

СЕТИ СВЯЗИ

УДК 621.395

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ СЕТИ СВЯЗИ
ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Печатается в порядке обсуждения

А.Е. Кучерявый, советник генерального директора ЦНИИС, д.т.н.

Е.А. Кучерявый, доцент технологического университета Тампере (Финляндия), к.т.н., Ph.D.

Введение. Технология коммутации каналов предусматривала иерархическое построение сети. На высшем уровне иерархии цифровой или аналоговой сети находились узлы автоматической коммутации, связанные между собой по принципу "каждый с каждым". Далее размещались автоматические междугородные станции, территориально сопряженные с расположением областных центров, в зону действия которых входили городские и сельские телефонные сети. Такая традиционная архитектура была характерна и в других странах для сетей связи общего пользования (ССОП) с коммутацией каналов [1].

В настоящее время архитектура ССОП несколько упрощена, но тем не менее по-прежнему в своей основе иерархична. На высшем уровне располагаются междугородные транзитные узлы, а далее следуют зоновые транзитные узлы, транзитные и оконечные узлы сети [2]. Наличие иерархии и ее устойчивость к внедряемым технологиям объясняются как эволюционным развитием сети, так и пользой от некоторой структурной избыточности (свойственной иерархической архитектуре) с точки зрения надежности функционирования ССОП и требований по централизованному управлению.

Иерархическая сеть может быть выполнена на основе концепции NGN. Пример такой сети будет приведен ниже. Однако особенностью концепции NGN, в первую очередь, положение о гарантированном уровне качества обслуживания (QoS) позволяют предположить, что NGN порождает принципиально иную архитектуру сети – доменную, в которой в предельном случае каждый домен должен быть связан с другими только соглашением о качестве обслуживания (SLA – Service Level Agreement) и более ничем [3, 4]. Исходя из архитектурных особенностей таких сетей, авторы предлагают назвать их *молекулярными*.

Соглашение о качестве обслуживания и дифференцированные услуги как основа построения сетей NGN. Декларация гарантированного уровня QoS в концепции NGN основана на развитии в последние годы механизма дифференцированного обслуживания (DiffServ) [5,6], одним из основных элементов которого является SLA [7, 8], обязательно включающее условия по обслуживанию трафика (TCA – Traffic Condition Agreement). Классическая архитектура домена сети связи с реализацией дифференцированных услуг представлена на рис. 1 [5, 6].

В архитектуре домена DiffServ могут быть выделены узлы, обеспечивающие различные функции – пограничные и внутренние. При этом среди пограничных узлов выделяются также входящие и исходящие. Входящий пограничный узел обеспечивает мониторинг поступающей нагрузки и оценивает ее адекватность существующему SLA, исходящий – формирует поток нагрузки в соответствии с SLA. Внутренние узлы домена DiffServ перенаправляют нагрузку на основании определенных правил, исходя из требований по QoS.

Перенаправление нагрузки внутренними узлами происходит в соответствии с PHB (Per-Hop Behavior), т.е. с поведением на переходе. В концепции PHB предусматривается наличие двух классов PHB:

- PHB EF (Expedited Forwarding) – быстрое перенаправление;
- PHB AF (Assured Forwarding) – гарантированное перенаправление.

Поведение на переходе "быстрое перенаправление" аналогично поведению виртуальной частной линии и предоставляет пользователям возможность передачи информации без потерь и задержек пакетов при соблюдении ими SLA.

Поведение на переходе "гарантированное перенаправление" определяет сущность дифференциального обслуживания. Пользователям гарантируется некоторое оговоренное QoS в соответствии с SLA. В качестве примера можно привести предлагаемое в рамках PHB AF так называемое олимпийское обслуживание с золотым, серебряным и бронзовым уровнями QoS. В целом, в рамках DiffServ предусматривается до 64 различных классов обслуживания, для которых в заголовке пакета выделяется специальное поле DS (Differentiated Services).

Поскольку QoS в NGN уделяется особое внимание (в связи с необходимостью обеспечения гарантий по уровню QoS в соответствии с SLA), то естественно, что для DiffServ разработаны и специальные методы не только по мониторингу и управлению нагрузкой, но и по предотвращению перегрузок.

