

УДК 621.05.021

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАНАЛЬНОГО РЕСУРСА В МОДЕЛЯХ ПОДДЕРЖКИ QoS ДЛЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ СЕТЕЙ

ЗИМИН И.В.**КГТУ им. И.Раззакова****izvestiya@ktu.aknet.kg**

Исследования по эффективному использованию канального ресурса в моделях поддержки QoS рассмотренные в статье направлены на создание методик планирования мультисервисных сетей связи и определения функциональных зависимостей между объемами возникающего трафика, показателями качества обслуживания и структурными параметрами сети.

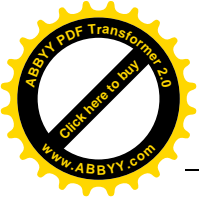
Studies on efficient use of channel resources in the models of support QoS considered in the article are aimed at development of techniques of planning multiservice communication networks and determining the functional dependencies between the volumes of the resulting traffic, indicators of the quality of the service and structural parameters of the network.

Введение. Актуальность проблемы определения, оценки и последующего использования характеристик качества обслуживания пользователей возрастает с насыщением сетей связи новыми мультимедийными услугами. Для их реализации необходимо учитывать зависимость объема выделяемого ресурса от типа сервиса.

Важность и необходимость исследования соответствующих проблем нашла своё отражение в деятельности Международного союза электросвязи (МСЭ). Сектор стандартизации в области телекоммуникаций опубликовал в 2002 г. рекомендацию МСЭ Y.1540, в которой приведён перечень наиболее значимых показателей, задающих стандарты качества передачи пакетов в мультисервисных сетях. Рассмотренные механизмы поддержки качества сгруппированы в блоки в соответствии с логическими фазами обслуживания заявки пользователя.

Область исследования.

1. Управление допуском заявок (Admission control). Соответствующий механизм контролирует процесс приёма новых заявок к обслуживанию. Возможность допуска заявки в сеть зависит от заранее принятого соглашения по сервису, а также от наличия свободного ресурса, который может быть использован для её обслуживания с заданным уровнем и без ухудшения показателей QoS уже принятых заявок. Решение о допуске заявки принимается либо на основе анализа параметров



рассматриваемого информационного потока, либо исходя из результатов измерения состояния сетевой инфраструктуры, занятой обслуживанием принятых заявок.

2. Маршрутизация, обеспечивающая показатели QoS (QoS routing).

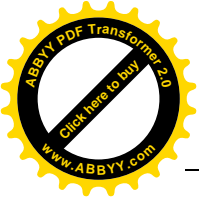
Сложность выбора маршрута следования информации пользователя существенным образом зависит от числа характеристик, участвующих в определении QoS, и от размеров сети. Необходимо отметить, что построенный маршрут может и не совпадать с кратчайшим путём. На практике, чтобы упростить решение поставленной задачи, качество обслуживания оценивают величиной одного параметра, например, объёмом канального ресурса или значением задержки, а для нахождения пути следования информации применяют заранее выбранные стратегии. При выборе маршрута используются данные о состоянии занятости канального ресурса.

3. Резервирование ресурсов (Resource reservation). Данный сетевой механизм выполняет действия по резервированию ресурсов сети, необходимых для достижения заданных показателей QoS. Его работа тесно связана с рассмотренным ранее механизмом, обеспечивающим доступ новых заявок. Конкретная реализация алгоритма резервирования зависит от того, какие показатели описывают качество обслуживания.

4. Управление очередью (буфером) ожидающих пакетов (Queue (or buffer) management). Рассматриваемый механизм определяет, какие из ожидающих пакетов будут оставлены в очереди, а какие нет. Данные действия в первую очередь направлены на минимизацию её размеров. При этом важно, с одной стороны, не допустить уменьшения коэффициента использования линии связи, а с другой, — избежать ситуаций, когда линия будет полностью загружена обслуживанием пакетов одного из потоков.

