

УДК 004.72

## КРИТЕРИЙ КАЧЕСТВА СЕТЕВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ ДОСТУПНОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

© 2014 Т.Г. Султанов, А.М. Сухов.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 17.12.2013

В данной статье предложен критерий для разграничения доступной пропускной способности между классами обслуживания. Показано, что классы обслуживания должны различаться величиной доступной пропускной способности таким образом, что разница между соседними классами должна быть пропорциональна квадрату доступной пропускной способности текущего класса. При этом величина разницы между значениями задержек пакетов соседних классов есть величина постоянная. Ключевые слова: критерий разграничения, классы QoS, доступная пропускная способность.

Задача анализа качества обслуживания – (Quality of Service) – QoS в современных сетях с каждым годом становится все более востребованной [2]. Под качеством обслуживания понимают способность сети обеспечить разный уровень приоритетов различным приложениям, а также вероятность гарантии определенного уровня производительности для потока данных. В настоящее время вместе с планомерным увеличением скоростей передачи данных в телекоммуникациях увеличивается доля интерактивного трафика, крайне чувствительного к параметрам среды транспортировки. Современные Интернет-провайдеры предлагают сервис, обеспечивающий заданный уровень качества обслуживания. В результате наблюдается заметный рост, как пользователей, так и широкого спектра приложений. Для достижения этого Интернет-провайдеры должны тщательно управлять резервированием и распределением сетевых ресурсов для гарантированного выполнения необходимых требований. В зависимости от предоставляемого уровня качества обслуживания формируется стоимость сервиса для конечного пользователя. В связи с этим обеспечение требований для достижения заданного уровня качества обслуживания является одним из ключевых направлений в сетевых технологиях на сегодняшний день.

В сетях с коммутацией пакетов четырем параметрами, характеризующими QoS, являются: пропускная способность канала [3], задержка пакета, процент потери пакетов при прохождении по сети и сетевой джиттер. Требования к величине каждого из вышеописанных параметров

для заданного сервиса формируют различные классы качества обслуживания. Гарантии выполнения требований качества обслуживания [4] играют большую роль в случаях, когда пропускной способности сети недостаточно, например, для приложений реального времени, обеспечивающих передачу аудио и видео контента, онлайн-игр и IP-телевидения, так как они требуют фиксированной скорости передачи и довольно чувствительны к задержкам. Следует отметить, что в сотовых сетях передачи данных, где пропускная способность является ограниченным ресурсом, предоставление заданного уровня качества обслуживания является приоритетной задачей.

Гарантии обеспечения качества обслуживания QoS классифицируются по двум критериям. Первый критерий связан с определением качества обслуживания для отдельных потоков трафика (per-flow QoS) либо для групп потоков с едиными требованиями QoS (per-class QoS). Второй критерий касается разграничения классов посредством относительных (relative QoS) или абсолютных (absolute QoS) параметров.

Существуют различные определения для термина качество обслуживания. Далее приводится определение, предложенное компанией Cisco. Под качеством обслуживания понимают способность сети обеспечить необходимый сервис заданному трафику в определенных технологических рамках. В отдельных случаях под QoS подразумевают вероятность прохождения пакета между двумя точками сети.

Рабочая группа, занимающаяся стандартами сети Internet – (Internet Engineering TaskForce) – IETF, предложила различные сервисные модели и технологии, призванные обеспечить требуемый уровень QoS. Среди них различают модель негарантированной доставки, интегрированного обслуживания с резервированием ресурсов

*Султанов Тимур Геннадьевич, аспирант кафедры общей информатики. E-mail: tursul@rambler.ru*

*Сухов Андрей Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры общей информатики.*

*E-mail: amskh@yandex.ru*

(IntServ), дифференцированного обслуживания (DiffServ), многопротокольной коммутации по меткам – (Multiprotocol Label Switching) – (MPLS), технологию инжиниринга трафика и маршрутизации на основе ограничений (см. рис. 1).

