На правах рукописи

Вильк Ханс-Вернер

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СОВМЕСТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОТОКОВ СООБЩЕНИЙ НА СЕТЯХ ЛИНЕЙНОЙ СТРУКТУРЫ

Специальность 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Из фондов Российской национальной библиотеки

Москва - 2002

Работа выполнена в Московском техническом университете связи и информатики (МТУСИ).

Научный руководитель:	доктор технических наук, профессор Степанов С. Н.
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор Докучаев В. А., кандидат технических наук, доцент Казанский Н. А.
Ведущая организация:	Ленинградский отраслевой научно-исследовательский институт связи (ЛОНИИС)

Защита состоится «17» ОКТЯБРЯ 2002 года в 15.00 часов на заседании диссертационного совета К219.001.03 при Московском техническом университете связи и информатики по адресу: 111024, Москва, ул. Авиамоторная, дом 8-а, МТУСИ, ауд. 455.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МТУСИ.

Автореферат разослан «2» СЕНТЯБРЯ 2002 года.

Ученый секретарь диссертационного совета К219.001.03

Кандидат технических наук, профессор Попова А. Г.

Из фондов Российской национальной библиотеки

2004-4
20960

764379

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Проблема анализа качества обслуживания сообщений в сетях связи обусловлена сложной структурой моделей, используемых для их описания. Переход на цифровую технологию передачи информации усложняет положение дел, поскольку в дополнение к традиционным появляются новые виды обслуживания (передача изображений с высокой разрешающей способностью, услуги Интернет, мультимедиа и т. д.). Порожденные ими потоки сообщений могут значительно различаться по своим требованиям к ресурсам сетей, задержкам сообщений в узлах коммутации, потерям части информации, надежности ее обслуживания в сети. Необходимость учета перечисленных особенностей усложняет описание моделей сетей и, следовательно, оценку показателей качества совместного обслуживания сообщений различного вида.

Анализ опубликованных работ показал, что в настоящее время недостаточно детально разработаны методы оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных в сетях линейной структуры с коммутацией пакетов. Такие методы необходимы как при проектировании, так и при управлении телекоммуникационными сетями. Поэтому тема диссертационной работы является актуальной.

Цель работы. Целью диссертационной работы является разработка точных и приближенных методов оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных в высокоскоростных сетях связи линейной структуры.

Методы исследования. Для решения поставленной задачи используются методы теории сетей связи, теории телетрафика, теории массового обслуживания.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается в следующем:

1. Разработаны функциональная и имитационная модели совместного обслуживания потоков речевых сообщений и пакетов данных в сети линейной структуры при заданных дисциплине обслуживания и схеме входных потоков. Определены показатели качества обслуживания. Для сети из трех узлов разработана математическая модель, составлена и решена система уравнений статистического равновесия. В отличие от ранее известных, разработанные модели позволяют исследовать процесс совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных в широком диапазоне структурных и входных параметров.

2. Разработаны процедуры приближенной оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных, основанные на реализации принципа декомпозиции, т. е. раздельной оценки показателей каждого из совместно обслуживаемых потоков сообщений. Оценка по-

РГБ
2004

Копия в Российской национальной библиотеке

казателей качества обслуживания речевых сообщений сводится к использованию рекурсивного алгоритма и алгоритма просеянной нагрузки. Для оценки показателей качества обслуживания потоков данных построена вспомогательная модель сети с ожиданием и разработан алгоритм расчета соответствующих показателей. В отличие от ранее известных подходов разработанные алгоритмы характеризуются простотой реализации и универсальностью применения.

3. Показано, что относительная погрешность (по сравнению с имитационным моделированием) при расчете показателей качества обслуживания пакетов данных с использованием принципа декомпозиции находится в интервале 5-15%. Затраты времени на расчет показателей на 3-4 порядка меньше, чем при имитационном моделировании. Точность оценки показателей качества обслуживания пакетов данных не зависит от структурных и входных параметров. При этом расчет этих показателей происходит при учете их совместного обслуживания с речевыми сообщениями.

4. Для детальной оценки особенностей совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных построена математическая модель сети линейной структуры с тремя узлами и с ограниченным размером буфера для пакетов данных, получающих отказ в обслуживании. Исследована система уравнений статистического равновесия и получены выражения для показателей качества обслуживания. Сформулированы условия существования стационарного режима обслуживания.

5. Исследовано поведение показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных для сети линейной структуры в условиях перегрузки, и дан анализ возможностей выхода из режима перегрузки. Проведена оценка требуемого ресурса сети в зависимости от интенсивности потоков речевых сообщений и пакетов данных.

Личный вклад. Все результаты, приведенные в диссертационной работе, включая численные расчеты по решению поставленных в работе задач, получены автором лично.

Практическая ценность и реализация результатов работы. На основании разработанных в диссертации методов составлены и реализованы алгоритмы численного расчета показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных на сетях линейной структуры, а также разработаны рекомендации по оценке требуемого ресурса сети в зависимости от заданных потоков сообщений и по возможностям выхода сети из режима перегрузки.