5. Предотвращение блокировок (Congestion avoidance). Блокировка на сети возникает в ситуации, когда ресурса сети не хватает для обслуживания поступающих информационных потоков. Её внешними признаками являются заполненные до предела очереди ожидающих пакетов на коммутаторах и, как следствие, увеличение доли отброшенных пакетов. Всё это приводит к повторным передачам, которые могут полностью заблокировать работу узлов коммутации и снизить обслуженный поток заявок практически до нуля. В этой ситуации простое увеличение размеров буфера не решает проблемы блокировки, поскольку увеличение времени ожидания опять приводит к повторным передачам с теми же отрицательными последствиями. Для устранения на сети «узких мест» с низкой пропускной способностью обычно применяют механизмы, направленные на уменьшение интенсивности информационного потока от источника трафика.

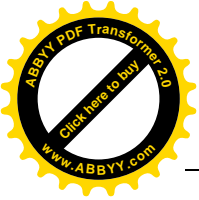
6. Организация и планирование очередей (Queuing and scheduling). Действие данного механизма направлено на выбор пакетов из буфера для передачи по исходящей линии.



7. Модель интегрированных услуг: Модель организации процесса передачи сообщений в архитектуре IntServ в упрощенном виде реализует принципы построения соединений «точка-точка» с гарантированным качеством обслуживания, используемые в технологии ATM. Основная область применения IntServ — поддержка приложений реального времени, чувствительных к задержкам. В соответствии с данной концепцией для передачи пользовательской информации должен быть организован маршрут следования трафика и обеспечено взаимодействие элементов сетевой инфраструктуры для резервирования необходимого объема канального ресурса. Только после этого начинается передача информации пользователя. Для решения этой задачи разработан протокол сигнализации RSVP (Resource reSerVation Protocol). Его основная функция — создание и поддержка маршрута следования информации. Для этого RSVP осуществляет взаимодействие с используемыми на сети протоколами маршрутизации, механизмами управления трафиком и схемами допуска заявок к обслуживанию. Поддержка соединения осуществляется получателем информации, а не промежуточными узлами. Из числа механизмов управления качеством обслуживания IP-пакетов в модели интегрированных услуг применяются: управление допуском заявок; резервирование ресурсов; организация и планирование очередей; классификация трафика; контроль доступа.

Модель дифференцированных услуг: В основе концепции DiffServ лежит принцип обработки IP-пакетов в соответствии с заданным классом обслуживания. Соответствующая информация кодируется в поле типа обслуживания TOS (Type of Service) заголовка IP-пакета. Каждый сетевой узел может поддерживать несколько десятков классов обслуживания. Структура модели DiffServ включает в себя область DiffServ и механизмы обработки и продвижения пакета по узлам, входящим в область DiffServ, в соответствии с заданным качеством обслуживания PNH (Per Hop Behavior). Область DiffServ состоит из некоторого числа узлов, поддерживающих DiffServ. В ней выделяются граничный сегмент и ядро. Граничные узлы также делятся на входящие и исходящие. Входящий граничный узел обеспечивает мониторинг поступающих информационных потоков и оценивает адекватность их параметров. В области DiffServ пакеты агрегированного потока обрабатываются по одним и тем же правилам и получают одинаковый уровень обслуживания. Выбор модели локального поведения даёт возможность узлам ядра области DiffServ реализовать назначенный класс обслуживания. Применение различных схем локального поведения регулируется правилами выбора из очереди и управлением буферным пространством. Основными достоинствами модели DiffServ являются масштабируемость и простота внедрения. Рост числа соединений не приводит к росту числа агрегированных потоков. Это очень важно при реализации пакетной сетью массовых услуг.

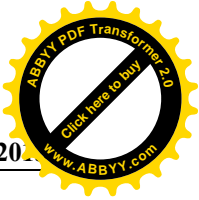
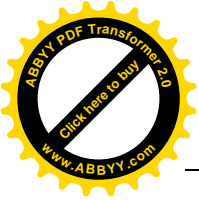
Traffic Engineering. Возможности по управлению и дифференциации информационных потоков, привели к созданию нового направления в теории телетрафика, которое звучит как traffic engineering (или сокращенно - TE). Это комплекс взаимосвязанных методов и механизмов, позволяющий оператору оптимизировать показатели пропускной способности мультисервисной сети связи. Методы traffic engineering можно использовать как с целью устранения условий для



