

УПРАВЛЕНИЕ ОЧЕРЕДЯМИ НА УЗЛАХ АКТИВНОЙ СЕТИ

Введение

Реализация концепции построения мультисервисных сетей связи следующего поколения (Next Generation Network, NGN) неразрывно связана с совершенствованием средств обеспечения качества обслуживания (Quality of Service, QoS). К числу подобных средств, реализуемых на сетевом узле (рис.1), относятся механизмы управления очередями (обслуживания очередей), которые во многом определяют порядок и эффективность использования буферного и канального ресурса телекоммуникационной сети (ТКС), а также ее производительность в целом [1]. Под управлением очередями подразумевается согласованное решение следующих задач:

- ✓ определение количества и типов очередей на сетевом узле;
- ✓ закрепление (статическое или динамическое) за каждой очередью пропускной способности исходящего тракта передачи;
- ✓ распределение поступающих на узел пакетов в сформированные очереди;
- ✓ перераспределение пакетов между очередями (балансировка очередей);
- ✓ превентивное ограничение длины очереди;
- ✓ обслуживание очередей (пересылка пакетов с очередей в тракт передачи).

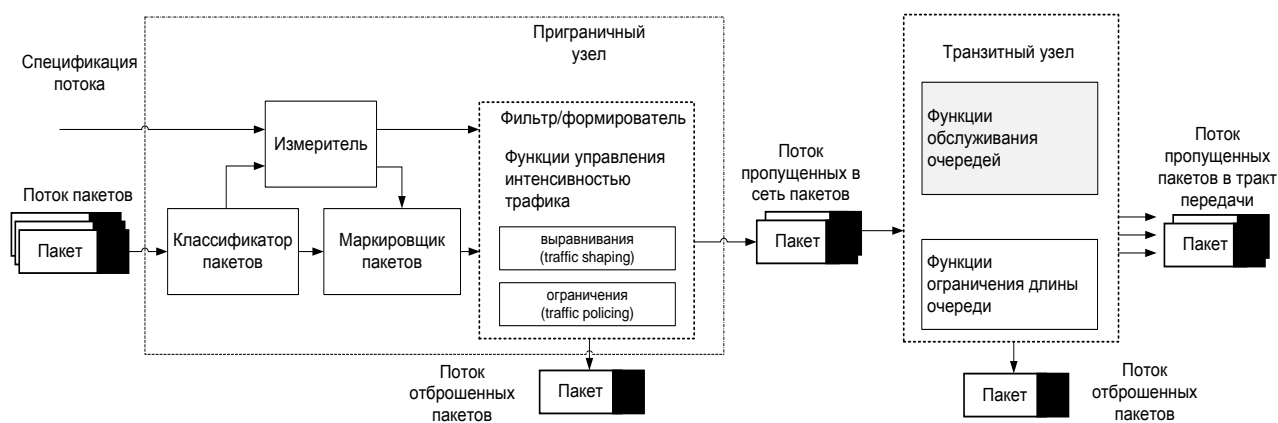


Рис. 1

Обзор известных алгоритмов управления очередями [2], к числу которых относятся, прежде всего, алгоритмы обслуживания очередей CQ, CBQ, PQ, FQ и различные их модификации (WFQ, CBWFQ, HWFQ, LLQ и др.), алгоритмы ограничения очередей RED (Random Early Detection) и WRED (Weighted RED), позволил констатировать ряд присущих им недостатков, к числу которых стоит отнести следующие:

- ✓ реализация пассивной стратегии обработки пакетов, сводящаяся к их элементарной пересылке с входного порта сетевого узла на выходной;
- ✓ применение преимущественно неадаптивных схем управления, когда за каждой очередью закрепляется строго определенная канальная емкость, величина которой не зависит от изменения состояния ТКС;
- ✓ использование статических приоритетов пакетов, регламентирующих порядок обслуживания пакетов на узлах сети.

Повышение показателей качества обслуживания неразрывно связано с совершенствованием механизмов управления очередями на основе устранения (минимизации) свойственных им выше перечисленных недостатков.

