

Л. А. МУРАВЬЕВА-ВИТКОВСКАЯ

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЯХ ЗА СЧЕТ ПРИОРИТЕТНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассматриваются модели и методы оценки характеристик функционирования мультисервисных компьютерных сетей. Показана возможность обеспечения качества обслуживания за счет применения приоритетного управления неоднородным трафиком.

*Ключевые слова:* мультисервисные компьютерные сети, приоритетное управление, качество обслуживания, неоднородный трафик, модель функционирования.

**Введение.** Мультисервисные компьютерные сети (КС) — специфические системы, предоставляющие услуги как компьютерных, так и телекоммуникационных сетей. Специфичность мультисервисных КС обусловлена следующими факторами: многообразием сетевых технологий и архитектур; разнообразием требований к качеству передачи данных различного типа (например, для текстовых файлов наиболее важным показателем является надежность доставки, т.е. отсутствие потерь и искажений данных в файлах, а для аудио- и видеоданных — вариация (джиттер) задержки пакетов данных относительно требуемого момента поступления); неоднородностью трафика, для управления которым могут использоваться различные механизмы (методы доступа в LAN, алгоритмы маршрутизации, способы установления соединений и т.п.) [1—7], позволяющие предотвращать перегрузки и блокировки и обеспечивающие требуемое качество обслуживания (QoS) данных каждого типа. В рекомендациях МСЭ-Т Y.1541 [1] определены 5 классов QoS и сформулированы требования к характеристикам обслуживания пакетов каждого класса, выполнение которых гарантирует качественную передачу трафика. В качестве основных характеристик рассматриваются среднее время задержки пакета, вариация задержки и вероятность потери пакетов.

**Системный подход к исследованию мультисервисных КС.** Современные мультисервисные КС характеризуются разнообразием предоставляемых услуг, увеличением числа пользователей и объема передаваемых данных; повышением уровня требований к качеству обслуживания пользователей. Выполнение требований, предъявляемых к мультисервисным КС, возможно за счет структурно-функциональной организации сети, включая выбор конкретной технологии передачи и обработки данных, определение рациональной топологии коммуникационной сети, выбор сетевого оборудования, механизмов управления трафиком и т.д. Одним из предпочтительных способов распределения сетевых ресурсов является распределение в соответствии с существующими на данный момент приоритетами.

В качестве основных показателей эффективности мультисервисных КС используются производительность, оперативность и надежность. Для оценки эффективности мультисервисных КС могут использоваться модели массового обслуживания, отображающие временные задержки при обработке и передаче данных.

В основе исследований мультисервисных КС, как и других сложных технических систем, лежит системный подход [5], в рамках которого выполняется системотехническое проектирование, направленное на построение системы с заданным качеством. Для системотехнического проектирования необходимо располагать знаниями о том, как влияют различные способы структурной и функциональной организации на характеристики функционирования мультисервисных КС.

Отметим две характерные особенности системного подхода. Первая состоит в том, что все элементы и составляющие процесса проектирования рассматриваются в их взаимосвязи, взаимообусловленности, взаимозависимости и взаимном влиянии для оптимального достижения целей создания мультисервисной КС.

Вторая особенность системного подхода состоит в том, что он, являясь методологической основой, предполагает обязательную предпосылку о необходимости анализа процессов проектирования в их взаимосвязи на базе широкого применения современных количественных методов исследования, что позволяет при проектировании вырабатывать и принимать решения в условиях неопределенности и неполноты информации.

**Модели и методы исследования мультисервисных КС.** Одной из важных задач системотехнического проектирования мультисервисных КС является разработка методов исследования характеристик КС применительно к процессам приоритетного управления неоднородным трафиком на этапах разработки и эксплуатации.

Указанная цель достигается решением следующих задач исследования.

1. Анализ принципов организации мультисервисных КС различных классов с учетом существенной неоднородности трафика, наличия приоритетов, многообразия механизмов управления трафиком и способов распределения функций между устройствами системы, наличия непроизводительных затрат на обеспечение качества обслуживания (QoS), многообразия структурных способов построения систем.

2. Разработка на основе принципа иерархического многоуровневого моделирования структурно-функциональных моделей мультисервисных КС с приоритетным управлением неоднородным трафиком.

3. Разработка моделей и методов исследования процессов управления неоднородным трафиком в статическом и динамическом режимах с учетом сбоев в работе устройств мультисервисных КС.

Методы исследования базируются на аппарате теории вероятностей, теории массового обслуживания, теории случайных процессов, методах численного анализа и имитационного моделирования.

При исследовании способов управления неоднородным трафиком в мультисервисных КС одной из важных задач является определение законов распределения времени доставки пакетов и времени ожидания освобождения канала связи и их числовых характеристик (первых и вторых начальных моментов, коэффициентов вариации и т.п.) при заданном механизме управления трафиком.