Разработанные методы, алгоритмы, результаты численных расчетов используются в ЗАО «Газтелеком», ОАО «Минсктелекомстрой» при решении вопросов построения и функционирования сетей связи, что подтверждено соответствующими актами

Национальная библиотека

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 55-ой научной сессии, посвященной Дню радио (Москва, 2000), на научно-технических конференциях профессорско-преподавательского, научного и инженерно-технического состава МТУСИ (Москва, 2000, 2001, 2002), на международных форумах информатизации МФИ-2000, 2001, проводившихся на базе МТУСИ.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 9 печатных работ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В разработанной функциональной модели сети линейной структуры учтено совместное обслуживание речевых сообщений и пакетов данных с возможностью буферизации пакетов данных, если они получают отказ в обслуживании или вытесняются с обслуживания в результате поступления приоритетных речевых сообщений. Механизм обслуживания речевых сообщений происходит в рамках модели с потерями, а механизм обслуживания пакетов данных - в рамках модели с ожиданием. Поступление речевых сообщений и пакетов данных подчиняются пуассоновскому закону, а времена обслуживания речевых сообщений и пакетов данных имеют экспоненциальное распределение.

2. Разработанные средства точного расчета показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных используются для оценки погрешности приближенных методов. В общем случае точные значения показателей найдены с помощью метода имитационного моделирования. В частном случае точные значения показателей найдены с помощью составления и решения системы линейных уравнений статистического равновесия для сети, состоящей из трех узлов, двух цифровых линий, трех потоков речевых сообщений, двух потоков пакетов данных.

3. Использование принципа декомпозиции дает возможность разработки точных и приближенных алгоритмов оценки показателей качества обслуживания речевых сообщений при условии минимизации их потерь в сети. Точный расчет основан на процедуре построения рекурсивного алгоритма. Приближенный расчет основан на алгоритме просеянной нагрузки, использующем многократное применение формулы Эрланга.

4. Использование принципа декомпозиции и построение вспомогательной модели сети дает возможность приближенной оценки показателей качества обслуживания пакетов данных, для которой получен рекурсивный алгоритм. При этом относительная погрешность (по сравнению с имитационным моделированием) расчета показателей качества обслуживания пакетов данных при их совместном обслуживании с речевыми сообщениями находится в интервале 5 - 15 %.

5. Исследование совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных в построенных моделях сети линейной структуры производится

Изготовлено в Российской государственной библиотеке

при условиях нахождения сети в стационарном режиме, когда не происходит переполнения буфера ожидающими пакетами данных и минимизируются потери речевых сообщений. Используемые методы и алгоритмы позволяют исследовать поведение сети при переходе в критический режим обслуживания и определить способы выхода из критического режима.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, одного приложения. Работа изложена на 165 страницах машинописного текста, содержит 15 рисунков, 22 таблиц, список литературы состоит из 73 наименований.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определена ее научная и практическая ценность, изложено краткое содержание работы, а также сформулирована цель исследования.

В первой главе проведен анализ услуг, предоставляемых современными сетями связи, и технологий, при которых эти услуги осуществляются. Перечисляются основные показатели качества обслуживания поступающих сообщений в цифровых сетях, связанные с характеристиками трафика, дисциплиной обслуживания, ресурсом сети и т. д. Анализируются методы, применяемые в теории телетрафика, и основанные на них способы оценки показателей качества обслуживания сообщений на сетях связи различной структуры. На базе проведенного анализа осуществляется постановка задачи исследования.

В данной работе под речевыми сообщениями понимаются все виды сообщений, которые должны быть обслужены в сети практически без потерь и без задержек в узлах коммутации. Под пакетами данных понимаются сообщения, которые могут быть обслужены в сети с некоторой задержкой.

Проблема совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных в телекоммуникационных сетях требует разработки инженерных методов оценки показателей качества обслуживания. Для этого необходимо построить достаточно реальные функциональные модели и, используя методы теории телетрафика и теории массового обслуживания, исследовать имеющиеся возможности для разработки точных и приближенных методов расчета показателей качества обслуживания.

На основании анализа работ, посвященных расчетным методам в задачах совместного обслуживания различных видов сообщений в сетях связи, делается вывод, что в настоящее время отсутствуют эффективные методы оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных на сетях линейной структуры с произвольным числом узлов коммутации и потоков сообщений. Соответствующие методы расчета,

из электронной библиотеки

алгоритмы, численные результаты, выработанные на их основании рекомендации необходимы при проектировании сетей связи и при решении задач по управлению их функционированием.

Во второй главе построена функциональная модель сети линейной структуры, в которой учтено совместное обслуживание речевых сообщений и пакетов данных с возможностью буферизации пакетов данных, если они получают отказ в обслуживании или вытесняются с обслуживания в результате поступления приоритетного речевого сообщения. Для построенной модели разработаны и исследованы алгоритмы точной оценки показателей качества совместного обслуживания с помощью методов имитационного и математического моделирования. В последнем случае рассмотрена модель, когда в сети имеются три узла, три потока речевых сообщений и два потока пакетов данных.

Функциональная модель совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных приведена на рис. 1.

