

Технология АТМ

Гетерогенность - неотъемлемое качество любой крупной вычислительной сети, и на согласование разнородных компонентов системные интеграторы и администраторы тратят большую часть своего времени. Поэтому любое средство, сулящее перспективу уменьшения неоднородности сети, привлекает пристальный интерес сетевых специалистов. Технология *асинхронного режима передачи* (*Asynchronous Transfer Mode, ATM*) разработана как единый универсальный транспорт для нового поколения сетей с интеграцией услуг, которые называются широкополосными сетями ISDN (Broadband-ISDN, B-ISDN).

По планам разработчиков единообразие, обеспечиваемое АТМ, будет состоять в том, что одна транспортная технология сможет обеспечить несколько перечисленных ниже возможностей.

- Передачу в рамках одной транспортной системы компьютерного и мультимедийного (голос, видео) трафика, чувствительного к задержкам, причем для каждого вида трафика качество обслуживания будет соответствовать его потребностям.

- Иерархию скоростей передачи данных, от десятков мегабит до нескольких гигабит в секунду с гарантированной пропускной способностью для ответственных приложений.

- Общие транспортные протоколы для локальных и глобальных сетей.

- Сохранение имеющейся инфраструктуры физических каналов или физических протоколов: T1/E1, T3/E3, SDH STM-n, FDDI.

- Взаимодействие с унаследованными протоколами локальных и глобальных сетей: IP, SNA, Ethernet, ISDN.

Главная идея технологии асинхронного режима передачи была высказана достаточно давно - этот термин ввела лаборатория Bell Labs еще в 1968 году. Основной разрабатываемой технологией тогда была технология TDM с синхронными методами коммутации, основанными на порядковом номере байта в объединенном кадре. Главный недостаток технологии TDM, которую также называют технологией синхронной передачи STM (*Synchronous Transfer Mode*), заключается в невозможности перераспределять пропускную способность объединенного канала между подканалами. В те периоды времени, когда по подканалу не передаются пользовательские данные, объединенный канал все равно передает байты этого подканала, заполненные нулями.

Попытки загрузить периоды простоя подканалов приводят к необходимости введения заголовка для данных каждого подканала. В промежуточной технологии STDM (*Statistical TDM*), которая позволяет заполнять периоды простоя передачей пульсаций трафика других подканалов, действительно вводятся заголовки, содержащие номер подканала. Данные при этом оформляются в пакеты, похожие по структуре на пакеты компьютерных сетей. Наличие адреса у каждого пакета позволяет передавать его асинхронно, так как местоположение его относительно данных других подканалов уже не является его адресом. Асинхронные пакеты одного подканала вставляются в свободные тайм - слоты другого подканала, но не смешиваются с данными этого подканала, так как имеют собственный адрес.

Технология АТМ совмещает в себе подходы двух технологий - коммутации пакетов и коммутации каналов. От первой она взяла на вооружение передачу данных в виде адресуемых пакетов, а от второй - использование пакетов небольшого фиксированного размера, в результате чего задержки в сети становятся более предсказуемыми. С помощью техники виртуальных каналов, предварительного заказа параметров качества обслуживания канала и приоритетного обслуживания виртуальных каналов с разным качеством обслуживания удастся добиться передачи в одной сети разных типов трафика без дискриминации. Хотя сети ISDN также разрабатывались для передачи различных видов трафика в рамках одной сети, голосовой трафик явно был для разработчиков более приоритетным. Технология АТМ с самого начала разрабатывалась как технология, способная обслуживать все виды трафика в соответствии с их требованиями.

Службы верхних уровней сети B-ISDN должны быть примерно такими же, что и у сети ISDN - это передача факсов, распространение телевизионного изображения, голосовая почта, электронная почта, различные интерактивные службы, например проведение видеоконференций. Высокие скорости технологии АТМ создают гораздо больше возможностей для служб верхнего

уровня, которые не могли быть реализованы сетями ISDN - например, для передачи цветного телевизионного изображения необходима полоса пропускания в районе 30 Мбит/с. Технология ISDN такую скорость поддержать не может, а для АТМ она не составляет больших проблем.

Разработку стандартов АТМ осуществляет группа организаций под названием АТМ Forum под эгидой специального комитета IEEE, а также комитеты ITU-T и ANSI. АТМ - это очень сложная технология, требующая стандартизации в самых различных аспектах, поэтому, хотя основное ядро стандартов было принято в 1993 году, работа по стандартизации активно продолжается. Оптимизм внушает тот факт, что в АТМ Forum принимают участие практически все заинтересованные стороны - производители телекоммуникационного оборудования, производители оборудования локальных сетей, операторы телекоммуникационных сетей и сетевые интеграторы. До широкого распространения технологии АТМ по оценкам специалистов должно пройти еще 5-10 лет. Такой прогноз связан не только с отсутствием полного набора принятых стандартов, но и с невозможностью быстрой замены уже установленного дорогого оборудования, которое хотя и не так хорошо, как хотелось бы, но все же справляется со своими обязанностями. Кроме того, многое еще нужно сделать в области стандартизации взаимодействия АТМ с существующими сетями, как компьютерными, так и телефонными.

Основные принципы технологии АТМ

Сеть АТМ имеет классическую структуру крупной территориальной сети - конечные станции соединяются индивидуальными каналами с коммутаторами нижнего уровня, которые в свою очередь соединяются с коммутаторами более высоких уровней. Коммутаторы АТМ пользуются 20-байтными адресами конечных узлов для маршрутизации трафика на основе техники виртуальных каналов. Для частных сетей АТМ определен протокол маршрутизации PNNI (Private NNI), с помощью которого коммутаторы могут строить таблицы маршрутизации автоматически. В публичных сетях АТМ таблицы маршрутизации могут строиться администраторами вручную, как и в сетях X.25, или могут поддерживаться протоколом PNNI.

Коммутация пакетов происходит на основе идентификатора виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI), который назначается соединению при его установлении и уничтожается при разрыве соединения. Адрес конечного узла АТМ, на основе которого прокладывается виртуальный канал, имеет иерархическую структуру, подобную номеру в телефонной сети, и использует префиксы, соответствующие кодам стран, городов, сетям поставщиков услуг и т. п., что упрощает маршрутизацию запросов установления соединения, как и при использовании агрегированных IP-адресов в соответствии с техникой CIDR.

Виртуальные соединения могут быть постоянными (Permanent Virtual Circuit, PVC) и коммутируемыми (Switched Virtual Circuit, SVC). Для ускорения коммутации в больших сетях используется понятие виртуального пути - Virtual Path, который объединяет виртуальные каналы, имеющие в сети АТМ общий маршрут между исходным и конечным узлами или общую часть маршрута между некоторыми двумя коммутаторами сети. Идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI) является старшей частью локального адреса и представляет собой общий префикс для некоторого количества различных виртуальных каналов. Таким образом, идея агрегирования адресов в технологии АТМ применена на двух уровнях - на уровне адресов конечных узлов (работает на стадии установления виртуального канала) и на уровне номеров виртуальных каналов (работает при передаче данных по имеющемуся виртуальному каналу).