1. Особенности обработки пакетов на узлах активной сети

Основные недостатки существующих средств управления очередями обусловлены тем, что в основу большинства существующих и вновь проектируемых ТКС положена парадигма «Stupid network», предполагающая «вынос» большинства «интеллектуальных» функций сети на ее периметр, т.е. на приграничные сетевые узлы. Подобную ситуацию наглядно демонстрирует технология многопротокольной коммутации меток (MultiProtocol Label Switching, MPLS) [3], в рамках которой к функциям приграничных узлов LER (Label Edge Router), прежде всего, относятся классификация, маркировка и назначение приоритетов пакетам того или иного трафика; маршрутизация от источника с расчетом таблиц и путей коммутации меток (Label Switch Path, LSP) и др. В функции же внутрисетевых (транзитных) узлов (Label Switch Router, LSR) входит лишь решение задач по продвижению пакетов вдоль предварительно рассчитанных на приграничных узлах путей (LSP) на основе анализа таблиц коммутации меток, при этом содержание передаваемых данных обычно игнорируется.

Придать большую гибкость и адаптивность процессам управления сетевым ресурсом в ТКС призвана технология активных сетей (Active Network, AN) [4-7], в рамках которой «интеллект» сети равномерно распределен по всем сетевым узлам – активным узлам. В свою очередь, функции транзитных узлов значительно расширяются за счет возможности решения ими таких важных сетевых задач, как адаптивное изменение приоритетов, фрагментации (дефрагментации), сжатия и маршрутизации пакетов. Основным элементом сетевого узла, поддерживающим технологию AN (рис.2), является активный процессор (АП), в функции которого дополнительно входит анализ управляющей информации APCI (Active Processing Control Information) в заголовке каждого пакета, содержащей идентификатор функции и дескриптор.

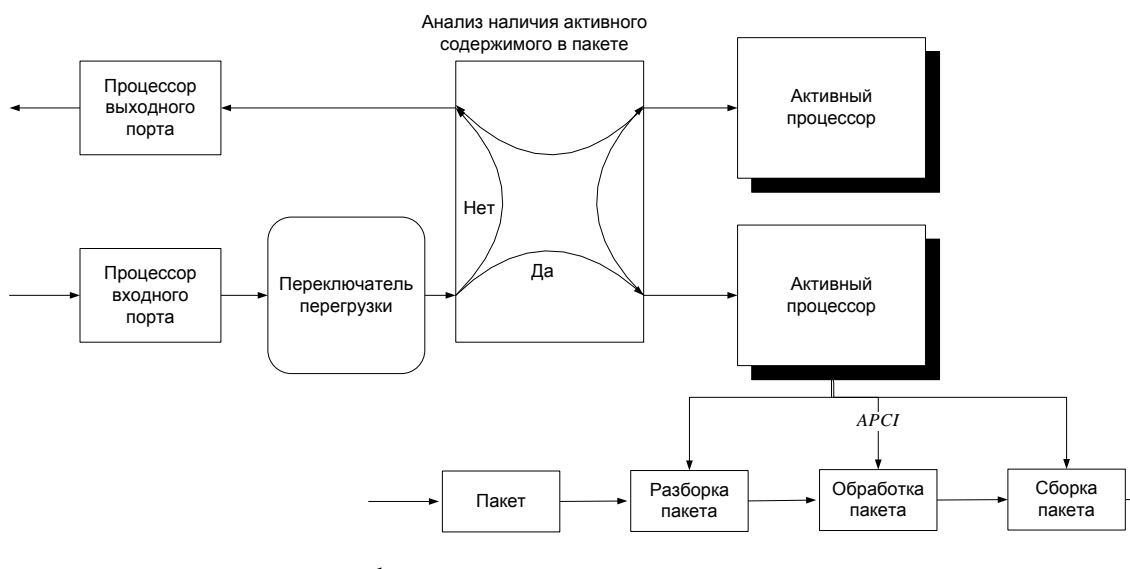


Рис. 2

Идентификатор определяет вызываемую функцию обработки, а дескриптор указывает на параметры состояния активного узла, которые должны использоваться в процессе обработки. Таким образом, в функции активного узла входит (рис.2), во-первых, определение выходного порта, во-вторых, в случае наличия управляющей информации пакет переадресуется активному процессору, в-третьих, в соответствии с содержимым APCI вызывается функция обработки с параметрами, соответствующими текущему состоянию сети, и, в-четвертых, с обновленным заголовком пакет передается на следующий узел. Примерами функций, выполняемых на активных узлах сети, могут служить буферизация пакетов, управление пропускной

способностью выходных портов в соответствии с загрузкой каналов, дополнительное сжатие трафика до передачи его по перегруженному участку сети и т.д.