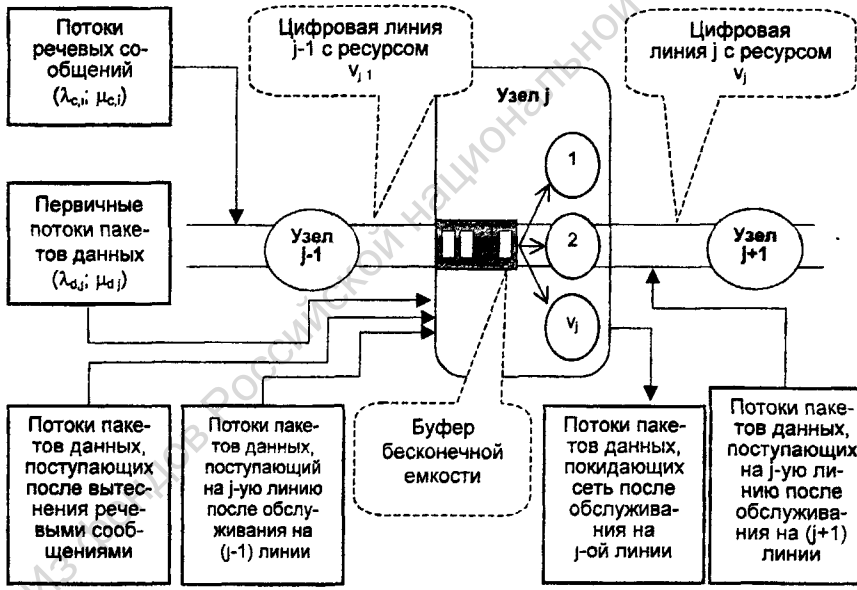

Рис. 1. Функциональная модель совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных

Структура модели представляется в следующем виде. В сети имеется N узлов и J=N-1 цифровых линий (ЦЛ), причем v_j - ресурс j-ой ЦЛ. В сети имеется F потоков речевых сообщений. Каждый поток характеризуется маршрутом следования, совокупность маршрутов следования описывается

Из фондов Российской национальной библиотеки

матрицей: $D=\|d_{ji}\|$, где $d_{ji}=1$, если i-ый поток использует j-ую ЦЛ, и $d_{ji}=0$ в противном случае (j=1, 2, …,J; i=1, 2, …, F).

Дисциплина обслуживания пакетов данных определяется следующим образом. Пакет, попав на j-ую ЦЛ, принимается к обслуживанию, если на рассматриваемой ЦЛ имеется свободный ресурс. Если такового не оказалось, то пакет становится на ожидание в буфер неограниченной емкости. После освобождения ресурса пакет с вероятностью p(j, j) обслуживается на j-ой ЦЛ. Вероятности p(j, j-1) и p(j, j+1) означают попадание пакета на обслуживание на (j-1)-ую и на (j+1)-ую ЦЛ после завершения его обслуживания на j-ой ЦЛ. Кроме того, после завершения обслуживания пакета на j-ой ЦЛ предусматривается потеря пакета с вероятностью p(j, 0). Элементы p(j, k) объединяются в матрицу вероятностей переходов пакетов данных: $P=\|p(j,k)\|$.

При обслуживании речевых сообщений определяющим фактором является последовательность узлов сети, через которые осуществляется соединение. Занятие ресурса ЦЛ происходит однократно. Если ресурса не хватает, то речевое сообщение теряется без его возобновления или постановки на ожидание. Таким образом, механизм обслуживания речевых сообщений происходит в рамках модели с потерями. При обслуживании пакетов данных главным фактором является ресурс ЦЛ, на которой осуществляется обслуживание. В этом случае процесс обслуживания может быть многократным в зависимости от того, состоялось или нет вытеснение пакета данных приоритетным речевым сообщением. Таким образом, механизм обслуживания пакетов данных происходит в рамках модели с ожиданием.

В построенной функциональной модели сети предполагается, что поступление потоков речевых сообщений подчиняется пуассоновскому закону с интенсивностью λ_{ci}, зависящей от номера маршрута (i = 1, 2, ..., F), поступление первичных потоков пакетов данных также подчиняется пуассоновскому закону с интенсивностью λ_{dj}, зависящей от номера ЦЛ (j = 1, 2, ..., J). Предполагается, что времена обслуживания речевых сообщений и пакетов данных имеют экспоненциальное распределение с параметрами μ_{ci} и μ_{dj}.

В соответствии с моделью сети и дисциплиной совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных основными показателями качества обслуживания являются:

π_{ci} - доля потерянных речевых сообщений i-го потока;

y_{ci} - средняя величина ресурса ЦЛ, занятого на обслуживание i-го потока речевых сообщений;

y_{dj} – средняя величина ресурса ЦЛ, занятого на обслуживание пакетов данных на j-ой ЦЛ;

ω_j – среднее число пакетов данных, находящихся на ожидании на j-ой ЦЛ;

Информационно-аналитическая библиотека

T_j – среднее время пребывания пакетов данных на обслуживании и ожидании на j-ой ЦЛ, $T_j = \frac{y_{dj} + \omega_j}{\gamma_{dj}}$, γ_{dj} – общая интенсивность потока пакетов данных, поступающих на j-ую ЦЛ.

Введенные показатели рассматриваются в стационарном режиме функционирования сети.

В общей постановке решение задачи, связанной с оценкой показателей качества совместного обслуживания сообщений в построенной модели сети, осуществляется средствами имитационного моделирования. В данной работе имитационное моделирование применяется для проверки достоверности приближенных алгоритмов и основанных на их реализации инженерных методов оценки показателей качества совместного обслуживания. Эти показатели определены в разработанной имитационной модели сети, а также предложены и реализованы расчетные методы их нахождения.