появления блокировки в будущем, так и для вывода сети из пребывания в состоянии перегрузки в настоящий момент. При нехватке канального ресурса в отдельных сегментах сети часто наблюдается недоиспользование передаточных возможностей линий в направлениях, которые могли бы быть альтернативными для обслуживания заблокированного трафика. Решение подобных проблем также является одной из основных задач traffic engineering. Рассмотрим отдельные составляющие traffic engineering. Первый компонент это измерение характеристик информационных потоков. Для реализации соответствующей функции используются специализированные программно-аппаратные комплексы. Они собирают и ведут предварительную обработку сведений о числе пакетов, передаваемых в заданном направлении, о размерах пакетов, о величине информационного потока в период наибольшей нагрузки, о распределении трафика по направлениям, о параметрах наиболее популярных коммуникационных приложений, о скорости поступления и обработки информации и т.д. Второй компонент это выполнение действий по формализованному описанию информационных потоков. Сюда входят процедуры обработки результатов измерений и разделение их на категории, которые могут быть использованы для статистического анализа. Третий компонент — это моделирование процесса поступления и обслуживания информационных потоков. Здесь на основе данных статистических наблюдений выводятся аналитические и алгоритмические зависимости, позволяющие по значениям параметров потоков и сведениям о топологии сети находить значения характеристик качества обслуживания пользователей. Полученные результаты используются для оценки последствий принимаемых решений или прогноза изменения качества обслуживания при возможном изменении интенсивностей входных потоков. Заключительный четвертый компонент относится к принятию решений о распределении трафика. Реализация функций traffic engineering позволяет оператору проводить мероприятия, направленные на оптимизацию загрузки ресурса сети. Для их осуществления необходимо построить модели распределения канального ресурса в мультисервисных сетях.

Технические и пользовательские аспекты QoS. Конечной целью теоретических исследований, направленных на создание методик планирования мультисервисных сетей связи, является определение функциональных зависимостей между объемами возникающего трафика, показателями качества обслуживания и структурными параметрами сети, которые в конечном итоге могут быть использованы для определения стоимости решения. Главной трудностью здесь является оценка показателей QoS. Требования к условиям передачи вытекают из характера предоставляемых услуг. Соответствующий перечень классов сервисов выглядит следующим образом.

Класс 0 — потоки реального времени, отличающиеся высокой степенью интерактивности и чувствительные к вариации задержки (высококачественная пакетная телефония и видеоконференц-связь).



Класс 1 — потоки реального времени, интерактивные и чувствительные к вариации задержки (пакетная телефония, видеоконференц-связь).

Класс 2 — транзакции данных, отличающиеся высокой степенью интерактивности (сигнализация).

Класс 3 — транзакции данных, интерактивные.

Класс 4 — потоки, чувствительные к потере информации в процессе её передачи по сети (массивы данных, потоковое видео).

Класс 5 — традиционные приложения IP-сетей с характеристиками передачи по умолчанию.

Разделение коммуникационных приложений на категории в соответствии с восприятием пользователем качества получаемого сервиса приведена в таблице 1.

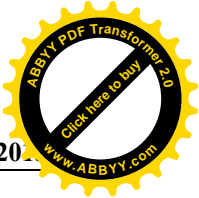
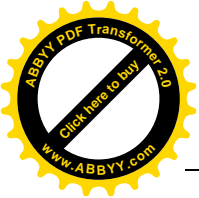
Таблица 1

Разделение коммуникационных приложений на категории в соответствии с восприятием пользователем качества получаемого сервиса

Класс трафика	Тип приложения	Потери	Задержка	Джиттер
Передача данных в режиме реального времени	Голосовая связь	Средняя	Высокая	Высокая
	Транзакции данных	Низкая	Высокая	Низкая
	Видеоконференцсвязь	Высокая	Высокая	Высокая
Интерактивная передача данных	Просмотр WEB-страниц	Высокая	Средняя	Низкая
	Скачивание документов	Высокая	Средняя	Низкая
	Скачивание видеофайлов	Высокая	Средняя	Средняя
Передача данных терпимым к задержке	Пересылка файлов	Высокая	Низкая	Низкая
	Электронная почта	Высокая	Низкая	Низкая
	Телеметрия	Высокая	Низкая	Низкая

