

УДК 004.724.4

С.А. Дрягин

МОДЕЛЬ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГАРАНТИРОВАННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СЕТЕЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Дрягин Сергей Александрович, аспирант Ульяновского государственного университета, окончил самолетостроительный факультет Ульяновского государственного технического университета, инженер-программист 3 категории ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет статьи в области информационных технологий. [e-mail: s_drg@mail.ru].

Аннотация

В статье рассматривается метод эффективного распределения сетевой нагрузки, учитывающий типы передаваемого трафика и требования к пропускной способности. Предложена модель адаптивного резервирования, основанная на прогнозировании интенсивности трафика.

Ключевые слова: модель обслуживания, сетевой трафик, качество обслуживания.

Sergei Aleksandrovich Driagin, Post-graduate student at Ulyanovsk State University, graduated from the Faculty of Aircraft Engineering at Ulyanovsk State Technical University, a software engineer at Federal Research-and-Production Center "Open Joint-Stock Company Research-and-Production Association "Mars", an author of articles in the field of information technologies. e-mail: s_drg@mail.ru.

Abstract

The article deals with a method of an effective distribution of a bandwidth, taking into account the types of data traffic and bandwidth requirements. A model of adaptive reservation, based on the forecasting of traffic density is proposed.

Key words: traffic management mechanism, network traffic, Quality of Service (QoS).

ВВЕДЕНИЕ

Эффективная и надежная работа современных сетей во многом зависит от оптимального соотношения типов передаваемых данных и их объемов с возможностями оборудования. Важную роль также играют топологии и реализации сетей, в которых эти данные передаются. [1–3].

В статье исследуется особенность, при которой возможности вычислительных сетей не всегда соответствуют заданным требованиям в полном объеме. Пропускная способность каналов и каналообразующего оборудования, задержки и потери пакетов – динамически меняющиеся характеристики сетей, имеющие высокую значимость для того или иного вида трафика. Высокая загруженность современных сетей обуславливает необходимость расширения известных подходов в управлении сетевыми ресурсами.

С ростом трафика и увеличением приложений реального времени требования к качеству обслуживания существенно возросли. Рост нагрузки на сеть приводит к перегрузкам и очередям. Поэтому возникает необходимость совершенствования методов управления трафиком.

Задача применения качества обслуживания

Качество обслуживания – это способность обеспечить требуемый сервис для различных классов трафика средствами сетевого и каналообразующего оборудования.

Основной целью качества обслуживания является обеспечение приоритизации, контроль времени и вариация задержки для определенного класса трафика.

В [4–5] выделены следующие сетевые характеристики, как наиболее важные по степени их влияния на качество обслуживания:

- пропускная способность;
- надежность сети и сетевых элементов;
- задержка;
- джиттер;
- потери и ошибки пакетов;
- живучесть сети – возможность сохранения работоспособности сети при выходе из строя отдельных элементов.

Пропускная способность сети (или скорость передачи данных) определяется как эффективная скорость передачи, измеряемая в битах в секунду.

Надежность сети и сетевых элементов может определяться рядом параметров, таких как коэффициент готовности, представляющий собой отношение времени работоспособности объекта к времени наблюдения.

Задержка доставки пакета IPTD (IP packet transfer delay) определяется как время $t_2 - t_1$ между двумя событиями – вводом пакета во входную точку сети в момент t_1 и выводом пакета из выходной точки сети в момент t_2 , где $t_2 > t_1$ и $t_2 - t_1 \leq T_{max}$.

Таблица 1

Чувствительность различных приложений к сетевым характеристикам

Тип трафика	Уровень чувствительности к сетевым характеристикам			
	Полоса пропускания	Потери	Задержка	Джиттер
Голос	Очень низкий	Высокий	Высокий	Высокий
Электронная коммерция	Низкий	Высокий	Высокий	Низкий
Транзакции	Низкий	Высокий	Высокий	Низкий
Электронная почта	Низкий	Высокий	Низкий	Низкий
Telnet	Низкий	Высокий	Средний	Низкий
Поиск в сети	Низкий	Средний	Средний	Низкий
Активный поиск в сети	Средний	Высокий	Высокий	Низкий
Пересылка файлов	Высокий	Средний	Низкий	Низкий
Видеоконференция	Высокий	Средний	Высокий	Высокий
Мультикастинг	Высокий	Высокий	Высокий	Высокий

Средняя задержка доставки пакета определяется средней задержкой пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов.

Джиттер – вариация задержки IPDV (IP packet delay variation) между входной и выходной точками сети является отклонением значений задержки от заданной величины. Вариация задержки проявляется в том, что регулярно передаваемые пакеты прибывают к получателю с непостоянной задержкой. В системах IP-телефонии и видеоконференцсвязи это ведет к искажениям звука и ухудшению качества изображения. В результате речь становится неразборчивой, а изображение – нечетким или пропадает вовсе.