В силу сделанных предположений о модели сети ее функционирование описывается марковским процессом. Однако, при большом числе потоков сообщений и цифровых линий сети точный анализ модели аналитическими средствами, развитыми в теории марковских процессов, становится проблематичным. В связи с изложенным, аналитическими средствами рассматривается частный случай сети линейной структуры, состоящей из трех узлов, двух ЦЛ (имеющих соответственно ресурсы v_1 и v_2), трех потоков речевых сообщений с интенсивностями λ_{c1}, λ_{c2}, λ_{c3} (поток λ_{c1} - из узла 1 в узел 2, поток λ_{c2} - из узла 2 в узел 3, поток λ_{c3} - из узла 1 в узел 3) и параметрами времен обслуживания μ_{c1}, μ_{c2}, μ_{c3}, двух первичных потоков пакетов данных с интенсивностями λ_{d1}, λ_{d2} (поток λ_{d1} - на 1-ой ЦЛ, поток λ_{d2} - на 2-ой ЦЛ) и параметрами времен обслуживания μ_{d1}, μ_{d2}. Компоненты марковского процесса, описывающие динамику занятия ресурса ЦЛ речевыми сообщениями и пакетами данных, следующие: i_{c1}, i_{c2}, i_{c3} - число речевых сообщений соответственно 1-го, 2-го и 3-го потоков, находящихся в момент времени t на обслуживании, а i_{d1}, i_{d2} - число пакетов данных, находящихся в момент времени t на обслуживании и ожидании. Эти компоненты меняются в пределах:

$i_{c1} = 0, 1, \ldots, v_1$; $i_{c2} = 0, 1, \ldots, v_2$; $i_{c3} = 0, 1, \ldots, \min(v_1 - i_{c1}, v_2 - i_{c2})$;

$i_{d1} = 0, 1, \ldots, \infty$; $i_{d2} = 0, 1, \ldots, \infty$.

Марковский процесс для состояния сети исследуется в стационарном режиме. Вводится вероятность состояния сети $P(i_{c1}, i_{c2}, i_{c3}, i_{d1}, i_{d2})$. Приравнивая интенсивности входа и выхода в фиксированное стационарное состояние, формулируется система линейных уравнений статистического равновесия для нахождения вероятности $P(i_{c1}, i_{c2}, i_{c3}, i_{d1}, i_{d2})$. Показатели качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных определяются через значения стационарных вероятностей.

Издание Российского национального сигнального

Сравнение результатов имитационного моделирования с результатами аналитических расчетов проведено для частного случая сети линейной структуры, состоящей из трех узлов. При этом значения основных показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных, полученные на основе аналитических расчетов, лежат в 95% доверительном интервале значений показателей, полученных с помощью имитационного моделирования.

В третьей главе разработаны алгоритмы оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных для построенной модели сети. Реализация алгоритмов основана на принципе декомпозиции, т. е. отдельно рассматриваются ситуации, когда в сети не происходит обслуживание пакетов данных или не происходит обслуживание речевых сообщений. В обеих ситуациях выполняется свойство мультипликативного представления вектора неизвестных вероятностей. Точная оценка показателей качества обслуживания речевых сообщений основана на реализации рекурсивного алгоритма. Приближенная оценка показателей качества обслуживания речевых сообщений основана на алгоритме просеянной нагрузки, сводящемся к многократному использованию формулы Эрланга. Приближенная оценка показателей качества обслуживания пакетов данных основана на построении вспомогательной модели сети с ожиданием, для которой разработан рекурсивный алгоритм. Реализация алгоритмов позволяет производить расчеты показателей для конкретных значений структурных и входных параметров с приемлемой точностью и достаточно быстро.

Точная оценка показателей качества обслуживания речевых сообщений базируется на принятой дисциплине обслуживания. Оценка этих показателей может быть произведена независимо от наличия потока пакетов данных в рамках модели сети с минимальным уровнем потерь речевых сообщений. В результате сделанных предположений рассматривается модель сети, состоящая из (J+1) узлов. В сети осуществляется обслуживание F потоков речевых сообщений. Каждый k-ый поток характеризуется интенсивностью поступления сообщений λ_k, средним временем обслуживания $1/\mu_k$ и маршрутом следования R_k, состоящим из номеров ЦЛ, используемых при обслуживании. Вводятся обозначения:

i_k - число речевых сообщений k-го потока, находящихся на обслуживании;

Θ - F-мерное пространство состояний $(i_1, i_2, \ldots, i_F)$;

N_j - множество номеров потоков речевых сообщений, которые в процессе обслуживания используют j-ую ЦЛ;

A_k – множество состояний, для которых выполняется условие:

$$\sum_{m \in N_j} i_m < v_j, \quad \text{где} \quad j \in R_k, \quad \text{при этом} \quad \sum_{k \in N} i_k \le v_j \quad \text{для} \quad j = 1, 2, \ldots, J.$$

Национальная библиотека

Показатели качества обслуживания речевых сообщений k-го потока определяются следующим образом:

$\pi_k = 1 - \sum_{(i_1, i_2, \ldots, i_F) \in A_k} P(i_1, i_2, \ldots, i_f)$ - доля потерянных речевых сообщений k-го потока;

$y_k = \sum_{(i_1, i_2, \ldots, i_F) \in \Theta} P(i_1, i_2, \ldots, i_F) i_k = a_k (1 - \pi_k)$ - средняя величина ресурса сети, занятого на обслуживание k-го потока речевых сообщений,

где $P(i_1, i_2, \ldots, i_F)$ - значения стационарных вероятностей и $a_k = \frac{\lambda_k}{\mu_k}$.

Используя свойство мультипликативности

$P(i_1, i_2, \ldots, i_F) = \frac{1}{N} \prod_{k=1}^{F} \frac{a_k^{i_k}}{i_k!}$ (N находится из условия нормировки),

определяются численные значения показателей качества обслуживания для несложных по структуре моделей. В случае сложной структуры (особенно при наличии большого числа входных потоков) необходимо разработать оптимальный и быстрый алгоритм расчета этих показателей. Показано, что наиболее эффективным для нахождения точных значений показателей качества обслуживания речевых сообщений является рекурсивный алгоритм.