Модель обеспечения качества обслуживания IntServ использует абсолютные параметры для отдельных потоков. Тем не менее, по причине проблем масштабируемости и высоких задержек передачи данных при использовании данного подхода, большее применение для глобальной сети Интернет находит использование относительных параметров для классов трафика. К данному подходу относится модель дифференцированного обслуживания (DiffServ).

За исключением сервиса ускоренной перенаправления и его текущих версий, предложения для QoS с относительными параметрами, обсуждаемые в контексте DiffServ, определяют качественное разделение услуг (без количественного разделения) в том смысле, что пакеты с большим приоритетом (относящиеся к классу более высокого уровня) передаются с меньшими задержками и потерями. В последнее время в научных исследованиях были сделаны попытки улучшить гарантии обеспечения качества обслуживания с относительными параметрами. Вероятно, что наиболее известной из таких попыток является модель пропорционального разделения, в которой соотношения для задержек и потерь пакетов последовательных классов обслуживания долж-

ны быть постоянными. Например, для двух классов можно указать, что задержки для более приоритетного класса в два раза меньше задержек класса с более низким приоритетом, при этом не указывается верхний предел задержек.

В настоящей работе наиболее актуальной задачей является поиск критерия, разграничивающего классы качества обслуживания в современных сетях в рамках дифференцированной модели обслуживания. Решение данной задачи позволяет проверить соответствие теоретически рассчитанных классов качества обслуживания фактически предоставляемому сервису.

В работе [1] было показано, что доступную пропускную способность (ДПС) для составных каналов можно рассчитать с помощью следующего выражения:

$$B_{av} = \frac{W_2 - W_1}{D_2 - D_1}, \tag{1}$$

где  $D_1, D_2$  – задержки первого и второго пакетов соответственно, [с];  $W_1, W_2$  – размеры первого и второго пакетов соответственно, [бит].

Преимущество предложенной модели заключается в том, что она не требует проведения двусторонних измерений для вычисления величины ДПС, так как в реальных условиях не всегда существует доступ к оборудованию на стороне получателя.

Для решения вопроса о применимости модели была найдено выражение, позволяющее оценить ошибку в измерении доступной пропускной

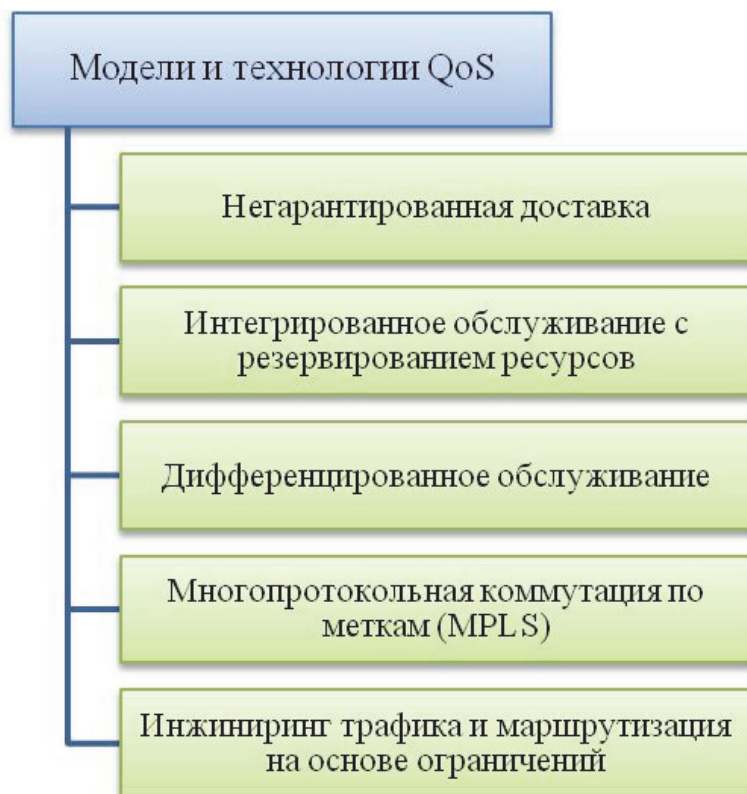


Рис. 1. Существующие модели и технологии QoS

способности в зависимости от точности измерения задержки [5]:

$$\eta = \frac{\Delta B}{B} = \frac{2\delta D}{D_2 - D_1}, \quad (2)$$

где  $\eta$  – относительная погрешность измерения доступной пропускной способности;  $\Delta B$  – абсолютная погрешность измерения доступной пропускной способности, бит/с;  $\delta D$  – точность измерения задержки пакета, с.