Следующий из рассмотренных подходов решает эту же задачу с позиций восприятия пользователем качества получаемой услуги. При этом используются характеристики:

- **доля потерянных пакетов**, определяемая как доля IP-пакетов, отброшенных из-за



блокировок в процессе их передачи по сети;

- **доля отказов в установлении соединения**, определяемая как доля заявок, составляющих рассматриваемый поток, для которых механизм управления допуском отказал в резервировании канального ресурса в количестве, необходимом для обслуживания поступившей заявки;
- **скорость передачи информации пользователя**, определяемая как отношение объёма успешно переданной информации к периоду наблюдения и измеряемая в битах в секунду.

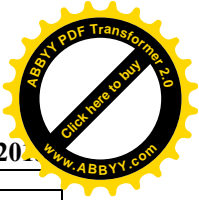
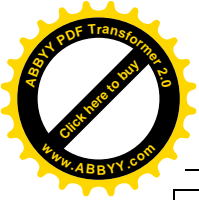
Основанием для такого выбора является интегральный характер показателей, предлагаемых для оценки QoS, а также легкость их измерения и моделирования. Соответствующие показатели: доля отказов в установлении соединения и скорость передачи информации пользователя отражают уровень блокировок на сети. Значение эффективной скорости передачи используется для оценки потребности в канальном ресурсе при передаче трафика мультисервисных коммуникационных приложений.

Этапы оценки пропускной способности мультисервисной сети связи приведены в таблице 2.

Таблица 2

Этапы оценки пропускной способности мультисервисной сети связи

<u>Перечень этапов</u>	<u>Этап 1</u> Оценка эффективности скорости передачи	<u>Этап 2</u> Расчет ресурса для сервисов реального времени	<u>Этап 3</u> Расчет ресурса для сервисов интерактивной передачи данных	<u>Этап 4</u> Расчет ресурса для сервисов передачи данных, допускающих задержку
Характеристика этапа				
Тип сервиса	Моносервисные коммуникационные приложения реального времени	Мультисервисные коммуникационные приложения реального времени	Сервисы интерактивной и потоковой передачи данных	Сервисы передачи данных, допускающих задержку
Целевой показатель QoS	Доля потерянных пакетов	Доля отказов в установлении соединения	Скорость передачи информации пользователя (время скачивания)	Скорость передачи информации пользователя (время скачивания)

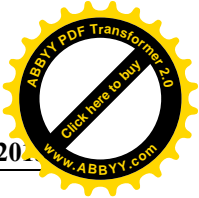
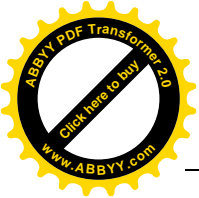


			документа)	документа)
Результат выполнения этапа	Значение эффективной скорости передачи для каждого сервиса	Потребность в ресурсе для мультисервисного трафика реального времени	Абсолютная или дополнительная потребность в ресурсе	Абсолютная или дополнительная потребность в ресурсе

Типы и объёмы возникающего трафика. На основании данных измерений и маркетинговых исследований оценивается плотность распределения потенциальных информационных потоков (возникающий трафик) от оконечного оборудования сети: телефонных аппаратов, компьютеров, датчиков телеметрии и других подобных им устройств. Определяются точки концентрации трафика. Анализируется характер информационных потоков между ними, и определяются его типы в соответствии с введённой классификацией предоставляемых услуг. Величина трафика каждого вида задаётся значениями пиковой и средней скоростей передачи информации (кбит/с), которые впоследствии используются для оценки эффективной скорости передачи. Общий объём возникающего трафика по всем типам услуг определяется потенциальным числом пользователей и прогнозируемой частотой запросов на предоставление соответствующего сервиса. Определение величины ресурса (скорости линии), достаточной для обслуживания заданного объёма трафика, происходит последовательным сравнением рассчитанного показателя QoS с его нормированным значением. После того, как требуемый объём канального ресурса линий и узлов сети найден, рассчитываются фактические показатели качества обслуживания поступающих заявок, которые достигаются на мультисервисной сети, рассматриваемой как единое целое. Для повышения точности оценок эту часть расчётов рекомендуется проводить помимо приближённых методик также и средствами имитационного моделирования.