Характерной особенностью активного узла (рис.2) также является использование много-процессорной архитектуры ввиду высоких требований к скорости обработки пакетов, которая может достигать до десятков терабит в секунду [8, 9]. Современные высокопроизводительные маршрутизаторы обычно являются гигабитными с возможностью масштабирования до терабитного диапазона. На сегодняшний день терабитные скорости обеспечивает, например, маршрутизатор TSR-40 от компании Avici – 5.6 Тбит/с. Одно шасси маршрутизатора TeraPlex 20 производства компании Pluris обеспечивает пропускную способность в 150 Гбит/с с масштабированием до суммарной величины 1.44 Тбит/с, а Pluris 2000 масштабируется до 149 Гбит/с в случае одного устройства и до 19.2 Тбит/с при объединении нескольких устройств. Маршрутизирующая платформа Routing Core Platform 7770 компании Alcatel поддерживает скорость до 640 Гбит/с на шасси, причем восемь шасси можно объединить в единое логическое устройство, в результате общая производительность составит 20 Тбит/с. Модель 8812 компании Procket достигает, как утверждают разработчики, производительности 960 Гбит/с и, по предварительной оценке, 1.2 млрд. пакетов в секунду [10]. Это достигается за счет применения специализированных интегральных схем ASIC (Application-Specific Integrated Circuits), а также микросхем сверхбольшой степени интеграции VLSI (Very Large-Scale Integration), которые являются полностью программируемыми сетевыми процессорами. За счет применения специальных микросхем ASIC маршрутизатор в состоянии обрабатывать на каждой линейной карте миллионы новых потоков в секунду.

Таким образом, механизмы обслуживания очередей должны учитывать перечисленные технологические особенности, свойственные структуре и функциям узлов активной сети, что подразумевает пересмотр самих моделей управления в сторону повышения степени их адаптируемости к возможным изменениям характеристик трафика и требований к качеству его обслуживания.

3. Модель управления очередями на узлах активной сети

С целью адекватного описания процесса обслуживания пакетов на сетевых узлах активной сети предположим, что в мультисервисная сеть поддерживает M классов трафиков, различаемых типом назначенного приоритета. Например, в случае использования IP Precedence при назначении приоритетов поддерживается маркировка до восьми классов трафика ($M = 8$). При использовании поля кода дифференцированной услуги (Differentiated Services Code Point, DSCP), которое является расширением 3-битового поля IP Precedence, задействуется уже 6 бит байта типа обслуживания (Type of Service, TOS) из заголовка пакета IPv4 или байта класса трафика (Traffic Class) пакета в IPv6. В последнем случае число классов трафика равно шестидесяти четырем ($M = 64$).

Характерной чертой современных механизмов управления очередями является фиксированность числа обслуживаемых очередей N , которое, в общем случае не превышает количества классов поддерживаемых сетью трафиков. Например, для алгоритма заказного (обычного) обслуживания (Custom Queuing, CQ) число очередей равно шестнадцати (плюс нулевая – системная очередь), а в алгоритме приоритетного обслуживания (Priority Queuing, PQ) сетевой администратор может выделить до четырех очередей для сетевого трафика высокого, среднего, нормального и низкого приоритета ($N = 4$).