Уравнение (2) позволяет решить вопрос о разграничении классов обслуживания трафика. Следует отметить, что точность измерения задержки пакетов  $\delta D$ , разница в их величине  $W_2 - W_1$ , есть величины постоянные. С помощью несложных преобразований получим следующее соотношение:

$$\Delta B_i = B_i^2 \cdot C, \quad (3)$$

где  $C = \frac{2 \cdot \delta D}{W_2 - W_1}$  – константа, а  $i = \overline{1, n}$ , где  $n$  – число классов обслуживания.

Таким образом, классы обслуживания должны различаться величиной ДПС таким образом, что разница между ДПС соседних классов должна быть пропорциональна квадрату ДПС текущего класса.

Однако данный критерий недостаточно удобен для применения на практике, так как при настройке реальных систем применяются ограничения, накладываемые на задержку. Если предположить, что разница между классами описывается функцией  $f(D, j, p, B)$ , зависящей от параметров качества обслуживания ( $D$  – общая задержка пакета,  $j$  – величина джиттера,  $p$  – процент потери пакетов,  $B$  – доступная пропускная способность), то можно определить данные ограничения. Учитывая, что произведение  $B_i \Delta D_i$  остается неизменным независимо от класса обслуживания, то в таком случае функцию  $f(D, j, p, B)$  можно определить как:

$$f(D, j, p, B) = CB_i D_i = const. \quad (4)$$

Следовательно, величина разницы между значениями задержек пакетов соседних классов, есть величина постоянная. Стоит отметить, что речь идет об абсолютных значениях задержки, которые задаются для каждого из классов. Для поиска значения  $f(D, j, p, B)$  воспользуемся функцией распределения  $F(D)$  для задержки из работы [26]. Если предположить, что в высший класс QoS попадает  $\theta$  процентов пакетов, где

$F(D) = \theta$ , то в этом случае  $f(D, j, p, B)$  можно определить как:

$$f(D, j, p, B) = -j \ln(1 - \theta), \quad (5)$$

где  $j$  – величина джиттера.

Таким образом, располагая величиной необходимого процента пакетов, который должен попадать высший класс, можно рассчитать величину разницы между значениями задержек пакетов соседних классов. Это и есть найденный нами основной критерий разграничения ДПС между классами QoS.

Для проверки критерия разграничения классов обслуживания был проведен эксперимент в симуляторе NS-2, имитирующий работу сети с несколькими классами обслуживания. В процессе имитации передаются пакеты разной величины для того, чтобы можно было измерить доступную пропускную способность с помощью методики, предложенной ранее. Имитировалась передача пакетов размеров – 150Б и 100Б для каждого класса. Емкость каждого канала передачи данных равна 100 Мбит/с, минимальная величина задержки – 1 мс. Длительность симулирования задана равной 10 с. Точность измерения задержки  $\delta D$  для симулятора NS-2 равна  $10^{-6}$ с. Значение ADC для каждого последующего класса устанавливается на 0,5 мс больше, в то время как параметры ALC, RDC и RLC не задаются. Параметры классов обслуживания для проводимого эксперимента представлены в таблице 1.

По результатам симулирования рассчитаны средние значения задержек передачи пакетов разной величины для каждого класса обслуживания, а также значения доступной пропускной способности (согласно формуле (1)). Стоит отметить, что для проверки критерия была рассчитана разница  $\Delta B_i$  между ДПС соседних классов согласно формуле (3), а также найдена фактическая величина  $\Delta B_i^{exp}$ , полученная на основе экспериментальных данных. Результаты данных расчетов представлены в табл. 2.