Соединения конечной станции АТМ с коммутатором нижнего уровня определяются стандартом UNI (User Network Interface). Спецификация UNI определяет структуру пакета, адресацию станций, обмен управляющей информацией, уровни протокола АТМ, способы установления виртуального канала и способы управления трафиком. В настоящее время принята версия UNI 4.0, но наиболее распространенной версией, поддерживаемой производителями оборудования, является версия UNI 3.1.

Стандарт АТМ не вводит свои спецификации на реализацию физического уровня. Здесь он основывается на технологии SDH/SONET, принимая ее иерархию скоростей. В соответствии с этим начальная скорость доступа пользователя сети - это скорость OC-3 155 Мбит/с. Организация АТМ Forum определила для АТМ не все иерархии скоростей SDH, а только скорости OC-3 и OC-12 (622 Мбит/с). На скорости 155 Мбит/с можно использовать не только волоконно-оптический

кабель, но и незранированную витую пару категории 5. На скорости 622 Мбит/с допустим только волоконно-оптический кабель, причем как SMF, так и MMF.

Имеются и другие физические интерфейсы к сетям АТМ, отличные от SDH/ SONET. К ним относятся интерфейсы T1/E1 и T3/E3, распространенные в глобальных сетях, и интерфейсы локальных сетей - интерфейс с кодировкой 4В/5В со скоростью 100 Мбит/с (FDDI) и интерфейс со скоростью 25 Мбит/с, предложенный компанией IBM и утвержденный АТМ Forum. Кроме того, для скорости 155,52 Мбит/с определен так называемый «cell-based» физический уровень, то есть уровень, основанный на ячейках, а не на кадрах SDH/SONET. Этот вариант физического уровня не использует кадры SDH/SONET, а отправляет по каналу связи непосредственно ячейки формата АТМ, что сокращает накладные расходы на служебные данные, но несколько усложняет задачу синхронизации приемника с передатчиком на уровне ячеек.

Все перечисленные выше характеристики технологии АТМ не свидетельствуют о том, что это некая «особенная» технология, а скорее представляют ее как типичную технологию глобальных сетей, основанную на технике виртуальных каналов. Особенности же технологии АТМ лежат в области качественного обслуживания разнородного трафика и объясняются стремлением решить задачу совмещения в одних и тех же каналах связи и в одном и том же коммуникационном оборудовании компьютерного и мультимедийного трафика таким образом, чтобы каждый тип трафика получил требуемый уровень обслуживания и не рассматривался как «второстепенный».

Трафик вычислительных сетей имеет ярко выраженный асинхронный и пульсирующий характер. Компьютер посылает пакеты в сеть в случайные моменты времени, по мере возникновения в этом необходимости. При этом интенсивность посылки пакетов в сеть и их размер могут изменяться в широких пределах - например, коэффициент пульсаций трафика (отношения максимальной мгновенной интенсивности трафика к его средней интенсивности) протоколов без установления соединений может достигать до 200, а протоколов с установлением соединений - до 20. Чувствительность компьютерного трафика к потерям данных высокая, так как без утраченных данных обойтись нельзя и их необходимо восстановить за счет повторной передачи.

Мультимедийный трафик, передающий, например, голос или изображение, характеризуется низким коэффициентом пульсаций, высокой чувствительностью к задержкам передачи данных (отражающихся на качестве воспроизводимого непрерывного сигнала) и низкой чувствительностью к потерям данных (из-за инерционности физических процессов потерю отдельных замеров голоса или кадров изображения можно компенсировать сглаживанием на основе предыдущих и последующих значений).

Сложность совмещения компьютерного и мультимедийного трафика с диаметрально противоположными характеристиками хорошо видна на рис. 1.

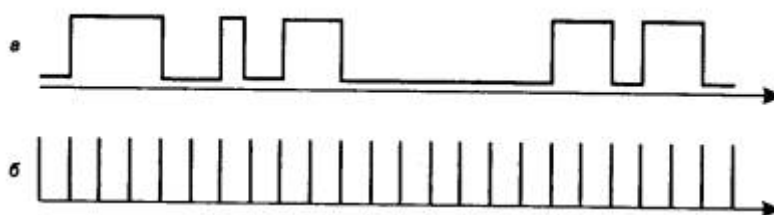


Рис. 1. Два типа трафика: а - компьютерный; б- мультимедийный

На возможности совмещения этих двух видов трафика большое влияние оказывает размер компьютерных пакетов. Если размер пакета может меняться в широком диапазоне (например, от 29 до 4500 байт, как в технологии FDDI), то даже при придании голосовым пакетам высшего приоритета обслуживания в коммутаторах время ожидания компьютерного пакета может оказаться недопустимо высоким. Например, пакет в 4500 байт будет передаваться в выходной порт на скорости 2 Мбит/с (максимальная скорость работы порта коммутатора frame relay) 18 мс. При совмещении трафика за это время необходимо через этот же порт передать 144 замера голоса. Прерывать передачу пакета в сетях нежелательно, так как при распределенном характере сети

накладные расходы на оповещение соседнего коммутатора о прерывании пакета, а потом - о возобновлении передачи пакета с прерванного места оказываются слишком большими.

Подход, реализованный в технологии АТМ, состоит в передаче любого вида трафика - компьютерного, телефонного или видео - пакетами фиксированной и очень маленькой длины в 53 байта. Пакеты АТМ называют ячейками - cell. Поле данных ячейки занимает 48 байт, а заголовок - 5 байт.

Чтобы пакеты содержали адрес узла назначения и в то же время процент служебной информации не превышал размер поля данных пакета, в технологии АТМ применен стандартный для глобальных вычислительных сетей прием - передача ячеек в соответствии с техникой виртуальных каналов с длиной номера виртуального канала в 24 бит, что вполне достаточно для обслуживания большого количества виртуальных соединений каждым портом коммутатора глобальной (может быть всемирной) сети АТМ.

Размер ячейки АТМ является результатом компромисса между телефонистами и компьютерщиками - первые настаивали на размере поля данных в 32 байта, а вторые - в 64 байта.

Чем меньше пакет, тем легче имитировать услуги каналов с постоянной битовой скоростью, которая характерна для телефонных сетей. Ясно, что при отказе от жестко синхронизированных временных слотов для каждого канала идеальной синхронности добиться будет невозможно, однако чем меньше размер пакета, тем легче этого достичь.

Для пакета, состоящего из 53 байт, при скорости в 155 Мбит/с время передачи кадра на выходной порт составляет менее 3 мкс. Так что эта задержка не очень существенна для трафика, пакеты которого должны передаваться каждые 125 мкс.

Однако на выбор размера ячейки большее влияние оказала не величина ожидания передачи ячейки, а задержка пакетизации. *Задержка пакетизации* - это время, в течение которого первый замер голоса ждет момента окончательного формирования пакета и отправки его по сети. При размере поля данных в 48 байт одна ячейка АТМ обычно переносит 48 замеров голоса, которые делаются с интервалом в 125 мкс. Поэтому первый замер должен ждать примерно 6 мс, прежде чем ячейка будет отправлена по сети. Именно по этой причине телефонисты боролись за уменьшения размера ячейки, так как 6 мс - это задержка, близкая к пределу, за которым начинаются нарушения качества передачи голоса. При выборе размера ячейки в 32 байта задержка пакетизации составила бы 4 мс, что гарантировало бы более качественную передачу голоса. А стремление компьютерных специалистов увеличить поле данных до 64 байт вполне понятно - при этом повышается полезная скорость передачи данных. Избыточность служебных данных при использовании 48-байтного поля данных составляет 10 %, а при использовании 32-байтного поля данных она сразу повышается до 16 %.