Мониторинг, управление нагрузкой и перегрузками в DiffServ. Существуют два основных метода мониторинга и управления нагрузкой Leaky Bucket [9] и Token Bucket [10]. Leaky Bucket предусматривает наличие некоторого счетчика, превышение значения которого делает поступающий пакет неконформным, т.е. таким, который должен быть либо потерян, либо перемаркирован.

Заметим, что в домене DiffServ за перемаркировку пакетов отвечает входящий пограничный узел. Leaky Bucket, как видим, функционирует независимо от вида входящего потока, что несколько несовместимо с понятием SLA, в котором входящий поток явно задается. Token Bucket основан на идее

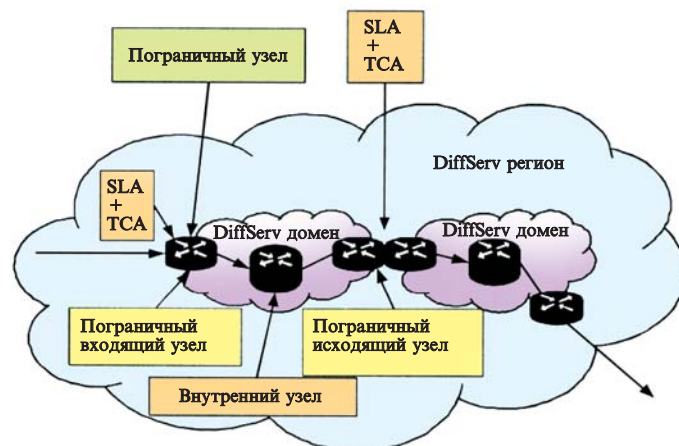


Рис. 1

моделирования некоторого потока (поток жетонов) и обслуживания входящего потока пакетов в соответствии с его адекватностью потоку жетонов. На базе Token Bucket разработан метод мониторинга и управления входящей нагрузкой в пограничном узле DiffServ, известный как *tr TCM* (too-rates Three Colors Marker) [11] – двухскоростной трехцветный маркер.

С помощью алгоритма функционирования *tr TCM*, приведенного на рис. 2, осуществляется мониторинг входящего потока нагрузки при условии соблюдения пиковой скорости (PIR – Peak Information Rate), пикового размера пачки (Peak Burst Size), допустимой (естественной) скорости (CIR – Committed Information Rate) и допустимого размера пачки (CBS – Committed Burst Size). Условия обслуживания входящего потока нагрузки (зеленые пакеты) могут быть определены в рамках PNB AF как золотой класс, красного и желтого – как серебряный и бронзовый соответственно.

Управление перегрузкой в DiffServ узлах предусматривает классификацию нагрузки на ряд определенных потоков и основывается на алгоритме управления FRED (Flow Random Early Detection) [12]. При использовании этого алгоритма входящая нагрузка классифицируется как неадаптивная, устойчивая или хрупкая.

Неадаптивная нагрузка характеризуется тем, что при наступлении перегрузки источник нагрузки не снижает скорости передачи и игнорирует признание пакетов неконформными. *Устойчивая нагрузка* напротив имеет высокую скорость реакции на перегрузку и достаточно быстро адаптируется к условиям обслуживания. *Хрупкая нагрузка* отличается небольшим числом пакетов, находящихся в буфере, и изначально небольшой скоростью передачи.

В алгоритме FRED для защиты хрупкой нагрузки вводится параметр, позволяющий любому потоку разместить в буфере *minq* пакетов без потерь. Для защиты буфера от перегрузки неадаптивной нагрузкой вводится параметр, определяющий максимальное число пакетов *maxq*, которое поток имеет возможность разместить в буфере. Кроме того, подсчитывается число попыток размещения пакетов в буфере при превышении значения *maxq*. Это позволяет защитить буфер от его занятия полностью пакетами неадаптивных потоков нагрузки.

Для устойчивой нагрузки процедура управления перегрузкой заключается в том, что при наличии малого числа активных потоков число пакетов, размещаемых в буфере с помощью активного устойчивого потока нагрузки, может быть существенно больше *minq*, а при перегрузке (большое число активных потоков) это же число не должно превышать *minq*.