В связи с тем, что при решении задач обеспечения QoS необходимо оперировать с интенсивностью трафика, то предлагаемая модель должна носить потоковый характер. Поэтому обозначим через a_i ($i = \overline{1, M}$) – интенсивность трафика i -го класса, поступающего на обслуживание сетевых узлом. Кроме того, пусть b_j ($j = \overline{1, N}$) – часть пропускной способности исходящего тракта передачи, которая закреплена за j -й очередью очередей ($j = \overline{1, N}$), что характерно, например, для алгоритма CBWFQ. При этом необходимо выполнить условие

$$\sum_{j=1}^N b_j \leq b, \quad (1)$$

где b – пропускная способность исходящего тракта передачи.

Условимся, что основу архитектуры сетевого узла образуют K параллельно функционирующих активных процессоров, тогда под c_k ($k = \overline{1, K}$) обозначим номинальную производительность k -го АП. С целью предотвращения перегрузки активного узла и сети в целом необходимо обеспечить выполнение условий

$$\sum_{i=1}^M a_i \leq \sum_{j=1}^N b_j \quad (2)$$

и

$$\sum_{j=1}^N b_j \leq \sum_{k=1}^K c_k \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^M a_i \leq \sum_{k=1}^K c_k. \quad (3)$$

Выполнение условий (2) обеспечивается, прежде всего, за счет эффективной маршрутизации трафика в сети, в противном случае – путем использования механизмов превентивного ограничения длины очереди (RED, WRED). Требования условий (3) необходимо удовлетворить на этапе проектирования сети, при выборе производительности сетевых узлов.

Если в известных алгоритмах порядок распределения пакетов того или иного трафика в очереди сетевого узла, как правило, строго фиксирован, то придать динамический характер этому процессу удалось в предлагаемой модели за счет введения переменной x_{ijk} , под которой подразумевалась часть i -го трафика, который будет направлен для обслуживания в j -ю очередь через k -й активный процессор. Согласно физическому смыслу переменной x_{ijk} имеют место следующие дополнительные условия:

$$x_{ijk} \geq 0 \quad (i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}), \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} = a_i \quad (i = \overline{1, M}), \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^K x_{ijk} \leq b_j \quad (j = \overline{1, N}) \quad \text{и} \quad \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N x_{ijk} \leq c_k \quad (k = \overline{1, K}). \quad (6)$$

Выполнение условия (5) гарантирует обслуживание всех пакетов трафика, поступающих на рассматриваемый сетевой узел. Условия (6) вводятся для предотвращения перегрузки соответственно очередей и активных процессоров сетевого узла в процессе управления. В связи с тем, что, в общем случае, выбор x_{ijk} в рамках ограничений (4)-(6) можно произвести множеством случаев, то целесообразно задачу, связанную с расчетом искомых переменных, сформулировать в виде оптимизационной задачи со следующей (в дальнейшем минимизируемой) целевой функцией:

$$T(x) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K f_{ijk} x_{ijk}, \quad (7)$$

в которой весовые ($i = \overline{1, M}, j = \overline{1, N}, k = \overline{1, K}$) характеризуют относительную стоимость использования пакетами i -го трафика ресурсов j -й очереди и k -го АП. С помощью подбора

численных значений коэффициентов f_{ijk} можно добиться реализации в рамках предложенной модели различных типов очередей – заказных, приоритетных, справедливых и др.

Предложенная математическая модель управления очередями (1)-(7) представлена в виде многоиндексной задачи линейного программирования, а именно в виде трипланарной транспортной задачи [11], для решения которой известны точные и приближенные методы решения, например, метод потенциалов и метод минимального элемента в сечении.

Размерность сформулированной оптимизационной задачи, которая количественно совпадает с числом переменных x_{ijk} , в случае однородности вычислительной системы, построенной на базе идентичных активных процессоров, составляет $S = M \cdot N \cdot K$ и для архитектуры узла (рис.3, а) равна 24. В случае существенных различий требований к обслуживанию, заложенных в APCI пакетов трафиков неодинаковых классов, активные процессоры могут быть неоднородными по характеру выполняемых функций обработки пакетов. Это, в свою очередь, отразится на структуре связей в модели (рис.3, б) и, в конечном итоге, приведет к снижению размерности задачи ($S = 10$).