Коэффициент потерь пакетов IPLR (IP packet loss ratio) – отношение суммарного числа потерянных пакетов к общему числу переданных пакетов в выбранном наборе переданных и принятых пакетов.

Коэффициент ошибок пакетов (IP packet error ratio, IPER). Коэффициент IPER определяется как суммарное число пакетов, принятых с ошибками, к сумме успешно принятых и пакетов, принятых с ошибками.

В таблице 1 представлены обобщенные показатели уровня чувствительности соответствующих типов сетевого трафика.

Так же в [4] установлено соответствие между классами качества обслуживания и приложениями:

- Класс 0 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (VoIP, видеоконференция);
- Класс 1 – приложения реального времени, чувствительные к джиттеру, интерактивные (VoIP, видеоконференция);
- Класс 2 – транзакции данных, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (например, сигнализация);
- Класс 3 – транзакции данных, интерактивные;
- Класс 4 – приложения, допускающие низкий уровень потерь (короткие транзакции, массивы данных, потоковое видео);
- Класс 5 – традиционные применения сетей IP.

В таблице 2 представлены значения соответствующих норм по классам QoS.

Для обеспечения необходимого уровня в [6–7] представлена архитектура IntServ (Integrated Services), включающая ряд механизмов, которые обеспечивают требуемый уровень качества обслуживания при передаче пакетов.

В [8–9] рассмотрена масштабируемая архитектура Differentiated Services, реализующая дифференцированное обслуживание нескольких агрегированных информационных потоков.

Таблица 2

Нормы для характеристик сетей IP с распределением по классам качества обслуживания

Сетевые характеристики	Классы QoS					
	0	1	2	3	4	5
Задержка доставки пакета IP, IPTD, с	0,1	0,4	0,1	0,4	1	Н
Вариация задержки пакета IP, IPDV, с	0,05	0,05	Н	Н	Н	Н
Коэффициент потери пакетов IP, IPLR	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	1×10^{-3}	Н
Коэффициент ошибок пакетов IP, IPER	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	1×10^{-4}	Н

Постановка задачи

Проанализированные в [6–9] методы обеспечения QoS не в полной мере предоставляют возможность оптимального распределения пропускной способности, требуемой для передачи различных типов трафика.

С одной стороны, обеспечение требуемого качества QoS не гарантируется. С другой стороны, в резерви-

рованной части канала для потока скорость может постоянно меняться, и даже в случае неполного использования уже не предоставляется для других потоков. При организации видео и аудиоконференций данную особенность важно учитывать, так как динамически меняющиеся участники конференций могут использовать различные режимы конференций и различные аудио- и видеокодеки, находиться в различных сетях с различными пропускными способностями каналов и с различной интенсивностью трафика в этих каналах.

Сформулируем требования, предъявляемые к задаче обеспечения качества обслуживания:

- объектом управления модели является каналобразующее сетевое оборудование (коммутаторы, маршрутизаторы);
- критерием классификации заявок является тип трафика;
- основной характеристикой качества обслуживания является предоставляемая пропускная способность.

Обозначим $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ – множество типов передаваемого трафика i -м узлом; $R_K = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$ –

множество нагрузок, создаваемых k -м типом трафика; $Q_K = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – множество предъявляемых требований к качеству обслуживания k -го трафика. Тогда:

$$S_{треб}^K(t) = r_{iq}, \tag{1}$$

где $S_{треб}^K(t)$ – требуемая скорость для k -го типа трафика в момент t .

При этом необходимо выполнение условия ограничения канала связи:

$$\sum_{i=1}^N r_{iq} \leq S_{досм}(t), \tag{2}$$

$$S_{досм}(t) \leq S_{max} - r^\theta, \tag{3}$$

где $S_{досм}(t)$ – доступная пропускная способность канала; S_{max} – максимально возможная пропускная способность канала, предоставляемая оператором; r^θ – постоянная служебная нагрузка, имеющая приоритетное требование обслуживания.