Выбор для передачи данных любого типа небольшой ячейки фиксированного размера еще не решает задачу совмещения разнородного трафика в одной сети, а только создает предпосылки для ее решения. Для полного решения этой задачи технология АТМ привлекает и развивает идеи *заказа пропускной способности и качества обслуживания*, реализованные в технологии frame relay. Но если сеть frame relay изначально была предназначена для передачи только пульсирующего компьютерного трафика (в связи с этим для сетей frame relay так трудно дается стандартизация передачи голоса), то разработчики технологии АТМ проанализировали всевозможные образцы трафика, создаваемые различными приложениями, и выделили 4 основных класса трафика, для которых разработали различные механизмы резервирования и поддержания требуемого качества обслуживания.

Класс трафика (называемый также классом услуг - service class) качественно характеризует требуемые услуги по передаче данных через сеть АТМ. Если приложение указывает сети, что требуется, например, передача голосового трафика, то из этого становится ясно, что особенно важными для пользователя будут такие показатели качества обслуживания, как задержки и вариации задержек ячеек, существенно влияющие на качество переданной информации - голоса или изображения, а потеря отдельной ячейки с несколькими замерами не так уж важна, так как, например, воспроизводящее голос устройство может аппроксимировать недостающие замеры и качество пострадает не слишком. Требования к синхронности передаваемых данных очень важны

для многих приложений - не только голоса, но и видеоизображения, и наличие этих требований стало первым критерием для деления трафика на классы.

Другим важным параметром трафика, существенно влияющим на способ его передачи через сеть, является величина его пульсаций. Разработчики технологии ATM решили выделить два различных типа трафика в отношении этого параметра - трафик с постоянной битовой скоростью (Constant Bit Rate, CBR) и трафик с переменной битовой скоростью (Variable Bit Rate, VBR).

К разным классам были отнесены трафики, порождаемые приложениями, использующими для обмена сообщениями протоколы с установлением соединений и без установления соединений. В первом случае данные передаются самим приложением достаточно надежно, как это обычно делают протоколы с установлением соединения, поэтому от сети ATM высокой надежности передачи не требуется. А во втором случае приложение работает без установления соединения и восстановлением потерянных и искаженных данных не занимается, что предъявляет повышенные требования к надежности передачи ячеек сетью ATM.

В результате было определено пять классов трафика, отличающихся следующими качественными характеристиками:

- наличием или отсутствием пульсации трафика, то есть трафики CBR или VBR;
- требованием к синхронизации данных между передающей и принимающей сторонами;
- типом протокола, передающего свои данные через сеть ATM, - с установлением соединения или без установления соединения (только для случая передачи компьютерных данных). Основные характеристики классов трафика ATM приведены в табл. 1.

Таблица 1. Классы трафика ATM

Класс трафика	Характеристика
A	Постоянная битовая скорость — Constant Bit Rate, CBR. Требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. С установлением соединения. Примеры: голосовой трафик, трафик телевизионного изображения
B	Переменная битовая скорость — Variable Bit Rate, VBR. Требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. С установлением соединения. Примеры: компрессированный голос, компрессированное видеоизображение
C	Переменная битовая скорость — Variable Bit Rate, VBR. Не требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. С установлением соединения. Примеры: трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам с установлением соединений: frame relay, X.25, LLC2, TCP
D	Переменная битовая скорость — Variable Bit Rate, VBR. Не требуются временные соотношения между передаваемыми и принимаемыми данными. Без установления соединения. Примеры: трафик компьютерных сетей, в которых конечные узлы работают по протоколам без установления соединений (IP, Ethernet, DNS, SNMP)
X	Тип трафика и его параметры определяются пользователем

Очевидно, что только качественных характеристик, задаваемых классом трафика, для описания требуемых услуг оказывается недостаточно. В технологии ATM для каждого класса трафика определен набор количественных параметров, которые приложение должно задать. Например, для трафика класса A необходимо указать постоянную скорость, с которой приложение будет посылать данные в сеть, а для трафика класса B - максимально возможную скорость, среднюю скорость и максимально возможную пульсацию. Для голосового трафика можно не только указать на важность синхронизации между передатчиком и приемником, но и количественно задать верхние границы задержки и вариации задержки ячеек.

В технологии ATM поддерживается следующий набор основных количественных параметров:

- Peak Cell Rate (PCR) - максимальная скорость передачи данных;

- Sustained Cell Rate (SCR) - средняя скорость передачи данных;
- Minimum Cell Rate (MCR) - минимальная скорость передачи данных;
- Maximum Burst Size (MBS) - максимальный размер пульсации;
- Cell Loss Ratio (CLR) - доля потерянных ячеек;
- Cell Transfer Delay (CTD) - задержка передачи ячеек;
- Cell Delay Variation (CDV) - вариация задержки ячеек.

Параметры скорости измеряются в ячейках в секунду, максимальный размер пульсации - в ячейках, а временные параметры - в секундах. Максимальный размер пульсации задает количество ячеек, которое приложение может передать с максимальной скоростью PCR, если задана средняя скорость. Доля потерянных ячеек является отношением потерянных ячеек к общему количеству отправленных ячеек по данному виртуальному соединению. Так как виртуальные соединения являются дуплексными, то для каждого направления соединения могут быть заданы разные значения параметров.

В технологии ATM принят не совсем традиционный подход к трактовке термина «качество обслуживания» - QoS. Обычно качество обслуживания трафика характеризуется параметрами пропускной способности (здесь это RCR, SCR, MCR, MBS), параметрами задержек пакетов (CTD и CDV), а также параметрами надежности передачи пакетов (CLR). В ATM характеристики пропускной способности называют *параметрами трафика* и не включают их в число параметров качества обслуживания QoS, хотя по существу они таковыми являются. Параметрами QoS в ATM являются только параметры CTD, CDV и CLR. Сеть старается обеспечить такой уровень услуг, чтобы поддерживались требуемые значения и параметров трафика, и задержек ячеек, и доли потерянных ячеек.

Соглашение между приложением и сетью ATM называется трафик - контрактом. Основным его отличием от соглашений, применяемых в сетях frame relay, является выбор одного из нескольких определенных классов трафика, для которого наряду с параметрами пропускной способности трафика могут указываться параметры задержек ячеек, а также параметр надежности доставки ячеек. В сети frame relay класс трафика один, и он характеризуется только параметрами пропускной способности.

Необходимо подчеркнуть, что задание только параметров трафика (вместе с параметрами QoS) часто не полностью характеризует требуемую услугу, поэтому задание класса трафика полезно для уточнения нужного характера обслуживания данного соединения сетью.