Приближенный расчет показателей качества обслуживания речевых сообщений основан на использовании формулы Эрланга и дает следующую оценку для потерь π_k, которая определена как мультипликативная граница·

$\pi_k \le 1 - \prod_{j \in R_k} \left(1 - E(v_j, \overline{a_j})\right)$, где $E(v_j, \overline{a_j})$ – функция Эрланга и $\overline{a_j}$ - величина всех обслуживаемых на j-ой ЦЛ потоков сообщений, имеющихся в сети, без учета потерь на предыдущих и последующих этапах установления соединения.

Учет указанных потерь приводит к модификации исследуемого подхода на основании алгоритма просеянной нагрузки, сводящегося к многократному использованию формулы Эрланга. Реализация этого алгоритма позволяет кроме приближенных значений доли потерянных речевых сообщений каждого потока также найти и суммарное значение Λ_j интенсивности потока всех речевых сообщений, поступающих на обслуживание по j-ой ЦЛ. Имея возможность независимо рассчитать показатели качества обслуживания речевых сообщений, можно выбрать ресурс каждой из ЦЛ таким образом, чтобы он обеспечивал нормированный уровень их потерь.

Указанная возможность позволяет предложить схему оценки показателей качества обслуживания пакетов данных, основанную на рассмотрении

Из фондов Российской национальной библиотеки

вспомогательной модели сети. Она имеет ту же структуру, что и исходная модель сети, только в ней будут отсутствовать потоки речевых сообщений. Предполагается, что соответствующие потоки представляют собой потоки пакетов данных. Если в исходной модели речевое сообщение в ситуации, когда оно не находит достаточного ресурса для обслуживания, теряется, то во вспомогательной модели речевое сообщение (играющее роль пакета данных) становится на ожидание. Интенсивность поступления потока пакетов данных на j-ую ЦЛ имеет значение $\Lambda_{dj} = \gamma_{dj} + \Lambda_j$.

Реализация на основании вспомогательной модели рекурсивного алгоритма для нахождения показателей качества обслуживания пакетов данных приводит к следующим выражениям для проведения численных расчетов:

средняя величина ресурса, занятого на обслуживание пакетов данных на j-ой ЦЛ:

$$y_{dj} = \sum_{i=1}^{v_j} P(i)i + v_j \sum_{i=v_j+1}^{\infty} P(i) - M_{cj},$$

где M_{cj} - величина ресурса j-ой ЦЛ, используемая для обслуживания речевых сообщений,

среднее число пакетов данных, находящихся на ожидании на j-ой ЦЛ:

$$\omega_j = \sum_{i=v_j+1}^{\infty} P(i)(i - v_j),$$

где P(i) - вероятность того, что в стационарном состоянии в сети имеются i пакетов данных, находящихся на обслуживании и ожидании. P(i) определяется через значение Λ_{dj}.

Детальный анализ относительной погрешности расчета показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных с использованием принципа декомпозиции (в сравнении со значениями показателей, найденными с помощью имитационного моделирования) дает значения, находящиеся в интервале 5-15%. При этом затраты времени на расчет показателей на 3-4 порядка меньше, чем при имитационном моделировании. Точность оценки не зависит от характеристик сети и параметров входных потоков.

В четвертой главе рассмотрены особенности функционирования построенной модели сети для решения задач, возникающих при проектировании и эксплуатации цифровых сетей. Основные численные результаты получены с использованием модели сети, состоящей из трех узлов. Значения показателей качества совместного обслуживания получены аналитическими средствами на основе решения системы линейных уравнений статистического равновесия. Реализация решения стандартными алгебраическими методами требует перехода к модели сети, имеющей ограниченную емкость буфера. Поэтому анализируется проблема выбора емкости буфера и ее влияние на показатели качества обслуживания.

Из фондов Российской национальной библиотеки

Результаты численных расчетов подтверждают существенную зависимость показателей качества обслуживания пакетов данных от величины емкости буфера l_j. Сходимость показателей при увеличении емкости буфера определяется интенсивностью поступления пакетов данных: чем больше интенсивность, тем большая емкость буфера требуется для достижения сходимости.

Одной из задач, стоящих перед операторами телекоммуникационных сетей, является предотвращение ситуации перегрузки в сети, которая может быть вызвана увеличением входного потока сообщений или ошибками в выборе величины ресурса сети. В данной главе приведены возможные пути решения соответствующей задачи и рассмотрена оценка ресурса ЦЛ, обеспечивающего заданное качество обслуживания при известных входных потоках сообщений.

Исходя из дисциплины обслуживания потоков сообщений в исследуемой модели сети, очевидно, что для существования стационарного режима (т. е. такого режима обслуживания, при котором число пакетов данных, находящихся на ожидании, не начинает лавинообразно увеличиваться) необходимо ограничить интенсивность потока пакетов данных, поступающих на каждую из цифровых линий. Имеется достаточно причин, приводящих к нарушению стационарного режима обслуживания. К первой группе причин относятся те, которые непосредственно влияют на процесс использования ресурса j-ой ЦЛ (интенсивность потока пакетов данных, попадающих на j-ую ЦЛ в первичной попытке, а также возвращающихся на повторное обслуживание, и все потоки речевых сообщений, использующие j-ую ЦЛ при установлении соединения). Ко второй группе причин относятся те, влияние которых сказывается в опосредованной форме (потоки пакетов данных, обслуживаемые на соседних цифровых линиях и попадающие на дополнительное обслуживание на j-ую ЦЛ). Следует отметить, что, даже находясь в критическом режиме по отношению к обслуживанию пакетов данных, сеть в силу выбранной дисциплины обслуживания может предоставлять речевым сообщениям заданный уровень обслуживания.

