

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В КОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

В.В. ДЕМЧИНСКИЙ

Исследован методологический аппарат и проведен анализ алгоритмов управления потоками данных в сетях с обеспечением качества обслуживания. Для сетей IP с дифференцированным обслуживанием приведены алгоритмы классификации, формирования трафика и управления очередями. Поскольку основная транспортная среда для трафика IP — технология ATM, рассмотрен транзит датаграмм IP через сети ATM и сквозное качество обслуживания. Описана общность технологий качества обслуживания IP и ATM, а также возможность применения механизмов дифференцированного обслуживания IP в сетях ATM.

ВВЕДЕНИЕ

Рост и объединение мультисервисных компьютерных сетей и сопутствующее появление новых приложений, ориентированных на передачу нетрадиционных типов информации, например, передачу голоса и видеоконференций, для поддержки которых необходимы гарантии качества обслуживания, требуют разработки новых методов и алгоритмов управления потоками данных в сетях. Для поддержки передачи голоса, видео и трафика данных приложений с различными требованиями к пропускной способности и другими параметрам трафика, сеть должна обладать возможностью обслуживания различных типов сетевого трафика в зависимости от предъявляемых им требований. Функции качества обслуживания заключаются в обеспечении гарантированного и дифференцированного обслуживания сетевого трафика.

Проблемы качества обслуживания и алгоритмы управления данными в сетях разрабатываются ведущими производителями сетевого оборудования Cisco Systems [1], Nortel Networks [2], 3COM [2]. На разработку и стандартизацию механизмов сетей ATM направлены исследования Форума ATM (www.atmforum.com).

Технология качества обслуживания (Quality of Service — QoS) — это распределение потоков данных по категориям для обеспечения заданных параметров во время прохождения более приоритетного трафика по сети при конкуренции другого трафика, т.е. защите приоритетного. Роль технологии качества обслуживания — распределение сетевых ресурсов и обеспечение параметров, запрошенных приложением, которые могут быть выполнены сетью.

Набор параметров, установленных при открытии соединения, называется трафик-контрактом или соглашением о качестве обслуживания (Service Level Agreement — SLA). Потребность в технологии качества обслуживания растет по мере объединения и роста различных магистральных сетей с разными характеристиками и системами приоритетов.

ATM — это технология передачи и коммутации ячеек фиксированного размера. Коммутаторы ATM при передаче ячеек используют данные заголовка ячеек. Такая технология ориентирована на соединение, и поэтому вир-

туальный канал должен быть установлен до передачи данных сетевых приложений. В АТМ используется два типа виртуальных каналов: постоянные и коммутируемые. Постоянные виртуальные каналы настраиваются администратором сети, а коммутируемые — создаются динамически по требованию приложений. Базовая информация о технологии АТМ приведена в работе [3].

В сетях АТМ для гарантирования определенных параметров соединения введены механизмы контроля, управления и предотвращения перегрузок, которые называются управлением трафиком. Оно позволяет сети АТМ предоставлять определенное качество обслуживания соединениям, защищать существующие соединения от перегрузок и снижения производительности.

Сеть АТМ гарантирует системам сети качество обслуживания, определяя характеристики трафика в трафик-контракте, а системы АТМ должны обеспечивать соответствие передаваемого трафика условиям контракта. Параметры качества обслуживания — это пиковая и средняя скорости передачи ячеек, а также размер всплеска.

КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ IP

В сетях IP широко применяется технология **дифференцированного обслуживания**, учитывающая разделение трафика на классы по требованиям к качеству обслуживания. Для каждого класса определяются разные механизмы качества обслуживания. Дифференцированное обслуживание обеспечивает относительное качество обслуживания, а резервирование ресурсов позволяет гарантировать абсолютные значения показателей качества.

Формирование трафика на границе сети необходимо для дифференцированного обслуживания в пределах сети и состоит из маркировки пакетов и управления интенсивностью потоков, которое применяется для приведения в соответствие параметров поступающего в сеть трафика с расчетным профилем. Если некоторые из граничных устройств сети будут передавать пакеты с интенсивностью, превышающей максимально допустимое значение, то увеличение нагрузки может вызвать перегрузку сети, что неминуемо приведет к невозможности выполнения функций обеспечения качества обслуживания.