В некоторых случаях специфика приложения такова, что ее график не может быть отнесен к одному из четырех стандартных классов. Поэтому для этого случая введен еще один класс X, который не имеет никаких дополнительных описаний, а полностью определяется теми количественными параметрами трафика и QoS, которые оговариваются в трафик - контракте.

Если для приложения не критично поддержание параметров пропускной способности и QoS, то оно может отказаться от задания этих параметров, указав признак «Best Effort» в запросе на установление соединения. Такой тип трафика получил название трафика с неопределенной битовой скоростью - Unspecified Bit Rate, UBR.

После заключения трафик - контракта, который относится к определенному виртуальному соединению, в сети ATM работает несколько протоколов и служб, обеспечивающих нужное качество обслуживания. Для трафика UBR сеть выделяет ресурсы «по возможности», то есть те, которые в данный момент свободны от использования виртуальными соединениями, заказавшими определенные параметры качества обслуживания.

Технология ATM изначально разрабатывалась для поддержки как постоянных, так и коммутируемых виртуальных каналов (в отличие от технологии frame relay, долгое время не поддерживающей коммутируемые виртуальные каналы). Автоматическое заключение трафик-контракта при установлении коммутируемого виртуального соединения представляет собой весьма непростую задачу, так как коммутаторам ATM необходимо определить, смогут ли они в дальнейшем обеспечить передачу трафика данного виртуального канала наряду с трафиком других виртуальных каналов таким образом, чтобы выполнялись требования качества обслуживания каждого канала.

Стек протоколов ATM

Стек протоколов ATM показан на рис 2, а распределение протоколов по конечным узлам и коммутаторам ATM - на рис. 2.

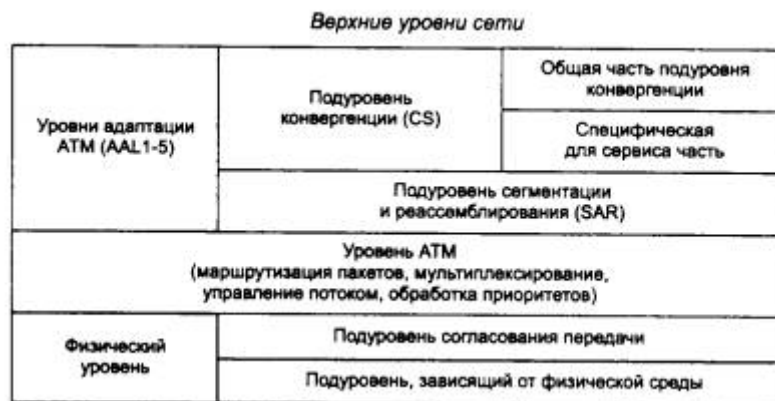


Рис. 2. Структура стека протоколов ATM

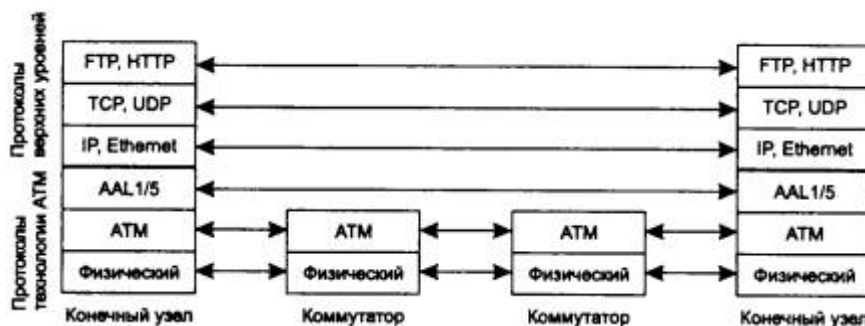


Рис. 3. Распределение протоколов по узлам и коммутаторам сети ATM

Стек протоколов ATM соответствует нижним уровням семиуровневой модели ISO/OSI и включает уровень адаптации ATM, собственно уровень ATM и физический уровень. Прямого соответствия между уровнями протоколов технологии ATM и уровнями модели OSI нет.

Уровень адаптации AAL

Уровень адаптации (ATM Adaptation Layer, AAL) представляет собой набор протоколов AAL1-AAL5, которые преобразуют сообщения протоколов верхних уровней сети ATM в ячейки ATM нужного формата. Функции этих уровней достаточно условно соответствуют функциям транспортного уровня модели OSI, например функциям протоколов TCP или UDP. Протоколы AAL при передаче пользовательского трафика работают только в конечных узлах сети (см. рис. 6.31), как и транспортные протоколы большинства технологий.

Каждый протокол уровня AAL обрабатывает пользовательский трафик определенного класса. На начальных этапах стандартизации каждому классу трафика соответствовал свой протокол AAL, который принимал в конечном узле пакеты от протокола верхнего уровня и заказывал с помощью соответствующего протокола нужные параметры трафика и качества обслуживания для данного виртуального канала. При развитии стандартов ATM такое однозначное соответствие между классами трафика и протоколами уровня AAL исчезло, и сегодня разрешается использовать для одного и того же класса трафика различные протоколы уровня AAL.

Уровень адаптации состоит из нескольких подуровней. Нижний подуровень AAL называется подуровнем сегментации и реассемблирования (Segmentation And Reassembly, SAR). Эта часть не зависит от типа протокола AAL (и, соответственно, от класса передаваемого трафика) и занимается разбиением (сегментацией) сообщения, принимаемого AAL от протокола верхнего

уровня, на ячейки АТМ, снабжением их соответствующим заголовком и передачей уровню АТМ для отправки в сеть.

Верхний подуровень ААЛ называется подуровнем конвергенции - Convergence Sublayer, CS. Этот подуровень зависит от класса передаваемого трафика. Протокол подуровня конвергенции решает такие задачи, как, например, обеспечение временной синхронизации между передающим и принимающим узлами (для трафика, требующего такой синхронизации), контролем и возможным восстановлением битовых ошибок в пользовательской информации, контролем целостности передаваемого пакета компьютерного протокола (X.25, frame relay).

Протоколы ААЛ для выполнения своей работы используют служебную информацию, размещаемую в заголовках уровня ААЛ. После приема ячеек, пришедших по виртуальному каналу, подуровень SAR протокола ААЛ собирает посланное по сети исходное сообщение (которое в общем случае было разбито на несколько ячеек АТМ) с помощью заголовков ААЛ, которые для коммутаторов АТМ являются прозрачными, так как помещаются в 48-битном поле данных ячейки, как и полагается протоколу более высокого уровня. После сборки исходного сообщения протокол ААЛ проверяет служебные поля заголовка и концевика кадра ААЛ и на их основании принимает решение о корректности полученной информации.

Ни один из протоколов ААЛ при передаче пользовательских данных конечных узлов не занимается восстановлением потерянных или искаженных данных. Максимум, что делает протокол ААЛ, - это уведомляет конечный узел о таком событии. Так сделано для ускорения работы коммутаторов сети АТМ в расчете на то, что случаи потерь или искажения данных будут редкими. Восстановление потерянных данных (или игнорирование этого события) отводится протоколам верхних уровней, не входящим в стек протоколов технологии АТМ.