На основании анализа модели сети, состоящей из трех узлов и двух цифровых линий, получены условия существования стационарного режима обслуживания пакетов данных для 1-ой ЦЛ и 2-ой ЦЛ соответственно:

Из фондов Российской национальной библиотеки

$$\frac{1}{\mu_{d1}}\left(\lambda_{d1}+\frac{\lambda_{d2}p(2,1)}{1-p(2,2)}\right)\left(1-p(1,1)-\frac{p(1,2)p(2,1)}{1-p(2,2)}\right)^{-1}<1-y_{c1}-y_{c3}=\gamma^{*}_{d1},$$

$$\frac{1}{\mu_{d2}}\left(\lambda_{d2}+\frac{\lambda_{d1}p(1,2)}{1-p(1,1)}\right)\left(1-p(2,2)-\frac{p(1,2)p(2,1)}{1-p(1,1)}\right)^{-1}<1-y_{c2}-y_{c3}=\gamma^{*}_{d2},$$

где γ^{*}_{d1} и γ^{*}_{d2} - границы изменения γ_{d1} и γ_{d2} для 1-ой ЦЛ и 2-й ЦЛ, при которых еще возможен стационарный режим обслуживания пакетов данных.

Из приведенных соотношений следует, что с ростом интенсивности поступления пакетов данных при фиксированных значениях интенсивности поступления речевых сообщений, а также с ростом интенсивности поступления речевых сообщений, при фиксированных значениях интенсивности поступления пакетов данных, сеть начинает попадать в критический режим, в котором число пакетов данных, находящихся на ожидании, неограниченно возрастает.

Сделанные выводы подтверждают численные расчеты для следующих значений входных параметров: $v_1 = v_2 = 1$; $\lambda_{c1} = 0{,}3$; $\lambda_{c2} = 0{,}02$; $\lambda_{c3} = 0{,}03$; $\mu_{c1} = \mu_{c2} = \mu_{c3} = 1$; $\lambda_{d1} = 0{,}5$; $\lambda_{d2} = 0{,}3$; $\mu_{d1} = \mu_{d2} = 1$; $l_1 = 50$; $l_2 = 15$; матрица вероятностей переходов пакетов данных

$$P=\begin{vmatrix}0{,}7 & 0{,}2 & 0{,}1\\ 0{,}3 & 0{,}3 & 0{,}4\end{vmatrix}.$$

Для этих значений параметров интенсивность γ_{d1}=0,8667. В то же время рассчитанная верхняя граница изменения интенсивности потока пакетов данных, поступающих на 1-ую ЦЛ, равна γ^{*}_{d1}=0,7522. Таким образом, сеть находится в состоянии перегрузки из-за превышения максимально допустимого значения интенсивности потока пакетов данных, поступающих на 1-ую ЦЛ (ω_1=42,3135; T_1=56,0871).

Операторы телекоммуникационных сетей придают большое значение анализу возможных путей устранения проблем, обусловленных попаданием сети в условия перегрузки. Результаты проведенных в данной главе исследований указывают на ряд возможностей, реализация которых позволяет уменьшить влияние перегрузки на функционирование сети: уменьшение емкости буфера, уменьшение интенсивности потоков речевых сообщений или потоков пакетов данных.

Первая возможность не представляет практической ценности, т. к. при малых размерах буфера значительное число пакетов данных, не попадая в буфер ограниченной емкости, будет теряться в отношении обслуживания.

Вторая из перечисленных возможностей решает поставленную задачу, т.е. приводит к уменьшению времени обслуживания и ожидания пакетов

Электронный архив Российской национальной библиотеки

данных в сети. Однако это достигается за счет уменьшения потока обслуженных сообщений, что приводит к ухудшению характеристик функционирования сети.

Другие возможности для выхода сети из состояния перегрузки реализуются с помощью увеличения ресурса цифровых линий или изменения интенсивности поступления первичного потока пакетов данных В данной главе анализируются указанные возможности на основании разработанных методов и алгоритмов. Задача формулируется следующим образом: для исходной модели сети, требуется (1) найти ресурсы цифровых линий сети, при которых речевые сообщения будут обслужены с заданным уровнем потерь, (2) определить значения интенсивностей поступления пакетов данных, при которых время их задержки (обслуживания и ожидания) не превосходит заданной величины.

Решение первой части задачи основывается на алгоритме просеянной нагрузки, сводящемся к многократному использованию формулы Эрланга. На базе этого алгоритма находится приближенное значение L_j - величины потерь всех речевых сообщений, обслуживаемых на j-ой ЦЛ. Значение L_j используется для корректировки ресурса j-ой ЦЛ.

Решение второй части задачи осуществляется с использованием приближенной оценки показателей качества обслуживания пакетов данных в рамках вспомогательной модели сети с ожиданием, для которой разработан рекурсивный алгоритм. Выполняется сравнение рассчитанных значений времен задержки пакетов данных с заданной величиной, и, если эти значения больше (меньше) заданной величины, то осуществляется уменьшение (увеличение) интенсивности потока пакетов данных, поступающих на соответствующую цифровую линию.

