить в множества  $A_0$  и  $A_m$ . Номера вершин, образующих подмножество сочленения этих подграфов будем заносить в вектор  $M_c$ .

После формирования подмножеств  $A_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) и вспомогательных матриц  $|C_i^i|_{2 \times d}$  осуществляется последовательное объединение множеств  $A_i$  между собой. В качестве исходного множества  $A_0$  выбирается множество  $A_i$  с максимальным количеством элементов. Затем из оставшихся множеств выбирается множество  $A_i$ , образующиеся путем объединения с  $A_0$  максимальное множество  $A_m = (A_0 \cap A_i)$ . Оп-

ределяется число  $(r=k+m)$ , где  $k$  - количество объединенных множеств,  $m$  - размер множества  $A_m$ . После первого шага величина  $r=2+m$ .

Обратим внимание, что элементы множества  $A_0$  определяют строки подматрицы  $|A_{1,3}|_{n \times n}$ , а элементы множества  $A_m$  определяют ее столбцы.

Для определения внешних потоков полученных подграфов формируем подмножество сочленения  $M_c$ . Затем на основании множеств  $A_0$ ,  $A_m$ , вектора  $M_c$  и матриц  $|C^i|_{2 \times m}$  определяем интенсивность потоков относительно подграфов  $M_1$  и  $M_2$ .

На втором и последующих шагах осуществляется объединение аналогичным образом множества  $A_m$  с остальными  $A_m = (A_0 \cap A_i)$ . На каждом  $i$ -ом шаге вычисляется соответствующее значение  $r$ . Процесс объединения заканчивается при  $(k+m)=n$  или  $i=n$ . В первом случае исходный граф является несвязным, во втором случае разделение исходного графа на подграфы определяется соотношением подмножеств  $A_0, A_m, M_c$ .

Основные результаты работы формулируются следующим образом:

1. В результате анализа основных топологий, используемых для построения высокоскоростных компьютерных сетей, определен представительный набор структурно - топологических характеристик, позволяющих оценить временные и надежность параметры сетевых структур. Обоснована целесообразность учета этих характеристик на этапе анализа и синтеза сетевых структур.

2. На основе проведенного анализа существующих методов расчета временных параметров компьютерных сетей, разработана стохастическая модель для оценки временных задержек в высокоскоростных компьютерных сетях.

3. С целью оценки корректности стохастической модели разработана имитационная модель для расчета времени задержки передачи данных. Результаты моделирования при различных значениях параметров близки к результатам, полученным на основании стохастической модели.

4. Разработан адаптивный алгоритм управления потоками в высокоскоростных компьютерных сетях, позволяющий при заданных верхних границах задержек передачи данных по виртуальным каналам достичь оптимальной загрузки сети. Дополнительно для сети FR дан-

ный алгоритм позволяет снизить вероятность удаления пакетов во внутренних узлах виртуального канала.

5. Разработан алгоритма синтеза сетевых древовидных структур с учетом времени задержки передачи по виртуальному каналу, допускающий организацию более одного маршрута между двумя произвольными абонентскими системами.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Аль-Бдур Хамед "Метод расчета задержек передачи информации в высокоскоростных сетях": Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т" - Киев, 1996.- 4 с.: ил. - Библиогр: 3 назв. - Рус.- Деп. в УкрИНТЭИ, № 35- Ук 96

2. Луцкий Г. М., Аль-Бдур Хамед "Адаптивный алгоритм управления нагрузкой в высокоскоростных сетях": Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т" - Киев, 1996.- 3 с.: ил. - Библиогр: 3 назв. - Рус.- Деп. в УкрИНТЭИ, № 36 - Ук 96

3. Аль-Бдур Хамед "Метод структурного синтеза гетерогенных сетей": Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т" - Киев, 1996.- 5 с.: ил. - Библиогр: 3 назв. - Рус.- Деп. в УкрИНТЭИ, № 47 Ук 96

4. Луцкий Г. М., Аль-Бдур Хамед "Алгоритм синтеза неоднородных сетевых структур": Нац. техн. ун-т Украины "Киев. политехн. ин-т" - Киев, 1996.- 4 с.: ил.- Библиогр: 3 назв. - Рус.- Деп. в УкрИНТЭИ № 46 -96

### Хамед Сакер Мубарк Аль - Бидур

#### Способы и средства оптимизации нагрузки в корпоративных компьютерных сетях

Работа является рукописью на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.08- Вычислительные машины, системы и сети, элементы и устройства вычислительной техники и систем управления. Национальный технический университет Украины, г. Киев, 1996 г.

Целью диссертационной работы является разработка способов и средств оптимизации нагрузки в корпоративных компьютерных сетях.

This scientific work is a manuscript to submit one's thesis for candidate's sciences in speciality 05.13.08 - Computers, systems and networks, elements and unites of computer technigue and control systems.

The aim of the thesis is development of ways and means of optimization loading in corporate computer networks.

**Ключові слова :** високошвидкісний канал, ефективність, пропускна здатність, аналітична модель, корпоративни мережи.

Подл. к печ. 14.11.96. Формат 60×84<sup>1/16</sup>.  
Бумага тип. № 1. Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 0,93.  
Услови. кр.-отт. 1,04. Уч.-изд. л. 1,0.  
Тираж 100. Зак. № 6-3874.

---

Фирма «ВИПОЛ»  
252151, г. Киев, ул. Волянская, 60.

437187

AB 36.040