Понятие эффективной скорости передачи информационного потока вводится для оценки потребности в канальном ресурсе при передаче импульсного трафика с использованием пакетных технологий. Оно тесно связано со свойством статистического мультиплексирования, характерного для данной технологии передачи, и позволяет рассчитать максимально возможное число соединений определённого вида при фиксированной доле потерь информационных ячеек. Тем самым создаётся возможность оценить минимально необходимую скорость линии в заданном направлении.

Показателей работы системы по интенсивностям поступающих заявок на выделение канального ресурса. Для решения разного рода оптимизационных задач необходимо знать значения производных основных показателей работы системы по интенсивностям поступающих заявок на выделение канального ресурса. Их можно найти, если известны явные выражения для



этих показателей через параметры модели. Например, для модели Эрланга производная вероятности потерь $E(v,a)$ по интенсивности поступающих заявок, a имеет вид (1):

$$E(v,a)' = E(v,a) \left(\frac{v-a(1-E(v,a))}{a} \right) \quad (1)$$

В приведённой формуле (1) величина производной выражена через значение формулы Эрланга, что упрощает её определение.

Рассмотрим проблему вычисления производных доли потерянных заявок $\pi_k, k = 1, 2, \dots, n$ для исследуемой модели мультисервисной линии.

Для нахождения соответствующих выражений воспользуемся альтернативным алгоритмом вычисления основных показателей приёма заявок к обслуживанию, основанным на использовании оператора свёртки.

Рассмотрим два вектора с компонентами $x = (x(0), x(1), \dots, x(a_x))$ и $y = (y(0), y(1), \dots, y(a_y))$. Применение оператора свёртки к векторам x, y даёт вектор z с компонентами

$$z = (z(0), z(1), \dots, z(a_z)), \text{ определяемыми из выражений}$$

$$z(0) = x(0)y(0), \quad z(1) = x(0)y(1) + x(1)y(0), \dots, \quad \text{где } a_z \leq a_x + a_y$$

Последовательность действий, которые необходимо для этого выполнить, выглядит следующим образом:

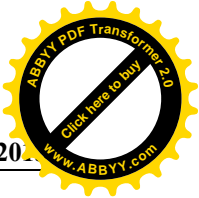
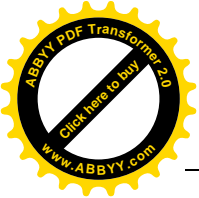
1. Обозначим через $P_k(i), i = 0, 1, \dots, v$ ненормированные значения стационарных вероятностей занятия i единиц канального ресурса линии в ситуации, когда на обслуживание предлагаются только заявки k -го потока. Взяв $P_k(0)$ за единицу и представив все $P_k(i)$ через $P_k(0)$, получаем следующие выражения для $P_k(i), i = 0, 1, \dots, v$

$$P_k(i) = \begin{cases} \frac{a_k^i}{i!}, & i = jb_k, \quad j = 0, 1, \dots, c_k \\ 0, & i \neq jb_k, \quad j = 0, 1, \dots, c_k \end{cases} \quad (2)$$

В (2) величина c_k — максимальное число заявок k -го потока, которые одновременно могут находиться на обслуживании. Значение c_k — это целая часть отношения. Вектор $(P_k(0), P_k(1), \dots, P_k(v))$ индивидуальное стационарное распределение k -го потока.

2. Обозначим через $(P_{n \setminus k}(0), P_{n \setminus k}(1), \dots, P_{n \setminus k}(v))$ вектор, полученный после свёртки n индивидуальных распределений за исключением распределения k -го потока. Для компонент $P_{n \setminus k}(i)$ значение i — число единиц ресурса линии занятых обслуживанием заявок всех потоков за исключением k -го потока, $i = 0, 1, \dots, v$.