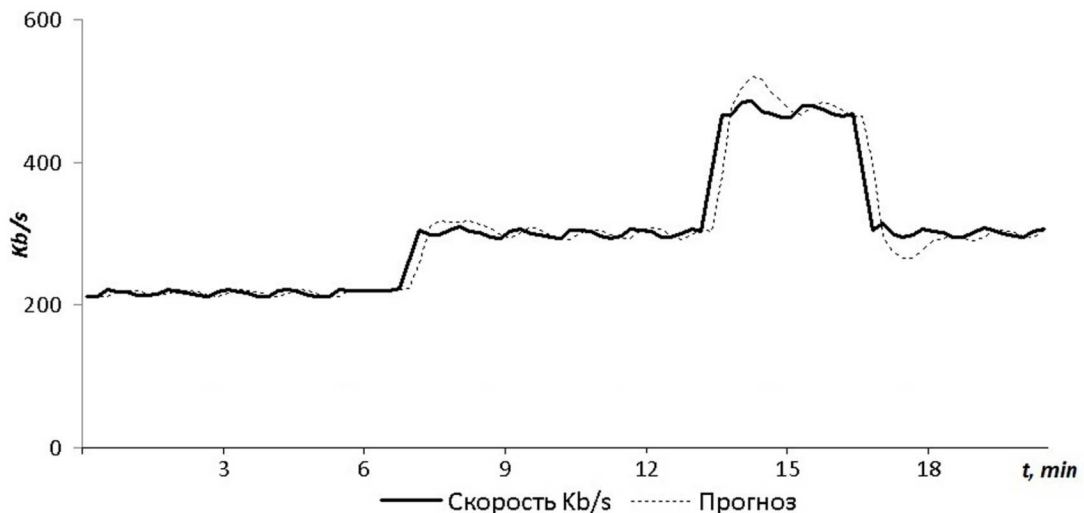


Рис. 1. Загрузка канала с постоянным числом активных участников видеоконференции

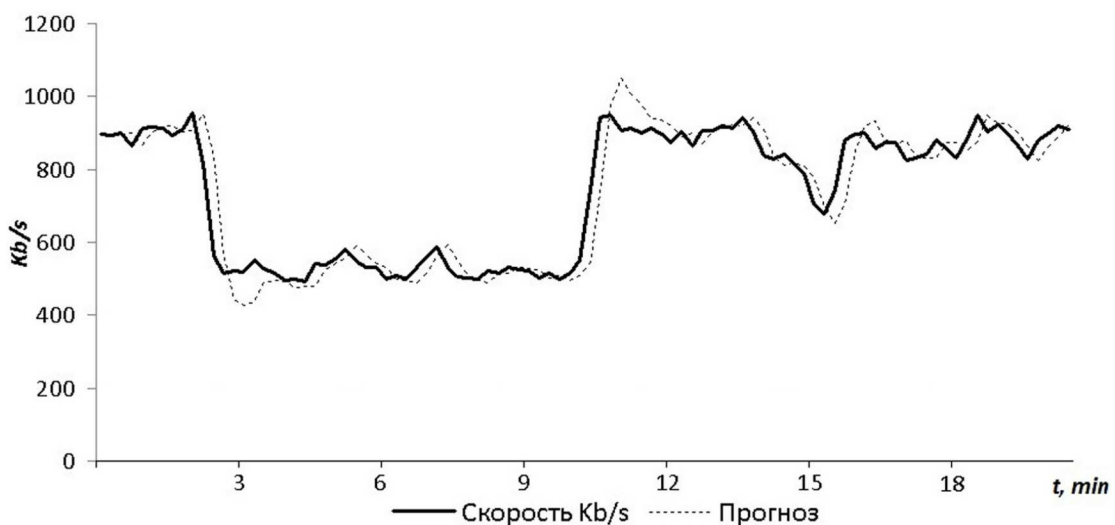


Рис. 2. Загрузка канала с выбыванием участников видеоконференции

МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ТРЕБУЕМОЙ СКОРОСТИ

Оптимальное распределение пропускной способности в целом, и в частности критерия $S_{доcm}(t) \rightarrow max$, достигается прогнозированием $S_{треб}^K$. Для краткосрочного прогноза применим усовершенствованный метод экспоненциального сглаживания временного ряда, способный обнаруживать микротренды в моменты времени, непосредственно предшествующие прогнозным, и экстраполировать эти тренды на будущее [10].

$$S_{треб}^K(t + v) = [a(t) + vb(t)]F(t + v - l), \quad (4)$$

где $S_{треб}^K(t)$ – значение требуемой сетевой загрузки для периода t ;

v – период прогноза;

$a(t)$, $b(t)$ и $F(t)$ – коэффициенты модели;

l – период сезонности.

Расчет коэффициентов модели производится следующим образом:

$$a(t) = \alpha \frac{S_{треб}^K(t)}{F(t-l)} + (1-\alpha)[a(t-1) + b(t-1)], \quad (5)$$

$$b(t) = \beta[a(t) - a(t-1)] + (1-\beta)b(t-1), \quad (6)$$

$$F(t) = \gamma \frac{S_{треб}^K(t)}{a(t)} + (1-\gamma)F(t-l). \quad (7)$$

Параметры $\alpha, \beta, \gamma \in (0, 1)$ подбираются путем минимизации среднеквадратичной ошибки прогноза.

Для оценки модели использовались выходные данные загрузки канала при проведении видеоконференции с постоянным числом активных участников (рис. 1), с выбыванием участника (рис. 2), а также во время аудиоконференции с переменным числом участников (рис. 3).