Численные расчеты для решения первой и второй частей поставленной задачи проведены для следующих значений параметров: F=4, J=4, $\lambda_{c1}=4$, $\lambda_{c2}=5$, $\lambda_{c3}=5$, $\lambda_{c4}=7$, $\mu_{c1}=\mu_{c2}=\mu_{c3}=\mu_{c4}=\mu_{d1}=\mu_{d2}=\mu_{d3}=\mu_{d4}=1$, $l_1=30$, $l_2=30$, $l_3=30$, $l_4=40$, компоненты матриц D и P принимают значения:

$$D=\begin{vmatrix}1 & 0 & 1 & 0\\ 1 & 0 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 1 & 1\\ 0 & 1 & 1 & 0\end{vmatrix}, \qquad P=\begin{vmatrix}0{,}5 & 0{,}5 & 0 & 0 & 0\\ 0{,}4 & 0 & 0{,}6 & 0 & 0\\ 0{,}5 & 0 & 0 & 0{,}5 & 0\\ 0{,}4 & 0 & 0 & 0 & 0{,}6\end{vmatrix}.$$

При решении первой части задачи интенсивности поступления первичных потоков пакетов данных имеют значения $\lambda_{d1}=1{,}5$, $\lambda_{d2}=5$, $\lambda_{d3}=4$, $\lambda_{d4}=4{,}5$ и рассматриваются 32 варианта ресурсов цифровых линий сети в диапазонах: $v_1=10\div17$, $v_2=15\div25$, $v_3=15\div26$, $v_4=15\div18$.

При решении второй части задачи ресурсы цифровых линий сети имеют значения $v_1=10$, $v_2=15$, $v_3=15$, $v_4=15$ и рассматриваются 9 вариантов интен-

Из фондов Российской национальной библиотеки

сивностей поступления первичных потоков пакетов данных в диапазонах λ_{d1}=1,5÷3,5, λ_{d2}=5÷3,2, λ_{d3}=4,0=const, λ_{d4}=4,5÷2,7.

На основании проведенных численных расчетов на рис. 2 и рис. 3 приведены сходимости значений потерь речевых сообщений в зависимости от ресурсов цифровых линий сети и значений времени задержки пакетов данных в зависимости от интенсивности их поступления на цифровые линии сети.

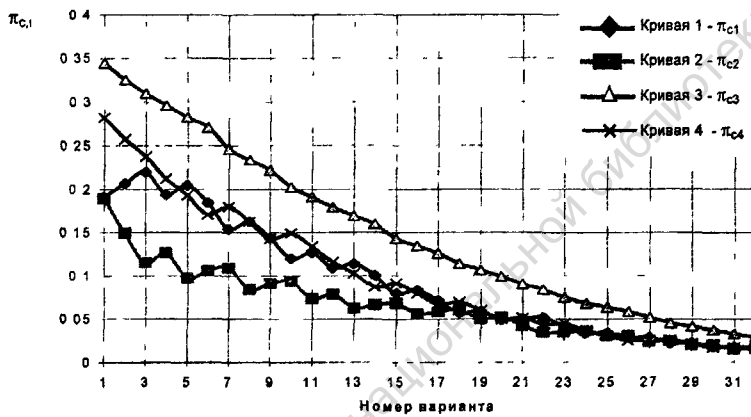

Рис.2. Сходимость значений доли потерянных речевых сообщений в решении задачи определения ресурса цифровых линий сети при нормированном уровне потерь речевых сообщений (не более 3%)

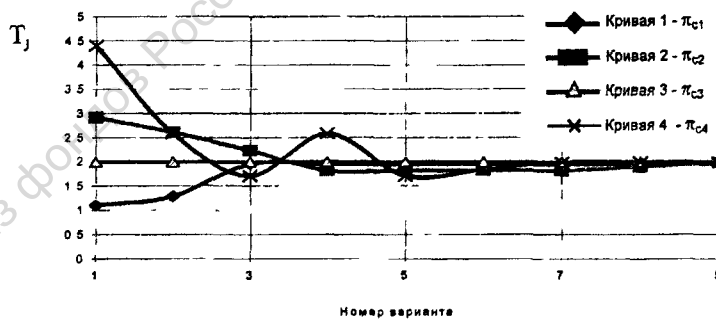

Рис 3 Сходимость значений среднего времени пребывания пакетов данных на обслуживании и ожидании при решении задачи определения допустимых значений интенсивностей поступления потоков ПД, при которых время их задержки в сети не превосходит заданной величины (не более 2-х значений времени обслуживания)

Из фондов Российской национальной библиотеки

В приложении 1 на основе разработанных в диссертации методов расчета проведена оценка требуемой величины ресурса цифровых линий магистральной сети связи линейной структуры по заданным входным потокам сообщений на примере конкретного проекта. Полученные результаты представляют интерес как для основного оператора магистральной сети, так и для потенциальных присоединенных операторов, запрашивающих у основного оператора сетевые ресурсы на условиях аренды.

Заключение

Основные результаты диссертационной работы можно сформулировать следующим образом:

1. На основании анализа работ, посвященных расчетным методам теории телетрафика при совместном обслуживании сообщений различного вида в сетях связи, показано, что в настоящее время не существует детально разработанных методов численной оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных на сетях линейной структуры. Такие методы необходимы как при проектировании, так и при управлении телекоммуникационными сетями.