3. Выполнив свёртку вектора $(P_{n \setminus k}(0), P_{n \setminus k}(1), \dots, P_{n \setminus k}(v))$ с вектором индивидуального распределения k -го потока $(P_k(0), P_k(1), \dots, P_k(v))$, получаем



ненормированное распределение $P(i), i = 0, 1, \dots, v$ числа единиц ресурса линии, занятых обслуживанием заявок всех потоков.

4. Результаты промежуточных преобразований, полученные в процессе свёртки всех n индивидуальных распределений, дают возможность найти расчётные соотношения для производных π_k по $a_j, k = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$. Обозначим через $N = \sum_{i=0}^v P(i)$ нормировочную константу. Тогда, в соответствии с определением, производная π_k по a_j может быть найдена из следующих выражений:

$$\frac{\partial \pi_k}{\partial a_j} = \frac{1}{N^2} \times \left[\frac{\partial (P(v) + P(v-1) + \dots + P(v-b_k+1))}{\partial a_j} \right] \times N - \left(P(v) + P(v-1) + \dots + P(v-b_k+1) \frac{\partial N}{\partial a_j} \right) \quad (3)$$

Из определения оператора свёртки получаем соотношение для

$$P(i), i = 0, 1, \dots, v. \quad P(i) = P_{n \setminus j}(i)P_j(0) + P_{n \setminus j}(i-1)P_j(1) + \dots + P_{n \setminus j}(0)P_j(i)$$

Компоненты $P_{n \setminus j}(i), i = 0, 1, \dots, v$, не зависят от a_j . Из (2) следует выражение для производной $P_j(i)$ по a_j :

$$\frac{\partial P_j(i)}{\partial a_j} = P_j(i-b_j), \quad i = b_j, b_j+1, \dots, v.$$

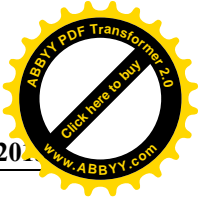
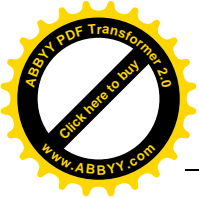
Отсюда получаем соотношение для производной ненормированного значения $P(i)$ по величине интенсивности j -го потока

$$\begin{aligned} \frac{\partial P(i)}{\partial a_j} &= P_{n \setminus j a_j}(i-b)P_j(0) + P_{n \setminus j a_j}(i-b_j-1)P_j(1) + \dots + P_{n \setminus j a_j}(0)P_j(i-b_j) = \\ &= P(i-b_j) \end{aligned} \quad (4)$$

Используя (3) и (4), получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_k}{\partial a_j} &= p(v-b_j) + p(v-b_j-1) + \dots + p(v-b_j-b_k+1) - \\ &\quad - (p(v-b_j) + p(v-b_j-1) + \dots + p(0)) \times \\ &\quad \times (p(v) + p(v-1) + \dots + p(v-b_k+1)) = \\ &= p(v-b_j) + p(v-b_j-1) + \dots + p(v-b_j-b_k+1) - (1-\pi_j)\pi_k \end{aligned} \quad (5)$$

Найденное соотношение даёт возможность выразить значения производных доли потерянных заявок каждого потока по всем интенсивностям поступающих заявок через значения



вероятностей занятости канального ресурса $p(i)$, $i = 0, 1, \dots, v$. Рассмотрим несколько примеров использования полученных результатов.

Предположим, что качество работы мультисервисной линии связи оценивается функционалом $f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$, где π_k , $k = 1, 2, \dots, n$ — доля отказов в обслуживании для заявок k -го потока, зависящая в свою очередь от интенсивностей поступления заявок всех потоков a_1, a_2, \dots, a_n . Таким образом, можно записать $\pi_k = \pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n)$. Приведём конкретные примеры функционала $f(\cdot)$.