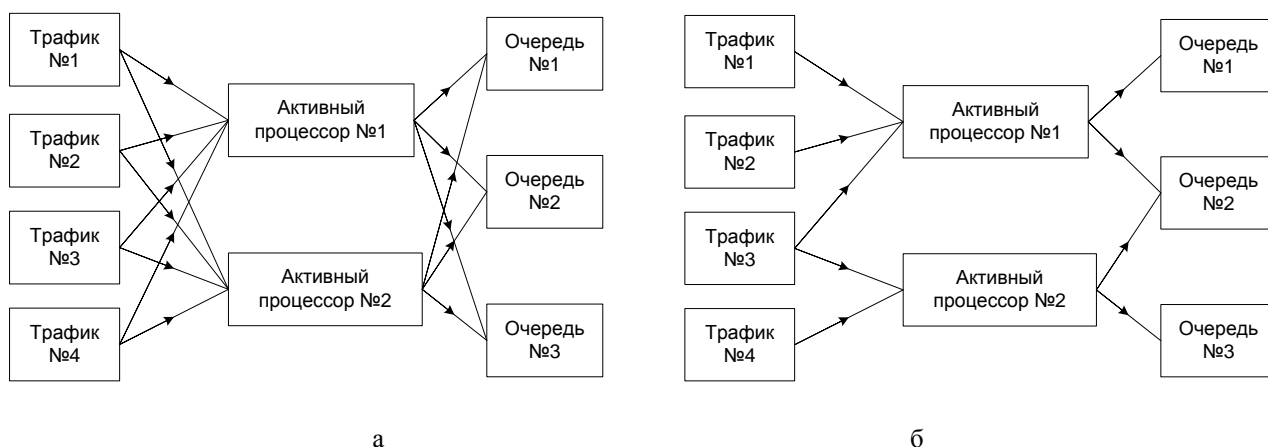


Рис. 3

4. Пример решения задачи управления очередями на узлах активной сети

Для наглядной интерпретации возможностей предложенной модели проведем решение задачи управления очередями при следующих исходных данных:

- количество поддерживаемых сетью классов трафиков – 4;
- численность активных процессоров на сетевом узле – 2;
- число выделенных на сетевом узле очередей – 3.

Количественные характеристика параметров модели (миллионов пакетов в секунду, Мп/с), согласующиеся с условиями (2)-(3), приведены в таблице.

Таблица

Параметр модели	Характеристика параметра модели			
	1	2	3	4
Интенсивность трафика	30 Мп/с	20 Мп/с	25 Мп/с	15 Мп/с
Производительность активного процессора	1		2	
	55 Мп/с		40 Мп/с	
Пропускная способность очереди	1		3	
	35 Мп/с		20 Мп/с	

Результат решения для приведенных исходных данных (табл.) наглядно проиллюстрирован на рис. 4. В ходе решения задачи удалось обеспечить выполнение условий (4)-(6), тем самым, предотвратив перегрузку активных процессоров и очередей, не допустив потери пакетов обслуживаемых трафиков.