2. Построена функциональная модель сети линейной структуры, в которой учтено совместное обслуживание потоков речевых сообщений и пакетов данных с возможностью буферизации пакетов данных, если они получают отказ в обслуживании в результате поступления приоритетного речевого сообщения. Для построенной модели разработаны методы точной оценки показателей качества совместного обслуживания с помощью имитационного моделирования и аналитических средств. В последнем случае рассмотрена модель сети, имеющей три узла, три потока речевых сообщений, два потока пакетов данных. Произведена проверка адекватности результатов, полученных с помощью имитационного моделирования, результатам, полученным на основе аналитических средств.

3. Разработаны алгоритмы оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных для сети линейной структуры. Реализация алгоритмов основана на принципе декомпозиции при выполнении свойства мультипликативности, что позволяет проводить точные и приближенные расчеты. Точная оценка показателей качества обслуживания речевых сообщений базируется на рекурсивном алгоритме. Приближенная оценка показателей качества обслуживания речевых сообщений базируется на алгоритме просеянной нагрузки с многократным использованием формулы Эрланга. Приближенная оценка показателей качества обслуживания пакетов данных базируется на вспомогательной модели сети, для которой разработан рекурсивный алгоритм. Реализация алгоритмов позволяют рассчитывать показатели ка-

ИА фондов Российской национальной библиотеки

чества совместного обслуживания для широкого диапазона значений структурных входных параметров с приемлемой точностью и достаточно быстро.

4. Исследованы особенности функционирования построенной модели сети линейной структуры и возможности предложенных методов оценки показателей качества обслуживания поступающих сообщений для решения задач, возникающих при проектировании и эксплуатации сетей связи. Сформулированы условия существования стационарного режима обслуживания - такого режима, при котором минимизируются потери речевых сообщений в сети и количество пакетов данных, находящихся в сети на обслуживании и ожидании, не начинает лавинообразно увеличиваться. Рассмотрены условия, при которых сеть попадает в условия перегрузки, то есть в критический режим, и исследованы возможные пути устранения проблем, обусловленных попаданием сети в условия перегрузки.

5. На основании разработанных методов, алгоритмов, численных расчетов и оценки показателей качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных на сети линейной структуры разработаны рекомендации, позволяющие оптимизировать решение задач проектирования телекоммуникационных сетей и прогнозировать эффективные способы управления их функционированием.

Список публикаций

1. Вильк Х.- В., Новодережкин К. Ю. Подход к определению качественных свойств и критериев эффективности функционирования корпоративной сети связи. –М.: Программа и тезисы докладов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», МФИ-2000, 2000. С.51-52.

2. Пшеничников А. П., Вильк Х. В., Новодережкин К. Ю. Формирование требований к перспективным корпоративным сетям связи и базовым принципам их построения. –М.: Тезисы докладов Юбилейной НТК ППС и ИТС МТУСИ. 2001. С.211-212.

3. Вильк Х.- В. Модель использования полосы передачи при совместном обслуживании речевых сообщений и данных на сетях с линейной структурой. –М.: Программа и тезисы докладов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», МФИ-2001, 2001. С.44-45.

4. Вильк Х.- В. Расчет характеристик занятия полосы передачи при совместном обслуживании речевых сообщений и данных на сетях с линейной структурой. –М.: Программа и тезисы докладов конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы», МФИ-2001, 2001. С.46-47.

Российской национальной библиотеки

5. Вильк Х.- В. Тенденции в развитии услуг современных сетей связи. – М.: Программа и тезисы докладов НТК ППС и ИТС МТУСИ. 2002. С.223-225.

6. Вильк Х.- В., Пшеничников А. П., Степанов С. Н. Построение и анализ модели совместного обслуживания речевых сообщений и данных на сетях с линейной структурой. / // Телекоммуникационные сети./ Москов. технич. университет связи и информатики. –М., 2001. - 34 с.–Рус. –Деп. В ЦНТИ «Информсвязь» № 2201.

7. Вильк Х.- В., Степанов С. Н. Алгоритмические методы оценки показателей совместной передачи нагрузки на сетях с линейной структурой и коммутацией пакетов / // Телекоммуникационные сети./ Москов. технич. университет связи и информатики. –М., 2001. - 28 с. –Рус. –Деп. В ЦНТИ «Информсвязь» № 2202.

8. Вильк Х.-В., Новодережкин К. Ю. Анализ процесса и методов оценки качества совместного обслуживания речевых сообщений и пакетов данных на сетях связи. / //Цифровые телекоммуникационные сети и обслуживание сообщений.// Москов. технич. университет связи и информатики. –М., 2002. –Рус. – Деп. В ЦНТИ "Информсвязь" № 2206, С. 2-24.

9. Вильк Х.-В., Степанов С. Н., Новодережкин К. Ю. Исследование показателей качества совместного обслуживания потоков речевых сообщений и данных на сетях с линейной структурой и коммутацией пакетов. / // Цифровые телекоммуникационные сети и обслуживание сообщений.// Москов. технич. университет связи и информатики. –М., 2002. –Рус. –Деп. В ЦНТИ "Информсвязь" № 2206, С. 25-56.

Из фондов Российской национальной библиотеки

Подписано в печать 25.06.2002г.
Печать ризографическая.
Объем 1,0 усл. п.л. Тираж 100 экз. Заказ №1248 от 26.06.2002 г.

ООО "СНЕВАР-С", г.Москва, ул. Народная, 14, стр. 1

05.12 - 05.13

РНБ Русский фонд

2004-4
20960

Из фондов Российской национальной библиотеки

Рос. национальная библиотека в С.Петербурге

21 СЕН 2002