1. Доля отказов в выделении канального ресурса для заявок k -го потока

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = \pi_k. \tag{6}$$

2. Среднее число единиц канального ресурса линии, занятых обслуживанием заявок k -го потока

$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = a_k b_k (1 - \pi_k). \tag{7}$$

3. Средний доход, полученный от обслуживания мультисервисного трафика

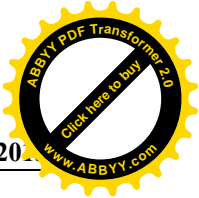
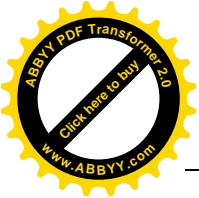
$$f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = \sum_{k=1}^n r_k a_k b_k (1 - \pi_k). \tag{8}$$

Здесь r_k — коэффициент, отражающий в условных единицах доход от занятия одной канальной единицы линии на обслуживание заявок k -го потока.

Рассмотрим задачи, возникающие при эксплуатации и проектировании мультисервисных систем связи, которые могут быть решены с использованием производных. Довольно часто возникает необходимость в оценке флуктуации значения рассчитываемого функционала $f(\cdot)$ от небольших изменений входных параметров модели. Для простоты определим $f(\cdot)$ из соотношения (6).

Как правило, при определении необходимого объёма канального ресурса используются значения интенсивностей предложенного трафика (a_1, a_2, \dots, a_n) зависящей от используемой статистической процедуры оценивания. Таким образом, вместо значений (a_1, a_2, \dots, a_n) используются величины $(a_1 \pm \Delta a_1, a_2 \pm \Delta a_2, \dots, a_n \pm \Delta a_n)$. В этой ситуации возникает задача оценки ошибки определения канального ресурса, вызванной ошибками измерения входных параметров модели. Будем считать, что вносимые изменения носят случайный характер и сформулируем допущения об их характере.

Предположим, что значения (a_1, a_2, \dots, a_n) известны с независимыми ошибками: $a_j = a_j^0 + \xi_j, j = 1, 2, \dots, n$. Будем также считать, что случайные величины $\xi_j, j = 1, 2, \dots, n$ имеют нормальное распределение со средним равным нулю и среднеквадратическим отклонением.



Если $\pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n)$ является дифференцируемой функцией своих параметров, то, используя формулу Тейлора, можно записать:

$$\pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n) = \pi_k(a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, \dots, a_n^{(0)}) + \sum_{j=1}^n D_{kj} \xi_j + o\left(\sqrt{\sum_{j=1}^n \xi_j^2}\right) \tag{9}$$

где D_{kj} - значения частных производных $\pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n)$ в точке $(a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, \dots, a_n^{(0)})$

$$D_{kj} = \frac{\partial \pi_k(a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, \dots, a_n^{(0)})}{\partial a_j}$$

(10)

а свойства функции $o(x)$ определяются пределом $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{o(x)}{x} = o(1) = 0$

Предположим, что величины τ_j малы.

Тогда при $\tau_j \rightarrow 0$ величина $\pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n)$, определяемая выражением (9), будет иметь нормальное распределение со средним значением $\pi_k^{(0)} = \pi_k(a_1^{(0)}, a_2^{(0)}, \dots, a_n^{(0)})$ и дисперсией $D_k = \sum_{j=1}^n D_{kj}^2 \tau_j^2$.

Зная дисперсию τ_j и уровнем доверия α_p , можно рассчитать доверительный интервал для значений a_k .

Вывод.

Таким образом, если для показателей качества обслуживания заявок k -го потока известны частные производные по интенсивностям поступающих потоков заявок, то при наличии случайных ошибок измерения интенсивностей можно построить доверительный интервал для рассматриваемой характеристики, являющейся функцией уровня доверия и дисперсии ошибок измерения каждой из этих интенсивностей.

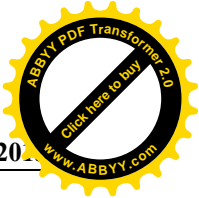
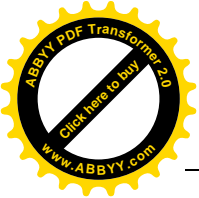
Для реализации соответствующей возможности необходимо найти значения частных производных $D_{k,j}$ $k = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n$.

Для исследуемой модели значения $D_{k,j}$ определяются с использованием соотношений (5), (10).