Управление интенсивностью возможно путем ограничения или выравнивания трафика. Оба механизма основаны на применении известной схемы «корзина маркеров» и отличаются обработкой трафика при нехватке маркеров. Механизм ограничения — это пересылка удовлетворяющего заданным параметрам трафика с постоянной интенсивностью, допускающая его всплеск. В случае нехватки маркеров возможно отбрасывание пакетов. Механизм выравнивания — это сглаживание трафика и пересылка его с постоянной интенсивностью. В случае нехватки маркеров пакеты помещаются в буфер и извлекаются из него по мере появления доступных маркеров.

При перегрузке сети выделение ресурсов для потока определяется порядком пакетов в очереди. Частота обслуживания пакетов одного потока определяет его полосу пропускания. Традиционным механизмом обслуживания очередей является механизм FIFO (first-in, first-out — первым пришел, первым ушел). Однако данный механизм не способен различать отдельные потоки и выделять для них соответствующие ресурсы или обеспечивать приоритетную обработку. Алгоритм обслуживания очереди с поддержкой качества обслуживания должен иметь механизм дифференцирования пакетов и гарантировать их обслуживание, распределяя ресурсы между отдельными потоками или определяя относительный приоритет потоков. Схемой

справедливого распределения ресурсов является максиминная схема равномерного распределения: в порядке возрастания требований; агент не может получить превышающий его потребности объем ресурсов; равномерно между агентами с неудовлетворенными требованиями. Схема названа так потому, что агент с неудовлетворенными требованиями получает максимум из возможных минимальных равномерных долей.

При передаче равновесных классов трафика должна применяться схема, обеспечивающая справедливое обслуживание по типу максиминной схемы равномерного распределения ресурсов. Такой является обобщенная схема распределения процессорного времени (Generalized Processor Sharing — GPS). В соответствии с ней каждый поток помещается в собственную логическую очередь, после чего бесконечно малый объем данных из каждой непустой очереди обслуживается по круговому принципу. Хотя GPS — идеальная реализация максиминной схемы равномерного распределения ресурсов, она не может быть реализована на практике. Однако алгоритм обслуживания очередей должен быть как можно более близкой аппроксимацией GPS.

Взвешенный механизм равномерного обслуживания очередей (Weighted Fair Queuing — WFQ) — это дисциплина обслуживания очереди с учетом принадлежности пакетов к классам. Каждый поток имеет определенный вес, регулирующий частоту обслуживания пакетов данного потока. Дисциплина WFQ обеспечивает приоритетную обработку потоков с большим весом и равномерное их обслуживание с одинаковым весом. Аппаратно алгоритм WFQ реализуется в маршрутизаторах на базе шинной архитектуры.

В маршрутизаторах с коммутационной матрицей применяется механизм кругового обслуживания, обрабатывающий за цикл один пакет из каждой непустой очереди и представляющий самую простую реализацию GPS. Наиболее точная имитация планировщика GPS достигается при равенстве размеров всех пакетов.

Взвешенный алгоритм кругового обслуживания (Weighted Round Robin — WRR) — это расширение механизма кругового обслуживания, когда каждому потоку назначается определенный вес, и пропорционально ему поток обслуживается. Механизм WRR оптимально согласуется с механизмом коммутации АТМ, в соответствии с которым поток представляется в виде ячеек одинаковой длины, а вес потока определяет число ячеек, обслуживаемых за один цикл.

Дисциплины, позволяющие определять фильтры, классифицирующие трафик и направляющие его в определенные подклассы, следующие.