Иерархическая сеть при реализации DiffServ. Поскольку иерархичность сети является неотъемлемой частью ее эволюции, рассмотрим возможности реализации иерархической сети в концепции DiffServ. Естественным методом можем считать введение некоторой иерархии доменов DiffServ с регуляторными ограничениями по их взаимодействию. Иерархия доменов DiffServ, в которой их иерархический уровень представлен во взаимосвязи иерархическому уровню существующей сети, представлена на рис. 3 [3, 4].

По аналогии с функциональной и физической плоскостями, применяемыми в МСЭ-Т для анализа сетей, технических средств и услуг, полезно построить плоскость QoS для иерархической DiffServ сети (сети NGN с гарантированным QoS), изображенной на рис. 4 (Ф, М – домены фиксированной или мобильной сети; WSN – домен беспроводной сенсорной сети; Wi Fi и Wi Max – соответственно домены широкополосного беспроводного доступа по технологиям Wi Fi и Wi Max). Возможно наличие односторонних или различных SLA для исходящей и входящей связи: SLA-U (upstream – исходящий поток) и SLA-D (downstream – входящий поток).

Анализ рис. 3 и 4 показывает возможность построения иерархической сети на основе концепции DiffServ. При этом очевидно не только избыточность такой сети, но и изначально

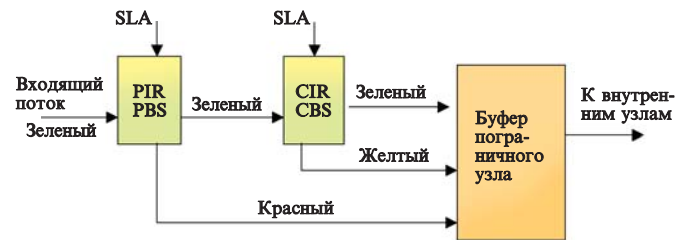


Рис. 2

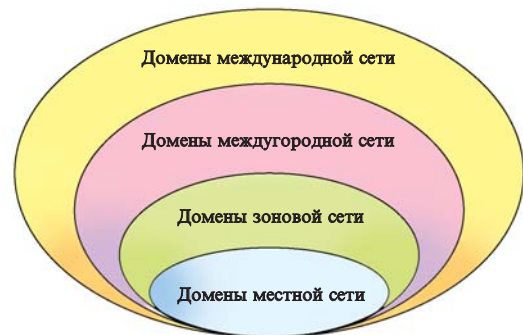


Рис. 3

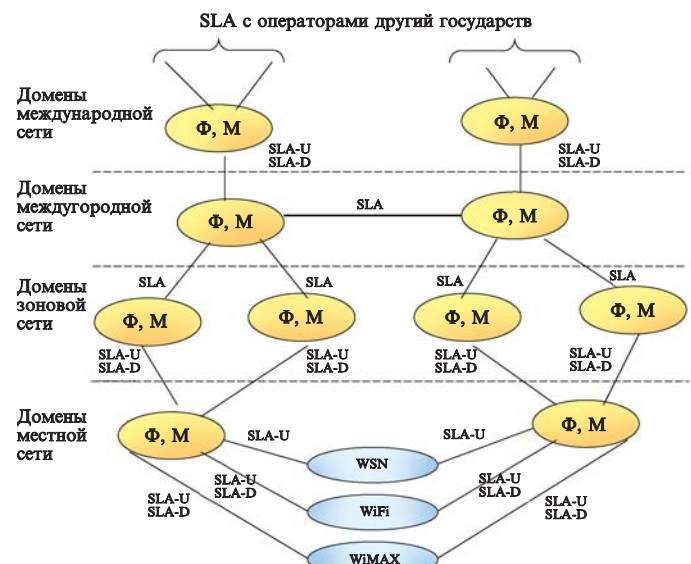


Рис. 4

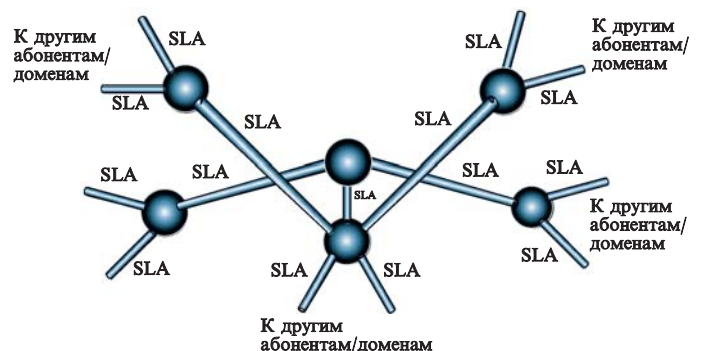


Рис. 5

ная противоречивость иерархической архитектуры концепции DiffServ, позволяющей взаимодействовать любым доменам только на основе SLA.

Молекулярная архитектура сети на основе DiffServ. Термин молекулярная сеть выбран исходя из того, что строение молекулы действительно нейтрально по отношению к регуляторным воздействиям и вместе с тем отражает всю полноту и естественность взаимодействий различных атомов (доменов) в молекуле (сети). Молекулярная архитектура сети на основе DiffServ приведена на рис. 5, где все домены связаны один с другим только по соглашениям SLA, существующим на основе взаимного интереса операторов доменов.

Молекулярная архитектура сети может обеспечить лучшие условия по QoS пользователей, чем иерархическая. Действительно, в иерархической сети некий абстрактный параметр качества p не может быть меньше $\sum_{i=1}^n p_i$, где n – число уровней иерархии сети; p_i – параметр p для i -го уровня иерархии. В то же время, в молекулярной сети параметром n выступает число транзитных доменов m , которое в общем случае $m \leq n$, а при развитой молекулярной архитектуре $m \rightarrow 1$.