Протокол ААЛ1 обычно обслуживает трафик класса А с постоянной битовой скоростью (Constant Bit Rate, CBR), который характерен, например, для цифрового видео и цифровой речи и чувствителен к временным задержкам. Этот трафик передается в сетях АТМ таким образом, чтобы эмулировать обычные выделенные цифровые линии. Заголовок ААЛ1 занимает в поле данных ячейки АТМ 1 или 2 байта, оставляя для передачи пользовательских данных соответственно 47 или 46 байт. В заголовке один байт отводится для нумерации ячеек, чтобы приемная сторона могла судить о том, все ли посланные ячейки дошли до нее или нет. При отправке голосового трафика временная отметка каждого замера известна, так как они следуют друг за другом с интервалом в 125 мкс, поэтому при потере ячейки можно скорректировать временную привязку байт следующей ячейки, сдвинув ее на 125x46 мкс. Потеря нескольких байт замеров голоса не так страшна, так как на приемной стороне воспроизводящее оборудование сглаживает сигнал. В задачи протокола ААЛ1 входит сглаживание неравномерности поступления ячеек данных в узел назначения.

Протокол ААЛ2 был разработан для передачи трафика класса В, но при развитии стандартов он был исключен из стека протоколов АТМ, и сегодня трафик класса В передается с помощью протокола ААЛ1, ААЛ3/4 или ААЛ5.

Протокол ААЛ3/4 обрабатывает пульсирующий трафик - обычно характерный для трафика локальных сетей - с переменной битовой скоростью (Variable Bit Rate, VBR). Этот трафик обрабатывается так, чтобы не допустить потерь ячеек, но ячейки могут задерживаться коммутатором. Протокол ААЛ3/4 выполняет сложную процедуру контроля ошибок при передаче ячеек, нумеруя каждую составляющую часть исходного сообщения и снабжая каждую ячейку контрольной суммой. Правда, при искажениях или потерях ячеек уровень не занимается их восстановлением, а просто отбрасывает все сообщение - то есть все оставшиеся ячейки, так как для компьютерного трафика или компрессированного голоса потеря части данных является фатальной ошибкой. Протокол ААЛ3/4 образовался в результате слияния протоколов ААЛ3 и ААЛ4, которые обеспечивали поддержку трафика компьютерных сетей соответственно с установлением соединения и без установления соединения. Однако ввиду большой близости используемых форматов служебных заголовков и логики работы протоколы ААЛ3 и ААЛ4 были впоследствии объединены.

Протокол ААЛ5 является упрощенным вариантом протокола ААЛ4 и работает быстрее, так как вычисляет контрольную сумму не для каждой ячейки сообщения, а для всего исходного

сообщения в целом и помещает ее в последнюю ячейку сообщения. Первоначально протокол AAL5 разрабатывался для передачи кадров сетей frame relay, но теперь он чаще всего используется для передачи любого компьютерного трафика. Протокол AAL5 может поддерживать различные параметры качества обслуживания, кроме тех, которые связаны с синхронизацией передающей и принимающей сторон. Поэтому он обычно используется для поддержки всех классов трафика, относящегося к передаче компьютерных данных, то есть классов C и D. Некоторые производители оборудования с помощью протокола AAL5 обслуживают трафик CBR, оставляя задачу синхронизации трафика протоколам верхнего уровня.

Протокол AAL5 работает не только в конечных узлах, но и в коммутаторах сети ATM. Однако там он выполняет служебные функции, не связанные с передачей пользовательских данных. В коммутаторах ATM, протокол AAL5 поддерживает служебные протоколы более высоких уровней, занимающиеся установлением коммутируемых виртуальных соединений.

Существует определенный интерфейс между приложением, которому требуется передать трафик через сеть ATM, и уровнем адаптации AAL. С помощью этого интерфейса приложение (протокол компьютерной сети, модуль оцифровывания голоса) заказывает требуемую услугу, определяя тип трафика, его параметры, а также параметры QoS. Технология ATM допускает два варианта определения параметров QoS: первый - непосредственное задание их каждым приложением, второй - назначение их по умолчанию в зависимости от типа трафика. Последний способ упрощает задачу разработчика приложения, так как в этом случае выбор максимальных значений задержки доставки ячеек и вариации задержек перекладывается на плечи администратора сети.

Самостоятельно обеспечить требуемые параметры трафика и QoS протоколы AAL не могут. Для выполнения соглашений трафик - контракта требуется согласованная работа коммутаторов сети вдоль всего виртуального соединения. Эта работа выполняется протоколом ATM, обеспечивающим передачу ячеек различных виртуальных соединений с заданным уровнем качества обслуживания.

Протокол ATM

Протокол ATM занимает в стеке протоколов ATM примерно то же место, что протокол IP в стеке TCP/IP или протокол LAP-F в стеке протоколов технологии frame relay. Протокол ATM занимается передачей ячеек через коммутаторы при установленном и настроенном виртуальном соединении, то есть на основании готовых таблиц коммутации портов. Протокол ATM выполняет коммутацию по номеру виртуального соединения, который в технологии ATM разбит на две части - *идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI)* и *идентификатор виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI)*. Кроме этой основной задачи протокол ATM выполняет ряд функций по контролю за соблюдением трафик - контракта со стороны пользователя сети, маркировке ячеек-нарушителей, отбрасыванию ячеек-нарушителей при перегрузке сети, а также управлению потоком ячеек для повышения производительности сети (естественно, при соблюдении условий трафик - контракта для всех виртуальных соединений).

Протокол ATM работает с ячейками следующего формата, представленного на рис. 4.

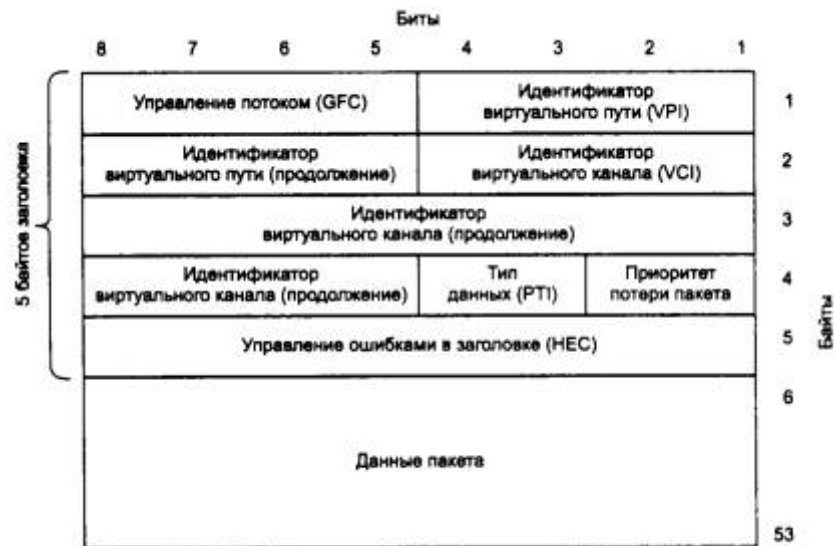


Рис. 4. Формат ячейки ATM

Поле *Управление потоком (Generic Flow Control)* используется только при взаимодействии конечного узла и первого коммутатора сети. В настоящее время его точные функции не определены.