Дисциплина НТВ (Hierarchical Token Bucket — Иерархическая Корзина Маркеров) использует идею маркеров. Благодаря классовости, поддержке технологии заема полосы пропускания, НТВ позволяет организовывать сложное и тонкое управление трафиком. Весь процесс ограничения полосы пропускания выполняется в краевых классах. Внутренние классы предназначены для реализации механизма заема пропускной способности. Важной составляющей НТВ является механизм заема полосы пропускания. НТВ может наследовать неиспользуемую полосу канала как по горизонтали, так и по вертикали в дереве классов. Наследование происходит на основе приоритетов классов и фильтров, а также установленного ограничения скорости. НТВ — наиболее развитая реализация иерархии классов, однако реализована она пока что только в ядрах некоторых UNIX-систем.

Бесклассовые дисциплины обычно используются как листья в дереве классовой. Это позволяет реализовывать наследование и приоритизацию

сразу по нескольким классам. Классовость дает гибкость в построении дерева правил, в которых в качестве классификаторов может быть множество параметров. Например, адреса или типы трафика по портам.

Дисциплина обработки очереди SFQ (Stochastic Fair Queue — Стохастическая Справедливая Очередь) — это попытка распределить поровну возможность передавать данные между произвольным количеством потоков, что достигается использованием хэш-функции для разделения трафика на отдельные очереди типа FIFO, которые потом обрабатываются циклически.

Дисциплина RED (Random Early Detect — Случайное Раннее Обнаружение) — это механизм предотвращения перегрузок за счет уничтожения случайных пакетов из произвольных потоков. Механизм сброса должен согласовываться с механизмами восстановления, повторной передачи и управления нагрузкой. Применяется только для протоколов транспортного уровня, таких как TCP, которые обнаруживают утерю пакетов и соответствующим образом реагируют: уменьшают размер окна, переходят в режим медленного старта, прерывают на некоторое время передачу, после чего пытаются повторно передать данные. RED контролирует размер очереди и при ее заполнении выбирает случайным образом отдельные TCP-потоки, начинает уничтожать пакеты для замедления скорости передачи.

Использование алгоритма RED целесообразно на высокоскоростных магистралях с полосой пропускания в десятки мегабит за секунду, где по аппаратным и другим причинам затруднительно поддерживать статус соединений.

Классовые дисциплины обработки трафика обеспечивают высокую гибкость в управлении трафиком. Базой классового обслуживания является механизм классификации, который в зависимости от данных пакета или внутреннего состояния маршрутизатора, а также от требований к обслуживанию разных категорий трафика, определяет принадлежность пакета к некоторому классу обслуживания. Одна из методик классификации — распределение данных по важности и чувствительности к задержкам и потерям:

- критические данные (малый объем, обслуживание без потерь с минимальной задержкой);
- экстренные (обслуживание с минимальной задержкой);
- приоритетные (обслуживание с малой задержкой);
- бесклассовые (остальной поток данных).

Датаграммы могут быть классифицированы как по любому из полей заголовка (адрес источника и получателя, значение протокола, адреса портов источника и получателя, длина пакета, значения полей приоритета или кода дифференцированной услуги), так и по данным канального уровня или по внутренним параметрам коммутатора (например, списки доступа или соответствие данного потока расчетному профилю трафика). Распознавание потоков позволяет идентифицировать трафик различных приложений.

Обеспечение качества обслуживания для отдельного потока не масштабируется, а число потоков на каждом участке сети достаточно большое и постоянно меняется. Поэтому прибегают к разделению потоков на классы по тем или иным признакам.

Поле приоритета IP (код дифференцированной услуги) играет особую роль в формировании трафика. С помощью данного поля производится маркировка датаграмм в зависимости от принадлежности к тому или иному классу. Маркировка пакетов применяется для идентификации классов трафика. Поле приоритета определяет 7 классов: от 0-го (стандартные данные)

до 7-го (данные сетевого управления) и указывает на относительный приоритет при обработке соответствующего пакета. Поле кода дифференцированной услуги позволяет определить 64 класса данных. Функция маркировки может быть внешней по отношению к транспортной сети, когда администраторы конечных систем или сетей автономно производят классификацию и маркировку данных.

На основе классов может быть построена довольно сложная иерархия, содержащая такие группы:

- приоритетные (определяют абсолютный приоритет обслуживания между группами классов);
- произвольные (обслуживают пропорционально весу группы);
- равновесные (с равными весами);
- защищенные (гарантируют минимальную полосу канала);
- замкнутые (ограничивают максимальную полосу канала).