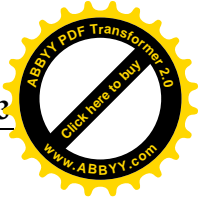
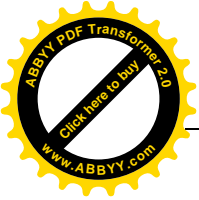
Если, изменение значений входных параметров носит детерминированный характер, то в соответствии с известными результатами математического анализа значение дифференцируемой функции $\pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n)$ в некоторой окрестности

$a_1 + \Delta a_1, a_2 + \Delta a_2, \dots, a_n + \Delta a_n$ определяется из выражения:

$$\begin{aligned} \pi_k &= \pi_k(a_1 + \Delta a_1, a_2 + \Delta a_2, \dots, a_n + \Delta a_n) = \\ &= \pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n) + \frac{\partial \pi_k}{\partial a_1} \Delta a_1 + \frac{\partial \pi_k}{\partial a_2} \Delta a_2 + \dots + \frac{\partial \pi_k}{\partial a_n} \Delta a_n \end{aligned} \tag{11}$$



Таким образом, если известны величины блокировки $\pi_k(a_1, a_2, \dots, a_n)$ для значений интенсивностей предложенного трафика a_1, a_2, \dots, a_n , тогда линейная функция (11) может быть использована для приближённого вычисления блокировки в некоторой окрестности значений a_1, a_2, \dots, a_n , определяемой выражением $a_1 + \Delta a_1, a_2 + \Delta a_2, \dots, a_n + \Delta a_n$.



Литература

1. Зимин И.В. Учебник: «Управление трафиком в сетях и системах телекоммуникаций». Издательство «Алтын Принт», Бишкек 2012.;
2. Зимин И.В., Алымкулов С. А. Исследование модели оценки канального ресурса для сервисов реального времени // Теоретический и прикладной научно-технический журнал, Бишкек, 2013.
3. Зимин И.В. Планирование пропускной способности трафика сети с точки зрения показателей QoS // Теоретический и прикладной научно-технический журнал, Журнал Известия Кыргызского государственного технического университета № 26, Кыргызстан Бишкек, 2012. С. 128-137.
4. Зимин И.В., Баянкина Е.В. Практическое применение задач управления сетевыми ресурсами в телекоммуникационных сетях // Журнал Проблемы автоматизации и управления №2, Институт автоматизации Национальной Академии наук КР, материалы международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий», Кыргызстан Бишкек, 2010. С. 31-35.
5. Зимин И.В. Методы теории массового обслуживания в задачах моделирования перспективных телекоммуникационных систем // ГОУ «Восточно-Сибирский государственный технологический университет» Материалы конференции часть 1 десятой Всероссийской научно-технической конференции «Теоретические и прикладные вопросы современных информационных технологий», Российская Федерация город Улан-Удэ, июль 2009. С. 66-72.
6. Степанов С.Н.; Иверсин В.Б. Способы уменьшения объема вычислений при расчете моделей систем связей с потерями, основанные на игнорировании маловероятных состояний // Проблемы передачи информации. 2001. Том. 37. Выпуск. 3.;
7. Степанов С.Н. Материалы курса лекций «Основы теории моделирования сетей и систем телекоммуникаций». – М.: Московский технический университет связи и информатики. 2008.;
8. Степанов С.Н. Основы телетрафика мультисервисных сетей. Издание М., ЭКОТRENДЗ, 2010.;
9. Iversen V.B. Teletraffic Engineering Handbook. – ITU-D, Nov 2002;
10. Iversen V.B., Stepanov S.N. The Unified Approach for Teletraffic Models to Convert Recursions dor Globsl State Probabilities into Stable Form // Proc. 19th International Teletraffic Congress. Beijing. Chins, August 29 – September 2. 2005.;
11. Iversen V.B., Stepanov S.N. The optimsl dimensioning of multi-service links // Proc. COST-285 Mid-term Symposium. Munchen, September 8-10, 2005. Chapter 7 (pp. 151-178) in A. Nejat Ince & Ercan Topuz (editors): Modeling and simulation tools for emerging telecommunication networks. Springer, 2006.