Поля *Идентификатор виртуального пути (Virtual Path Identifier, VPI)* и *Идентификатор виртуального канала (Virtual Channel Identifier, VCI)* занимают соответственно 1 и 2 байта. Эти поля задают номер виртуального соединения, разделенный на старшую (VPI) и младшую (VCI) части.

Поле *Идентификатор типа данных (Payload Type Identifier, PTI)* состоит из 3-х бит и задает тип данных, переносимых ячейкой, - пользовательские или управляющие (например, управляющие установлением виртуального соединения). Кроме того, один бит этого поля используется для указания перегрузки в сети - он называется Explicit Congestion Forward Identifier, EFCI - и играет ту же роль, что бит FECN в технологии frame relay, то есть передает информацию о перегрузке по направлению потока данных.

Поле *Приоритет потери кадра (Cell Loss Priority, CLP)* играет в данной технологии ту же роль, что и поле DE в технологии frame relay - в нем коммутаторы ATM отмечают ячейки, которые нарушают соглашения о параметрах качества обслуживания, чтобы удалить их при перегрузках сети. Таким образом, ячейки с CLP=0 являются для сети высокоприоритетными, а ячейки с CLP=1 - низкоприоритетными.

Поле *Управление ошибками в заголовке (Header Error Control, HEC)* содержит контрольную сумму, вычисленную для заголовка ячейки. Контрольная сумма вычисляется с помощью техники корректирующих кодов Хэмминга, поэтому она позволяет не только обнаруживать ошибки, но и исправлять все одиночные ошибки, а также некоторые двойные. Поле HEC обеспечивает не только обнаружение и исправление ошибок в заголовке, но и нахождение границы начала кадра в потоке байтов кадров SDH, которые являются предпочтительным физическим уровнем технологии ATM, или же в потоке бит физического уровня, основанного на ячейках. Указателей, позволяющих в поле данных кадра STS-n (STM-n) технологии SONET/SDH обнаруживать границы ячеек ATM (подобных тем указателям, которые используются для определения, например, границ виртуальных контейнеров подканалов T1/E1), не существует. Поэтому коммутатор ATM вычисляет контрольную сумму для последовательности из 5 байт, находящихся в поле данных кадра STM-n, и, если вычисленная контрольная сумма говорит о корректности заголовка ячейки ATM, первый байт становится границей ячейки. Если же это не так, то происходит сдвиг на один байт и операция продолжается. Таким образом, технология ATM выделяет асинхронный поток ячеек ATM в синхронных кадрах SDH или потоке бит физического уровня, основанного на ячейках.

Рассмотрим методы коммутации ячеек ATM на основе пары чисел VPI/VCI. Коммутаторы ATM могут работать в двух режимах - коммутации виртуального пути и коммутации виртуального канала. В первом режиме коммутатор выполняет продвижение ячейки только на

основании значения поля VPI, а значение поля VCI он игнорирует. Обычно так работают магистральные коммутаторы территориальных сетей. Они доставляют ячейки из одной сети пользователя в другую на основании только старшей части номера виртуального канала, что соответствует идее агрегирования адресов. В результате один виртуальный путь соответствует целому набору виртуальных каналов, коммутируемых как единое целое.

После доставки ячейки в локальную сеть ATM ее коммутаторы начинают коммутировать ячейки с учетом как VPI, так и VCI, но при этом им хватает для коммутации только младшей части номера виртуального соединения, так что фактически они работают с VCI, оставляя VPI без изменения. Последний режим называется режимом коммутации виртуального канала.

Для создания коммутируемого виртуального канала в технологии ATM используются протоколы, не показанные на рис. 6.30. Подход здесь аналогичен подходу в сети ISDN - для установления соединения разработан отдельный протокол Q.2931, который весьма условно можно отнести к сетевому уровню. Этот протокол во многом похож на протоколы Q.931 и Q.933 (даже номером), но в него внесены, естественно, изменения, связанные с наличием нескольких классов трафика и дополнительных параметров качества обслуживания. Протокол Q.2931 опирается на достаточно сложный протокол канального уровня SSCOP, который обеспечивает надежную передачу пакетов Q.2931 в своих кадрах. В свою очередь, протокол SSCOP работает поверх протокола AAL5, который необходим для разбиения кадров SSCOP на ячейки ATM и сборки этих ячеек в кадры при доставке кадра SSCOP в коммутатор назначения.

Виртуальные соединения, образованные с помощью протокола Q.2931, бывают симплексными (однаправленными) и дуплексными.

Протокол Q.2931 позволяет также устанавливать виртуальные соединения типа «один-к-одному» (point-to-point) и «один-ко-многим» (point-to-multipoint). Первый случай поддерживается во всех технологиях, основанных на виртуальных каналах, а второй характерен для технологии ATM и является аналогом мультивещания, но с одним ведущим вещающим узлом. При установлении соединения «один-ко-многим» ведущим считается узел, который является инициатором этого соединения. Сначала этот узел устанавливает виртуальное соединение всего с одним узлом, а затем добавляет к соединению с помощью специального вызова по одному новому члену. Ведущий узел становится вершиной дерева соединения, а остальные узлы - листьями этого дерева. Сообщения, которые посылает ведущий узел, принимают все листья соединения, но сообщения, которые посылает какой-либо лист (если соединение дуплексное), принимает только ведущий узел.

Пакеты протокола Q.2931, предназначенные для установления коммутируемого виртуального канала, имеют те же названия и назначение, что и пакеты протокола Q.933, рассмотренные выше при изучении технологии frame relay, но структура их полей, естественно, другая.

Адресом конечного узла в коммутаторах ATM является 20-байтный адрес. Этот адрес может иметь различный формат, описываемый стандартом ISO 7498. При работе в публичных сетях используется адрес стандарта E.164, при этом 1 байт составляет AFI, 8 байт занимает IDI - основная часть адреса E.164 (15 цифр телефонного номера), а остальные 11 байт части DSP (Domain Specific Part) распределяются следующим образом.

- 4 байта занимает поле старшей части DSP - High-Order Domain Specific Part (HO-DSP), имеющее гибкий формат и, в сущности, представляющее собой номер сети ATM, который может делиться на части для агрегированной маршрутизации по протоколу PNNI, подобной той, которая используется в технике CIDR для сетей IP.

- 6 байт занимает поле идентификатора конечной системы - End System Identifier (ESI), которое имеет смысл MAC - адреса узла ATM, причем формат его также соответствует формату MAC - адресов IEEE.

- 1 байт составляет поле селектора, которое не используется при установлении виртуального канала, а имеет для узла локальное назначение.

При работе в частных сетях ATM обычно применяется формат адреса, соответствующий домену международных организаций, причем в качестве международной организации выступает ATM Forum. В этом случае поле IDI занимает 2 байта, которые содержат код ATM Forum, данный

ISO, а структура остальной части DSP соответствует описанной выше за исключением того, что поле HO-DSP занимает не 4, а 10 байт.

Адрес ESI присваивается конечному узлу на предприятии-изготовителе в соответствии с правилами IEEE, то есть 3 первых байта содержат код предприятия, а остальные три байта - порядковый номер, за уникальность которого отвечает данное предприятие.