По результатам классификации происходит определение политики обслуживания и распределения ресурсов между потоками данных. Кроме того, принадлежность к классу определяет политику формирования этих потоков на входе в сеть. Модуль резервирования ресурсов является управляющим интерфейсом по отношению к механизмам классификации, установления соединений и управления ресурсами.

КАЧЕСТВО ОБСЛУЖИВАНИЯ В СЕТЯХ АТМ

При транзите трафика IP через АТМ для уровня IP структура и механизмы АТМ остаются прозрачными и соединение представляется в виде точка-точка. В технологии АТМ функции качества обслуживания реализуются на уровне 2-й эталонной модели OSI. При взаимодействии IP и АТМ необходимо, чтобы функции качества обслуживания Internet-протокола преобразовывались в АТМ QoS и наоборот. Технология АТМ обладает гибкостью, позволяющей определять совершенно разные услуги передачи трафика в одном формате. В зависимости от требований к параметрам трафика Форум АТМ определено пять категорий сервиса:

- с постоянной скоростью (CBR);
- в реальном времени с переменной скоростью (rtVBR);
- с переменной скоростью не в реальном времени (nrtVBR);
- с незаданной заранее скоростью (UBR);
- с доступной скоростью (ABR).

Тип передаваемых данных и требования прикладного ПО определяют категорию сервиса.

Например, несжатые аудио- и видеоданные требуют передачи с постоянной скоростью, а те же данные, подвергнутые компрессии, уже могут передаваться в реальном времени с переменной скоростью. Для нормальной работы системы IP-телефонии достаточно гарантировать определенные временные задержки, вариации задержек и уровень потерь.

Конечные системы АТМ отвечают за соответствие передаваемого трафика контракту QoS. Формирование трафика происходит за счет буферизации данных и передачи в рамках контракта. Коммутаторы АТМ проверяют характеристики трафика и сравнивают с контрактом. В случае несогласования параметров определенной части трафика с контрактом, коммутатор мо-

жет установить для всего несогласующегося трафика CLP-бит в ячейке ATM, а у ячеек с установленным битом CLP большая вероятность быть отброшенными при перегрузке сети.

С точки зрения IP QoS трафик IP передается по сети ATM без потерь с применением услуги ATM, которая удовлетворяет всем требованиям к качеству обслуживания трафика IP. На уровне IP QoS каждому виртуальному каналу ATM соответствует отдельная очередь, поэтому для формирования трафика алгоритмы WFQ и RED могут быть применены к каждому виртуальному каналу.

Способ борьбы с перегрузками в сетях ATM — сброс ячеек. Однако при каждой перегрузке сбрасываются ячейки различных пакетов. Из-за отсутствия механизма восстановления потерянных ячеек при потере хотя бы одной ячейки какого-либо пакета протоколом верхнего уровня производится повторная передача всего пакета. Такая схема приводит к лавинообразному нарастанию перегрузок в сети. Если при этом оставшиеся ячейки поврежденного пакета продолжают свое движение к адресату, то это означает еще и неэффективное использование ресурсов сети.

Механизмы сброса удаляют все ячейки какого-либо пакета сразу. Только ячейка с признаком конца пакета продолжает движение к адресату, что служит сигналом протоколу верхнего уровня о потере пакета.

Основные механизмы сброса поврежденных пакетов: ранний сброс (EPD — Early Packet Discard) и сброс остатков пакета (TPD — Tail Packet Discard). Ранний сброс — это выборочный превентивный сброс ячеек при угрозе возникновения переполнения буфера. Сброс остатков пакета — это удаление всех оставшихся (кроме последней) ячейки пакета при обнаружении нарушения его целостности. Применение механизмов TPD и EPD значительно повышает эффективность передачи. При реализации в сети IP дифференцированных услуг, основанных на приоритете IP, возможно отображение приоритета IP в CLP-бит.