Для решения указанной задачи воспользуемся базовой моделью массового обслуживания с неограниченной очередью, в которую с интенсивностью  $\lambda_1, \dots, \lambda_H$  поступают  $H$  потоков пакетов, интервалы между которыми распределены по экспоненциальному закону. Длительность обслуживания  $\tau_{b_h}$  пакетов класса  $h$  ( $h = 1, \dots, H$ ) распределена по произвольному закону с плотностью распределения  $b_h(\tau)$  и средним значением  $b_h^{-1}$ . Выбор пакета из очереди на обслуживание осуществляется в соответствии со смешанными приоритетами, которые задаются в виде матрицы приоритетов.

Для описанной модели методом введения дополнительного события получены соответствующие начальные моменты времени пребывания пакета класса  $h$  в модели, в частности, два первых начальных момента:

$$u_h^{(1)} = \frac{\sum_{i=1}^H r_6(i, h) \lambda_i b_i^{(2)}}{2(1 - R_h^{(4)})(1 - R_h^{(5)})} + \frac{b_h^{(1)}}{1 - R_h^{(3)}};$$

$$u_h^{(2)} = \frac{\sum_{i=1}^H r_6(i, h) \lambda_i b_i^{(3)}}{3(1 - R_h^{(4)})^2 (1 - R_h^{(5)})} + \frac{b_h^{(2)}}{(1 - R_h^{(3)})^2} + \frac{\sum_{i=1}^H r_5(i, h) \lambda_i b_i^{(2)} \sum_{i=1}^H r_6(i, h) \lambda_i b_i^{(2)}}{2(1 - R_h^{(4)})^2 (1 - R_h^{(5)})^2} +$$

$$+ \frac{\sum_{i=1}^H r_4(i, h) \lambda_i b_i^{(2)} \sum_{i=1}^H r_6(i, h) \lambda_i b_i^{(2)}}{2(1 - R_h^{(4)})^3 (1 - R_h^{(5)})} + \frac{b_h^{(1)} \sum_{i=1}^H r_6(i, h) \lambda_i b_i^{(2)}}{(1 - R_h^{(3)})(1 - R_h^{(4)})(1 - R_h^{(5)})} + \frac{b_h^{(1)} \sum_{i=1}^H r_3(i, h) \lambda_i b_i^{(2)}}{(1 - R_h^{(3)})^3},$$

где  $r_g(i, h)$ ,  $g = 1, \dots, 6$  — коэффициенты приоритетности, принимающие значения 0 или 1 в зависимости от значений элементов  $q_{ih}$  и  $q_{hi}$  матрицы приоритетов ( $q_{ih} = 0$ , если класс  $i$  не имеет приоритета к классу  $h$ ;  $q_{ih} = 1$ , если класс  $i$  имеет относительный приоритет к классу  $h$ ;  $q_{ih} = 2$ , если класс  $i$  имеет абсолютный приоритет к классу  $h$ ) и позволяющие выделить классы пакетов  $i$  и  $h$ , имеющих между собой определенный вид приоритета:  $r_1(i, h) = 0,5(1 - q_{ih} - q_{hi})(2 - q_{ih} - q_{hi})$ ;  $r_2(i, h) = q_{ih}(2 - q_{ih})$ ;  $r_3(i, h) = 0,5 q_{ih}(q_{ih} - 1)$ ;  $r_4(i, h) = r_2(i, h) + r_3(i, h)$ ;  $r_5(i, h) = r_1(i, h) + r_4(i, h)$ ;  $r_6(i, h) = r_2(h, i) + r_5(i, h)$ ;

$$\Lambda_h^{(g)} = \sum_{i=1}^h r_g(i, h) \lambda_i; R_h^{(g)} = \sum_{i=1}^h r_g(i, h) \lambda_i b_i^{(1)}; b_i^{(l)} = \int_0^{\infty} \tau^l b_i(\tau) d\tau \quad (l = 1, 2, \dots).$$

На основании приведенных формул можно определить характеристики функционирования мультисервисной КС как единой системы, так и ее основных элементов или подсистем.

Предложена локальная модель маршрутизатора, позволяющая определить время задержки пакетов разных классов в маршрутизаторе с приоритетным управлением, основанном на дисциплине обслуживания со смешанными приоритетами (ДО СП), динамически изменяющимися по нелинейной функции. Модель позволяет учитывать ненадежность работы канала связи.