Конечный узел при подключении к коммутатору ATM выполняет так называемую процедуру регистрации. При этом конечный узел сообщает коммутатору свой ESI - адрес, а коммутатор сообщает конечному узлу старшую часть адреса, то есть номер сети, в которой работает узел.

Кроме адресной части пакет CALL SETUP протокола Q.2931, с помощью которого конечный узел запрашивает установление виртуального соединения, включает также части, описывающие параметры трафика и требования QoS. При поступлении такого пакета коммутатор должен проанализировать эти параметры и решить, достаточно ли у него свободных ресурсов производительности для обслуживания нового виртуального соединения. Если да, то новое виртуальное соединение принимается и коммутатор передает пакет CALL SETUP дальше в соответствии с адресом назначения и таблицей маршрутизации, а если нет, то запрос отвергается.

Категории услуг протокола ATM и управление трафиком

Для поддержания требуемого качества обслуживания различных виртуальных соединений и рационального использования ресурсов в сети на уровне протокола ATM реализовано несколько служб, предоставляющих услуги различных категорий (service categories) по обслуживанию пользовательского трафика. Эти службы являются внутренними службами сети ATM, они предназначены для поддержания пользовательского трафика различных классов совместно с протоколами AAL. Но в отличие от протоколов AAL, которые работают в конечных узлах сети, данные службы распределены по всем коммутаторам сети. Услуги этих служб разбиты на категории, которые в общем соответствуют классам трафика, поступающим на вход уровня AAL конечного узла. Услуги уровня ATM заказываются конечным узлом через интерфейс UNI с помощью протокола Q.2931 при установлении виртуального соединения. Как и при обращении к уровню AAL, при заказе услуги необходимо указать категорию услуги, а также параметры трафика и параметры QoS. Эти параметры берутся из аналогичных параметров уровня AAL или же определяются по умолчанию в зависимости от категории услуги.

Всего на уровне протокола ATM определено пять категорий услуг, которые поддерживаются одноименными службами:

- CBR - услуги для трафика с постоянной битовой скоростью;
- rtVBR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника;
- nrtVBR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения средней скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;
- ABR - услуги для трафика с переменной битовой скоростью, требующего соблюдения некоторой минимальной скорости передачи данных и не требующего синхронизации источника и приемника;
- UBR - услуги для трафика, не предъявляющего требований к скорости передачи данных и синхронизации источника и приемника.

Названия большинства категорий услуг совпадают с названием типов пользовательского трафика, для обслуживания которого они разработаны, но необходимо понимать, что сами службы уровня ATM и их услуги - это внутренние механизмы сети ATM, которые экранируются от приложения уровнем AAL.

Услуги категории CBR предназначены для поддержания трафика синхронных приложений - голосового, эмуляции цифровых выделенных каналов и т. п. Когда приложение устанавливает соединение категории CBR, оно заказывает пиковую скорость трафика ячеек PCR, являющуюся максимальной скоростью, которую может поддерживать соединение без риска потерять ячейку, а также параметры QoS: величины максимальной задержки ячеек CTD, вариации задержки ячеек CDV и максимальной доли потерянных ячеек CLR.

Затем данные передаются по этому соединению с запрошенной скоростью - не с большей и, в большинстве случаев, не меньшей, хотя уменьшение скорости приложением возможно, например, при передаче компрессированного голоса с помощью услуги категории CBR. Любые ячейки, передаваемые станцией с большей скоростью, контролируются первым коммутатором сети и помечаются признаком CLP=1. При перегрузках сети они могут просто отбрасываться сетью. Ячейки, которые запаздывают и не укладываются в интервал, оговоренный параметром вариации задержки CDV, также считаются мало значащими для приложения и отмечаются признаком низкого приоритета CLP=1.

Для соединений CBR нет ограничений на некоторую дискретность заказа скорости PCR, как, например, в каналах T1/E1, где скорость должна быть кратна 64 Кбит/с.

По сравнению со службой CBR, службы VBR требуют более сложной процедуры заказа соединения между сетью и приложением. В дополнение к пиковой скорости PCR приложение VBR заказывает еще и два других параметра: длительно поддерживаемую скорость - SCR, которая представляет собой среднюю скорость передачи данных, разрешенную приложению, а также максимальный размер пульсации - MBS, Максимальный размер пульсации измеряется в количестве ячеек ATM. Пользователь может превышать скорость вплоть до величины PCR, но только на короткие периоды времени, в течение которых передается объем данных, не превышающий MBS. Этот период времени называется Burst Tolerance, BT - терпимость к пульсации. Сеть вычисляет этот период как производный от трех заданных значений PCR, SCR и MBS.

Если скорость PCR наблюдается в течение периода времени, большего чем BT, то ячейки помечаются как нарушители - устанавливается признак CLP=1.

Для услуг категории rtVBR задаются и контролируются те же параметры QoS, что и для услуг категории CBR, а услуги категории nrtVBR ограничиваются поддержанием параметров трафика. Сеть также поддерживает для обеих категорий услуг VBR определенный максимальный уровень доли потерянных ячеек CLR, который либо задается явно при установлении соединения, либо назначается по умолчанию в зависимости от класса трафика.

Для контроля параметров трафика и QoS в технологии ATM применяется так называемый обобщенный алгоритм контроля скорости ячеек - Generic Cell Rate Algorithm, который может проверять соблюдение пользователем и сетью таких параметров, как PCR, CDV, SCR, BT, CTD и CDV. Он работает по модифицированному алгоритму «дырявого ведра», применяемому в технологии frame relay.

Для многих приложений, которые могут быть чрезвычайно «взрывными» в отношении интенсивности трафика, невозможно точно предсказать параметры трафика, оговариваемые при установлении соединения. Например, обработка транзакций или трафик двух взаимодействующих локальных сетей непредсказуемы по своей природе - изменения интенсивности трафика слишком велики, чтобы заключить с сетью какое-либо разумное соглашение.

В отличие от CBR и обеих служб VBR, служба UBR не поддерживает ни параметры трафика, ни параметры качества обслуживания. Служба UBR предлагает только доставку «по возможности» без каких-либо гарантий. Разработанная специально для обеспечения возможности превышения полосы пропускания, служба UBR представляет собой частичное решение для тех непредсказуемых «взрывных» приложений, которые не готовы согласиться с фиксацией параметров трафика.

Главными недостатками услуг UBR являются отсутствие управления потоком данных и неспособность принимать во внимание другие типы трафика. Несмотря на перегрузку сети, соединения UBR будут продолжать передачу данных. Коммутаторы сети могут буферизовать некоторые ячейки поступающего трафика, но в некоторый момент буферы переполняются, и ячейки теряются. А так как для соединений UBR не оговаривается никаких параметров трафика и QoS, то их ячейки отбрасываются в первую очередь.

Служба ABR подобно службе UBR предоставляет возможность превышения полосы пропускания, но благодаря технике управления трафиком при перегрузке сети она дает некоторые гарантии сохранности ячеек. ABR - это первый тип служб уровня ATM, который действительно обеспечивает надежный транспорт для пульсирующего трафика за счет того, что может находить неиспользуемые интервалы в общем трафике сети и заполнять их своими ячейками, если другим категориям служб эти интервалы не нужны.