Выводы. 1. При внедрении концепции NGN возможно поддержание гарантированного уровня качества обслуживания. Это обеспечивается в доменной архитектуре сети с использованием механизма дифференцированных услуг.

2. Управление входящей нагрузкой в DiffServ домене может осуществляться на основе алгоритма tr TCM, а перегрузкой – алгоритма FRED с дифференциацией нагрузки на неадаптивную, устойчивую и хрупкую.

3. Доменная архитектура сети приводит к постепенному уменьшению числа уровней иерархии в сети связи общего пользования и в предельном случае к молекулярной архитектуре сети.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Koucheryavy A., Sinyakov A.** Switching Systems in Russian Urban Telephone Networks// IEEE Journal on Selected Area in Communications. – September, 1994.
2. **Васильев А.Б.** Разработка методов тестирования технических средств сетей связи следующего поколения// Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – ФГУП ЦНИИС. – 2007.
3. **Кучерявый А.Е., Васильев А.Б., Соловьев С.П.** Архитектура ССОП, ориентированная на обеспечение гарантированного уровня QoS// Материалы 5-ой международной конференции по NGN. – Н.Новгород, 23-25 августа, 2005.
4. **Koucheryavy Y., Vasiliev A., Koucheryavy A., Soloviev S.** The Public Packet Network with Guaranteed QoS/ ICACT'2006, Proceedings. Korea, Phoemix Park. – February 20-22, 2006.
5. **Кучерявый Е.А., Кучерявый А.Е., Харью Я.** Качество обслуживания в сетях Интернет// Электросвязь. – 2002. – № 1.
6. **Кучерявый Е.А.** Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет. – С.-Петербург: Наука и техника, 2004.
7. **Шварцман В.О.** Качество услуг сетей следующего поколения// Электросвязь. – 2006. – № 3.
8. **Шнепс-Шнеппе М.А.** О соглашениях SLA в условиях NGN и услуг Triple Play// Электросвязь. – 2006. – № 3.
9. **Turner J.S.** New Directions in communications (or which way to the information age?)// IEEE Communication Magazine. – October 1986. – Vol. 24, № 10.
10. **Cruz R.L.** A Calculus for network delay. 1. Network elements in isolation. IEEE Transactions on Information Theory. – January 1991. – Vol. 37, № 1.
11. **Heinanen J., Guerin R.** A two rate three Color Marker/ RFC 2698. – September, 1999.
12. **Lin D., Morris R.** Dynamics of Random Early Detection/ ACM SIGCOMM, Proceedings. – September, 1997.

Получено 28.12.07