Исходя из представленных в табл. 2 результатов расчета, очевидно, что при увеличении абсолютных ограничений задержки в NS-2 симуляторе, наблюдается уменьшение величины ДПС при переходе от одного класса к другому. При этом величина разницы ДПС между соседними классами, полученная в ходе экспериментов  $\Delta B_i^{exp}$ , хорошо согласуется с расчетной величиной разницы ДПС между соседними классами

Таблица 1. Параметры классов обслуживания в NS-2 симуляторе

Номер класса обслуживания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ADC, мс	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5

**Таблица 2.** Расчеты для критерия разграничения доступной пропускной способности

Номер класса обслуживания	$D_2^i$ , мс	$D_1^i$ , мс	$C$ , с/Мбит	$B_i$ , Мбит/с	$\Delta B_i^{exp}$ , Мбит/с	$\Delta B_i$ , Мбит/с
1	5,067	5,026	0,005	9,75610	0,45377	0,47591
2	5,401	5,358	0,005	9,30233	0,41344	0,43267
3	5,851	5,806	0,005	8,88889	0,37825	0,39506
4	6,632	6,585	0,005	8,51064	0,34737	0,36215
5	6,867	6,818	0,005	8,16327	0,32013	0,33319
6	7,510	7,459	0,005	7,84314	0,29597	0,30757
7	8,129	8,076	0,005	7,54717	0,27444	0,28480
8	8,457	8,402	0,005	7,27273	0,25518	0,26446
9	8,866	8,809	0,005	7,01754	0,23788	0,24623
10	9,425	9,366	0,005	6,77966	---	---

$\Delta B_i$ . Проведенные расчеты свидетельствуют о том, что разница между ДПС соседних классов должна быть пропорциональна квадрату ДПС текущего класса. При этом величина абсолютного значения задержки для каждого класса устанавливалась с шагом 0,5 мс, то есть  $f(D, j, p, B) = 0,5$  мс. Таким образом, согласно предлагаемому критерию становится возможным вводить классы обслуживания, обеспечив строгое выполнение требований SLA к величине ДПС.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Методика определения доступной пропускной способности IP-соединения на основе измерений для

пакетов различного размера / Т.Г. Султанов, А.М. Сухов, Д.Ю. Полукаров // Электросвязь. М., №11, 2012. С. 39-42.

2. Тарасов А.В. Качество обслуживания в современных сетях // Провайдинг России [Электронный ресурс]. URL: <http://www.hub.ru/modules.php?name=Pages&op=showpage &pid=141> (дата обращения 20.02.2013).

3. Packet-Dispersion Techniques and a Capacity-Estimation Methodology / C. Dovrolis, P. Ramanathan, D. Moore // IEEE/ ACM Transactionson Networking. December 2004. –Vol.12. №6. pp. 963–977.

4. Ferrari D., Delgrossi L. Charging For QoS // IEEE/ IFIP IWQOS 98 keynote paper, Napa, CA, Moy 1998.

5. Sukhov A.M., Sultanov T.G. Simulation technique for available bandwidth estimation 2010 // In Proc. IEEE European Modeling Symposium 2010, November 2011, pp. 490-495.

**CRITERION OF QUALITY OF NETWORK SERVICE  
BASED ON AVAILABLE BANDWIDTH ESTIMATION**

© 2014 T.G. Sultanov, A.M. Sukhov

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

This paper proposes criterion of available bandwidth differentiation between classes of service. It has been shown that classes of service should be differentiated by the value of their available bandwidth; therefore the difference between the values of available bandwidth of neighbor classes has to be proportional to the square of available bandwidth of current class. The paper shows that difference between the neighbor classes maximum delay is a constant.

Keywords: differentiation criterion, QoS classes, available bandwidth.

Timur Sultanov, Post-Graduate Student of General Informatics Department. E-mail: tursul@rambler.ru

Andrey Sukhov, Doctor of Technics, professor at the General Informatics Department. E-mail: amskh@yandex.ru