Получено выражение для первого начального момента времени ожидания пакета класса  $h$  в модели:

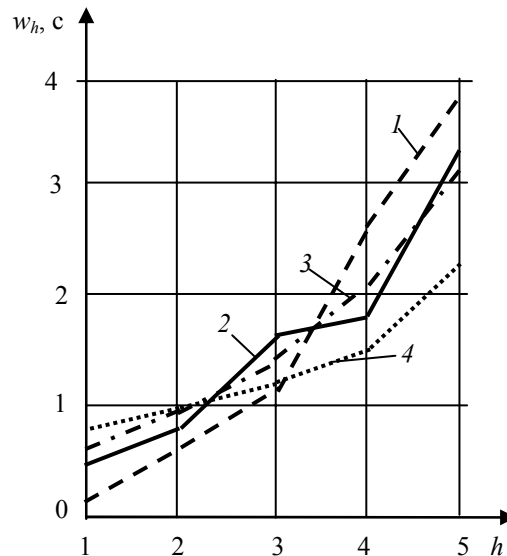
$$w_h = [1 - \lambda_0 b_0 - \sum_{i=1}^H r_4(i, h) \rho_i (1 - \gamma_{hi})]^{-1} \{ (1 - R)^{-1} \sum_{i=1}^H \rho_i b_i + [\lambda_0 b_0 +$$

$$+ \sum_{i=1}^H r_3(i, h) \rho_i (1 - \gamma_{hi})] b_h - \sum_{i=1}^H r_4(h, i) \rho_i w_i (1 - \gamma_{ih}) - \sum_{i=1}^H r_3(h, i) \rho_i b_i (1 - \gamma_{ih}) \},$$

где  $\rho_i = \lambda_i b_i$  — коэффициент загрузки, создаваемой пакетами класса  $i$ ;  $R = \sum_{i=1}^H \rho_i$  — суммарный коэффициент загрузки системы, причем  $R < 1$ ;  $\gamma_{ih} = \beta_i / \beta_h$  — отношение коэффициентов пропорциональности;  $\lambda_0$  — интенсивность, с которой моменты выхода канала связи из строя образуют пуассоновский поток;  $b_0$  — среднее значение времени восстановления канала связи, распределенного по экспоненциальному закону.

На рисунке приведена зависимость среднего времени ожидания пакетом освобождения канала связи от статических и динамических смешанных приоритетов (дисциплины обслуживания: 1 — с абсолютными, 2 — с относительными, 3 — со статическими смешанными, 4 — с динамическими смешанными приоритетами).

Анализ полученных результатов показывает, что введение динамических приоритетов позволяет уменьшить разброс между средними значениями времени задержки пакетов разных классов по сравнению со статическими.



Преимущество дисциплины обслуживания с динамическими приоритетами заключается в том, что при переходе от одной ДО СП к другой может быть обеспечено плавное (непрерывное) изменение характеристик пакетов разных классов путем соответствующего выбора значений коэффициентов пропорциональности  $\beta_h$ , в то время как в дисциплинах обслуживания со статическими приоритетами это изменение происходит скачкообразно.

**Заключение.** Предложенные аналитические методы расчета базовых и локальных моделей могут служить основой для построения более сложных глобальных моделей мультисервисных КС. С помощью глобальных моделей могут решаться задачи определения структурных и функциональных параметров мультисервисных КС, обеспечивающих заданное качество обслуживания данных разных типов. Аналитические методы расчета позволяют лишь оценить значения параметров, при этом результаты могут иметь значительную погрешность. Для повышения достоверности результатов следует применять комбинированный метод моделирования, основанный на сочетании аналитических и имитационных методов [2, 6, 7].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ITU-T Recommendation Y.1541. Network Performance Objectives for IP-Based Services. Int'l Telecommunication Union, 2006. 50 p.
2. Муравьева-Витковская Л. А. Оценка характеристик приоритетной модели звена передачи данных мультисервисной компьютерной сети // Сб. докл. „Имитационное моделирование. Теория и практика. ИММОД—2011“. СПб: ОАО „Центр технологии судостроения и судоремонта“, 2011. Т. I. С. 207—213.
3. Алиев Т. И. Характеристики дисциплин обслуживания заявок с несколькими классами приоритетов // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1987. № 6. С. 188—191.
4. Алиев Т. И., Муравьева Л. А. Система с динамически изменяющимися смешанными приоритетами и ненадежным прибором // Автоматика и телемеханика. 1988. № 7. С. 99—106.
5. Алиев Т. И. Стохастические модели информационно-вычислительных систем // Сб. науч. статей. „Современные технологии“. СПб: СПбГУ ИТМО, 2003. С. 6—17.

6. *Муравьева-Витковская Л. А.* Определение структурно-функциональных параметров коммутатора телекоммуникационной сети при приоритетной обработке кадров // Там же. С. 27—33.
7. *Алиев Т. И., Никульский И. Е., Пяттаев В. О.* Моделирование ядра мультисервисной сети с относительной приоритезацией неоднородного трафика // Науч.-техн. вестн. СПбГУ ИТМО. 2009. Вып. 4(62). С. 88—96.

***Сведения об авторе***

***Людмила Александровна Муравьева-Витковская*** — канд. техн. наук, доцент, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, кафедра вычислительной техники; E-mail: mur-lada@yandex.ru

Рекомендована кафедрой  
вычислительной техники

Поступила в редакцию  
08.02.12 г.