При оценке точности модели взят показатель средней абсолютной ошибки:

$$M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|S_{треб} - \hat{S}_{треб}|}{S_{треб}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где N – количество значений временного ряда, $\hat{S}_{треб}$ – прогнозные значения, полученные моделью.

Ошибка прогноза в первом случае (рис. 1) составила 17%, во втором (рис. 2) и третьем (рис. 3) случаях – 8–9%.

Для оценки модели использовались выходные данные загрузки канала при проведении видеоконференции с постоянным числом активных участников (рис. 1), с выбыванием участника (рис. 2), а также во время аудиоконференции с переменным числом участников (рис. 3). Во всех трех случаях продолжительность тестовых сеансов составила 20 минут.

В составе стенда были использованы аппаратные видеотерминалы E20 компании Cisco, сервер видеоконференцсвязи Cisco MCU 4501, маршрутизаторы Cisco 2921. Анализ загруженности сети и задержек производился программным анализатором Wireshark, установленным на выделенную рабочую станцию, подключенную к зеркалированным портам маршрутизаторов. Данный подход позволил произвести полный захват пакетов для более точного расчета показателей. Кроме того, средствами измерения не было внесено дополнительных задержек, искажающих результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современном сетевом оборудовании реализованы широкие возможности управления трафиком и качеством обслуживания. Как правило, производитель предоставляет функционал «как есть», позволяя управлять ограниченным набором параметров. Но, зачастую, требуется более гибкое управление трафиком или реализация собственного алгоритмического и математического обеспечения.

В условиях, когда возникает необходимость предоставления гарантированной полосы пропускания определенному типу трафика, предложенная модель адаптивного выбора скорости позволит эффективно распределить имеющуюся пропускную способность.

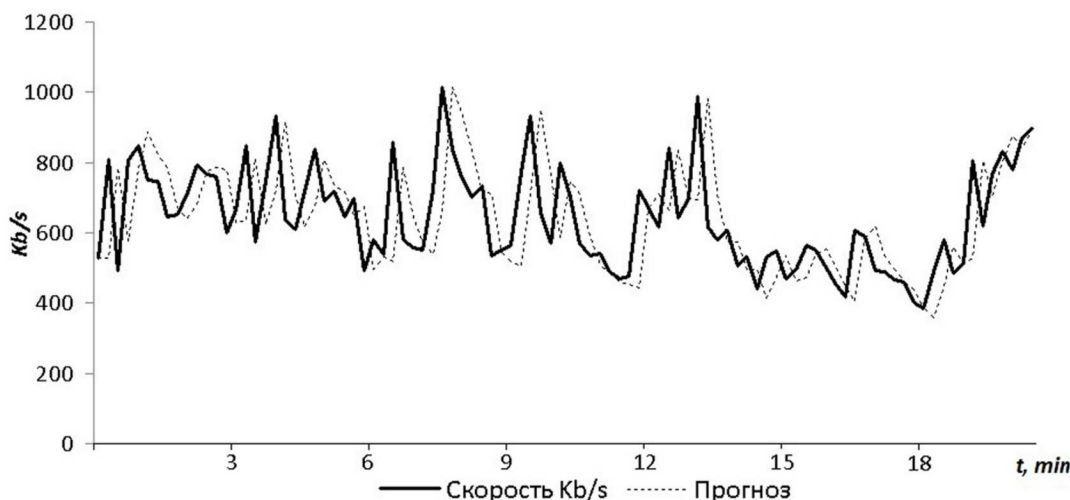


Рис. 3. Загрузка канала с переменным числом участников аудиоконференции

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таненбаум Э. Компьютерные сети. – СПб. : Питер, 2003.
2. Вегешна Ш. Качество обслуживания в сетях IP : пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003.
3. Takagi H., Kleinrock L. Throughput Analysis for Persistent CSMA Systems // IEEE Transactions on Communications, 1985.
4. ITU-T Recommendation Y.1541 - Network performance objectives for IP-based services, International Telecommunication Union, 2002.
5. Требования к организационно-техническому обеспечению функционирования сети связи общего пользования : Приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации № 113 от 27.09.2007.
6. Braden R., Clark D., Shenker S. Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview, RFC1633, 1994.
7. Wroclawski J. Specification of the Controlled-Load Network Element Service, RFC2211, September 1997.
8. Nichols K., Blake S., Baker F., Black D. Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers, RFC2474, 1998.
9. Blake S., Black D., Carlson M., Davies E., Wang Z., Weiss W. An Architecture for Differentiated Services, RFC2475, 1998.
10. Winters P. R. Forecasting sales by exponentially weight moving averages // Management Science, 1960, Vol. 6, № 3.