Как и в службах CBR и VBR, при установлении соединения категории ABR оговаривается значение пиковой скорости PCR. Однако соглашение о пределах изменения задержки передачи ячеек или о параметрах пульсации не заключается.

Вместо этого сеть и конечный узел заключают соглашение о требуемой минимальной скорости передачи MCR. Это гарантирует приложению, работающему в конечном узле, небольшую пропускную способность, обычно минимально необходимую для того, чтобы приложение работало. Конечный узел соглашается не передавать данные со скоростью, выше пиковой, то есть PCR, а сеть соглашается всегда обеспечивать минимальную скорость передачи ячеек MCR.

Если при установлении соединения ABR не задаются значения максимальной и минимальной скорости, то по умолчанию считается, что PCR совпадает со скоростью линии доступа станции к сети, а MCR считается равной нулю.

Трафик соединения категории ABR получает гарантированное качество услуг в отношении доли потерянных ячеек и пропускной способности. Что касается задержек передачи ячеек, то хотя сеть и старается свести их к минимуму, но гарантий по этому параметру не дает. Следовательно, служба ABR не предназначена для приложений реального времени, а предназначена для приложений, в которых поток данных не очень чувствителен к задержкам в передаче.

При передаче трафика CBR, VBR и UBR явное управление перегрузками в сети отсутствует. Вместо этого используется механизм отбрасывания ячеек-нарушителей, а узлы, пользующиеся услугами CBR и VBR, стараются не нарушать условия контракта под угрозой потери ячеек, поэтому они обычно не пользуются дополнительной пропускной способностью, даже если она в данный момент доступна в сети.

Служба ABR позволяет воспользоваться резервами пропускной способности сети, так как сообщает конечному узлу о наличии в данный момент избыточной пропускной способности с помощью механизма обратной связи. Этот же механизм может помочь службе ABR снизить скорость передачи данных конечным узлом в сеть (вплоть до минимального значения MCR), если сеть испытывает перегрузку.

Узел, пользующийся услугами ABR, должен периодически посылать в сеть наряду с ячейками данных специальные служебные ячейки управления ресурсами - Resource Management, RM. Ячейки RM, которые узел отправляет вдоль потока данных, называются прямыми ячейками RM - Forward Resource Management (FRM), а ячейки, которые идут в обратном по отношению к потоку данных направлении, называются обратными ячейками RM - Backward Resource Management (BRM).

Существует несколько петель обратной связи. Самая простая петля обратной связи - между конечными станциями. При ее наличии коммутатор сети извещает конечную станцию о перегрузке с помощью специального флага в поле прямого управления перегрузками (флаг EFCI) ячейки данных, переносимой протоколом ATM. Затем конечная станция посылает через сеть сообщение, содержащееся в специальной ячейке управления BRM исходной станции, говоря ей о необходимости уменьшить скорость посылки ячеек в сеть.

В этом способе конечная станция несет основную ответственность за управление потоком, а коммутаторы играют пассивную роль в петле обратной связи, только уведомляя станцию - отправитель о перегрузке.

Такой простой способ имеет несколько очевидных недостатков. Конечная станция не узнает из сообщения BRM, на какую величину нужно уменьшить скорость передачи данных в сеть. Поэтому она просто понизит скорость до минимальной величины MCR, хотя, возможно, это и не обязательно. Кроме того, при большой протяженности сети коммутаторы должны продолжать буферизовать данные все время, пока уведомление о перегрузке будет путешествовать по сети, а для глобальных сетей это время может быть достаточно большим, и буферы могут переполниться, так что требуемый эффект достигнут не будет.

Разработаны и более сложные схемы управления потоком, в которых коммутаторы играют более активную роль, а узел-отправитель узнает более точно о возможной в данный момент скорости отправки данных в сеть.

В первой схеме узел-источник посылает в ячейке FRM явное значение скорости передачи данных в сеть, которую он хотел бы поддерживать в данное время. Каждый коммутатор, через который проходит по виртуальному пути это сообщение, может уменьшить запрашиваемую

скорость до некоторой величины, которую он может поддерживать в соответствии с имеющимися у него свободными ресурсами (или оставить запрашиваемую скорость без изменения). Узел назначения, получив ячейку FRM, превращает ее в ячейку BRM и отправляет в обратном направлении, причем он тоже может уменьшить запрашиваемую скорость. Получив ответ в ячейке BRM, узел-источник точно узнает, какая скорость отправки ячеек в сеть для него в данный момент доступна.

Во второй схеме каждый коммутатор сети может работать как узел-источник и узел назначения. Как узел-источник он может сам генерировать ячейки FRM и отправлять их по имеющимся виртуальным каналам. Как узел назначения он может отправлять на основе получаемых ячеек FRM ячейки BRM в обратном направлении. Такая схема является более быстродействующей и полезной в протяженных территориальных сетях.

Как видно из описания, служба ABR предназначена не только для прямого поддержания требований к обслуживанию конкретного виртуального соединения, но и для более рационального распределения ресурсов сети между ее абонентами, что в конечном итоге также приводит к повышению качества обслуживания всех абонентов сети.

Коммутаторы сети ATM используют различные механизмы для поддержания требуемого качества услуг. Кроме описанных в стандартах ITU-T и ATM Forum механизмов заключения соглашения на основе параметров трафика и параметров QoS, а затем отбрасывания ячеек, не удовлетворяющих условиям соглашения, практически все производители оборудования ATM реализуют в своих коммутаторах несколько очередей ячеек, обслуживаемых с различными приоритетами.

Стратегия приоритетного обслуживания трафика основана на категориях услуг каждого виртуального соединения. До принятия спецификации ABR в большинстве коммутаторов ATM была реализована простая одноуровневая схема обслуживания, которая давала трафику CBR первый приоритет, трафику VBR второй, а трафику UBR - третий. При такой схеме комбинация CBR и VBR может потенциально заморозить трафик, обслуживаемый другим классом служб. Такая схема не будет правильно работать с трафиком ABR, так как не обеспечит его требования к минимальной скорости передачи ячеек. Для обеспечения этого требования должна быть выделена некоторая гарантированная полоса пропускания.

Чтобы поддерживать службу ABR, коммутаторы ATM должны реализовать двухуровневую схему обслуживания, которая бы удовлетворяла требованиям CBR, VBR и ABR. По этой схеме коммутатор предоставляет некоторую часть своей пропускной способности каждому классу служб. Трафик CBR получает часть пропускной способности, необходимую для поддержания пиковой скорости PCR, трафик VBR получает часть пропускной способности, необходимую для поддержания средней скорости SCR, а трафик ABR получает часть пропускной способности, достаточную для обеспечения требования минимальной скорости ячеек MCR. Это гарантирует, что каждое соединение может работать без потерь ячеек и не будет доставлять ячейки ABR за счет трафика CBR или VBR. На втором уровне этого алгоритма трафик CBR и VBR может забрать всю оставшуюся пропускную способность сети, если это необходимо, так как соединения ABR уже получили свою минимальную пропускную способность, которая им гарантировалась.