Для обеспечения равномерного обслуживания потоков одной категории, принадлежащих разным виртуальным каналам, в технологии ATM применяется круговое обслуживание. Для разделения полосы канала между категориями используется взвешенный алгоритм кругового обслуживания.

Для выполнения функций QoS при передаче трафика IP через ATM возможно несколько реализаций. Например, весь трафик IP переносится в конечную точку по одному постоянному виртуальному каналу. Трафик, превышающий параметры виртуального канала, буферизируется на входе в сеть ATM и проходит через механизмы WRED и WFQ, что гарантирует меньшие потери и большую полосу пропускания для более приоритетного трафика по сравнению с менее приоритетным. Кроме того, в зависимости от класса может быть определена полоса пропускания.

Другая реализация предполагает группу постоянных виртуальных каналов, переносящих трафик IP в точку назначения. Это обусловлено требованиями QoS различных классов трафика IP (масштаба реального времени и передаваемые не в реальном времени, а также с негарантированной доставкой). Каждый канал соответствует одному классу услуг ATM. Для каналов возможно резервирование полосы пропускания. Виртуальный канал настраивается на передачу трафика с одним или несколькими значениями приоритета IP. Для каждого виртуального канала существует отдельная очередь, к которой можно применить алгоритмы WRED и WFQ. Класс услуг ATM для трафика IP принимается выше класса UBR, поэтому пакеты не будут отбрасываться внутри сети ATM вследствие применения ATM QoS. Применение

группы каналов изолирует критические классы трафика, однако требует тщательной настройки.

Система со стандартизированными классами трафика позволяет централизованно назначать приоритет и контролировать управление ресурсами в соответствии с принадлежностью к классу. Набор классов в ATM фиксирован и целиком соответствует идеологии дифференцированного обслуживания, принятой в сетях IP, что облегчает задачу обеспечения сквозного качества обслуживания в сетях IP over ATM.

Примерами отношений между классами в ATM может быть гарантированная и ограниченная пропускная способность (ПС) для СВР, приоритетное обслуживание и гарантия ПС с заемом у других классов для VBR, гарантия минимальной ПС для ABR и остаточная ПС для UBR. В терминах планировщика WRR сходный набор классов может быть выражен в разных весах: либо превосходящих потребности класса (приоритетное обслуживание), либо минимальных (гарантия минимальной ПС).

Схема адаптивного сброса в ATM — аналог алгоритма потокового RED, применяемого в сетях IP, предотвращающего захват ПС одними потоками и особенно эффективного для протоколов, способных адекватно реагировать на сброс пакетов. Такой механизм борьбы с перегрузками может применяться на любых каналах, вплоть до широкополосных магистралей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Алгоритм кругового обслуживания является методом равномерного распределения ресурсов между потоками или классами трафика. Применение кругового обслуживания на виртуальных каналах позволяет добиться хороших результатов, в частности и с управляемыми потоками. Однако его применение требует поддержки отдельной очереди для каждого из каналов, что становится невозможным при значительном росте числа каналов. Выход может быть найден в группировке каналов и использовании одной очереди для группы каналов.

Распределение ресурсов между группами (в пределах одного класса трафика) дает лучшие результаты, чем равномерное обслуживание только между классами трафика. При малом числе очередей возникают проблемы: ограниченность возможности классификации трафика и увеличение средней глубины очередей.

Каждый же отдельный механизм обработки очереди создан для решения конкретных задач. Он по-разному воздействует на потоки данных и влияет на производительность сети. Результатом исследования и анализа множества технологий качества обслуживания должен стать индивидуальный выбор и настройка механизмов, удовлетворяющих потребности конкретной системы для достижения максимальной эффективности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Srinivas Vegesna*. IP Quality of Service. — Indianapolis: Cisco Press. — 2001. — 345 p.
2. *Даррин Вудс*. Доступ к ATM — ключ к конвергенции // Сети и системы связи. — 2000. — № 3 — С. 87–95.
3. *Кульгин М.* Технологии корпоративных сетей: Энциклопедия. — СПб.: Питер, 2000. — 704 с.

Поступила 25.10.2004