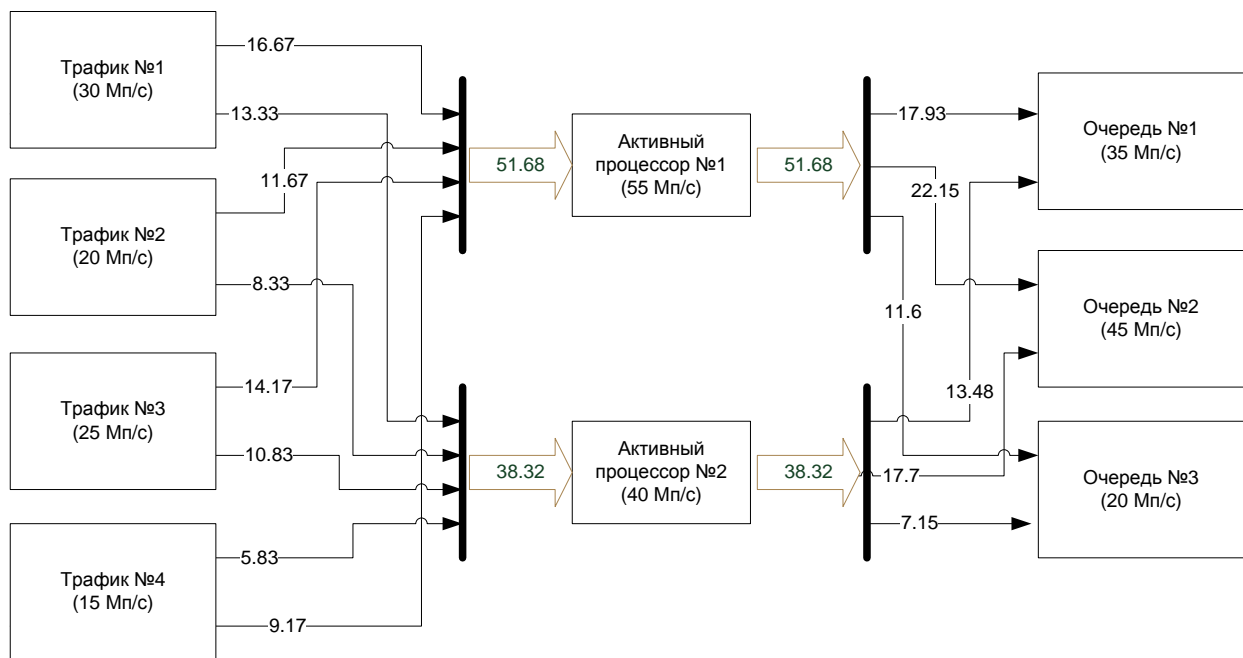


Рис. 4

Выводы

Таким образом, в работе предложена математическая модель управления очередями, на основании которой сама задача распределения пакетов по очередям представлена в виде оптимизационной задачи, относящейся к классу трипланарных транспортных задач линейного программирования. В рамках разработанной модели в отличие от ранее известных решений обеспечивается учет характеристик трафика, производительности активных процессоров сетевых узлов и пропускной способности очередей, что позволило придать адаптивный характер процессу распределения поступающих пакетов по отдельным очередям сетевого узла. Область преимущественного использования предложенной модели управления очередями – сетевые узлы мультисервисных сетей следующего поколения, функционирующие на основе активных технологий.

Развитие предложенного подхода видится в использовании нелинейных моделей управления, учитывающих в явном виде ограничения на качество обслуживания; в придании динамического характера процессу закрепления пропускной способности исходящего тракта передачи за очередями, а также в обеспечении согласованного решения задач обслуживания очередей и превентивного ограничения их длины.

Список литературы: 1. *Справочник по телекоммуникационным технологиям*: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 640 с. 2. *Вегенша Ш.* Качество обслуживания в сетях IP: Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 386 с. 3. *Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С.* Технология и протоколы MPLS. М.: Эко-Трендз, 2005. 304 с. 4. *Tennenhouse D. L., Smith J. M., Sincoskie W. D., Wetherall D. J., Minden G. J.* A Survey of Active Network Research // *IEEE Communications Magazine*. 1997. Vol. 35, №1. P. 80-86. 5. *Psounis K.* Active networks: applications, security, safety, and architectures // *Proc. IEEE Communications Surveys*. 1999. Vol.1. P. 2-16. 6. *Raz D., Shavitt Y.* An Active Network Approach to Efficient Network Management // *Technical Report. DIMACS*, 1999. P. 99-25. 7. *Иванов П.* Активные сети // *Сети*. 1999. №10. С. 14-24. 8. *Amit S., Raj J.* Terabit switching: a survey of techniques and current products // *Comput. Commun.* 2002. Vol.25, № 6. P. 547-556. 9. *Ti-Shiang W.* Architectural evolution and principles of optical terabit packet switches (OTPS) // *Comput. Commun.* 2002. Vol.25, № 6. P. 557-576. 10. *Гринфилд Д.* Терабитные маршрутизаторы: поучительная путаница // *Журнал сетевых решений – LAN*. 2000. №4. С.21-23. 11. *Раскин Л.Г., Кириченко И.О.* Многоиндексные задачи линейного программирования. М.: Радио и связь, 1982. 240 с.