Глава 1 : Операторские технологии передачи данных

Плезиохронная иерархия цифровых потоков E1

Первый цифровой поток установила в 1957 г. компания Bell System. В дальнейшем технология была стандартизована, и теперь известна как T1. Сделано это было для удовлетворения все возрастающих потребностей операторов связи. Местная телефония на родине технологии, в США, на тот момент была сравнительно хорошо развита. Изменений на клиентской сети, состоящей из медных пар, не предвиделось (и не произошло до сих пор). Поэтому основные усилия операторов сосредоточились на построении магистральных (транспортных) сетей и их эффективного использования для передачи голоса. Естественно, о передаче данных в те времена даже не шло и речи.

Разработанные системы использовали принцип импульсно-кодовой модуляции и методы мультиплексирования (суммирования) с временным разделением каналов (Time Division Multiplexing, сокращенно TDM) для передачи нескольких голосовых каналов, иначе называемых тайм-слотами, в одном потоке данных.

В США, Канаде и Японии за основу был принят поток T1, который со скоростью 1,536 Мбит/с передавал 24 тайм-слота, а в Европе (и немного позже в Советском Союзе) - поток E1, имеющий скорость 2,048Мбит/с, и позволяющий передавать 30 каналов передачи данных со скоростью 64 кбит/с, плюс канал сигнализации (16 тайм слот) и синхронизации (нулевой тайм-слот). Это без преувеличения казалось вершиной прогресса.
Дальнейшее развитие привело к появлению ещё ряда стандартизированных потоков E2 - E3 - E4 - E5 скоростями передачи данных соответственно 8,448 - 34,368 - 139,264 - 564,992 Мбит/с. Они получили название плезиохронной цифровой иерархии - PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy), которая до сих пор часто используется как для телефонии, так и для передачи данных. Более современные технологии практически полностью вытеснили PDH с оптических коммуникаций, но на устаревших медных кабелях ее позиции до сих пор непоколебимы.

[Глава 1 : Операторские технологии передачи данных]

Структура сети PDH

В каждом устройстве есть свой тактовый генератор, который работает с небольшими отличиями от других. В паре приемопередатчиков ведущий узел задает свою синхронизацию (Sync 1-2), а ведомый подстраивается под него. Единая синхронизация для большой сети отсутствует. Поэтому плезиохронная в данном случае означает "почти" синхронная. Это удобно для строительства отдельных каналов, но вызывает лишние сложности при создании глобальных сетей.

Синхронная цифровая иерархия SDH

По мере объединения сетей различных операторов связи остро встает проблема глобальной синхронизации узлов. Плюс к этому, усложнение топологии вызвало трудности при извлечении из потока составляющих каналов. Технические особенности независимой синхронизации разных узлов (наличие выравнивающих бит) делали это невозможным. То есть, чтобы извлечь из потока E4 поток E1, необходимо демультиплексировать E4 на четыре E3, затем один из E3 на четыре E2, и только после этого получить нужный E1.

Такой метод существенно увеличивал сложность (особенно высокоскоростных систем), усложнял эксплуатацию и повышал стоимость. В этой ситуации удачным решением стала разработанная в 80-х годах синхронная оптическая сеть SONET, и синхронная цифровая иерархия SDH, которые часто рассматриваются как единая технология SONET/SDH.

Преобразование и передача данных в этой системе достаточно сложны, и механизм выходит далеко за рамки этой книги. Нужно отметить лишь несколько моментов. В качестве минимальной "транспортной" единицы используется контейнер, размер полезной нагрузки которого составляет 1890 байтов, а служебной части - 540 байтов.

Для безболезненного внедрения на рынок эта технология должна была быть совместимой с имеющимся оборудованием и потоками PDH. Это условие было соблюдено, и сегодня SDH составляют основу подавляющего большинства транспортных сетей во всем мире.

Упрощенно, их можно рассматривать как некоторое количество каналов T1/E1, объединенных (мультиплексированных) в один Sonet/SDH канал. При этом какая либо связь между потоками, или их изменение, не предусматривается (если не считать появившихся позже и сравнительно малораспространенных кросс-коннекторов).

Структура транспортной сети Sonet/SDH и схема возможных вариантов прохождения потоков E1.

Можно видеть, что такая схема создавалась строго под нужды телефонии. Действительно, мультиплексоры (MUX) обычно устанавливаются на АТС, где потоки E1 (собранные с других мультиплексоров) переводятся в медные аналоговые линии. Оптимизация пропускной способности сети (иначе говоря, межстанционных соединений) достигается подбором соотношения количества абонентских линий и используемых потоков. Способ не слишком экономичный, зато простой и понятный.

Так как скорости в сети используются вполне приличные (уровень STM-1 - 155 Мегабит, STM-4 - 622 Мегабита, STM-16 - 2,4 Гигабита), то даже использование низкоскоростных кодеков и подавления пауз не получило особого распространения.

Но для передачи данных статическая структура точка-точка, мягко говоря, не слишком удобна. Плюс принципиально не решенный вопрос последней мили: Наверно поэтому SDH очень редко используется для передачи данных напрямую. Это стало задачей протоколов, использующих SDH в качестве магистрального транспорта.

Коммутация пакетов на примере Frame Relay

Первой технологией, соединяющей глобальные и локальные сети, была X.25, которая сегодня постепенно отмирает. Более прогрессивными стали появившиеся в 1984 году сети Frame Relay. При их использовании данные разделяются на кадры (фреймы) разной длины передающим устройством, причем каждый кадр содержит заголовок с адресом получателя. После передачи они собираются на приемном конце. Максимальная скорость передачи данных в ранних версиях составляла 2 Мбита. Позже у некоторых вендоров появились варианты, поддерживающие скорости до 44,725 Мбит/с, но широкого распространения, в связи с появлением ATM, они не успели получить.

Схема сети Frame Relay

Для каждого типа трафика может задаваться свой виртуальный канал (PVC), и соответственно может быть организована своя топология соединений. Скорость регулируется параметрами CIR (минимальная информационная скорость) и AR (скорость физического канала). Для соединения узлов Frame Relay обычно используется сеть SDH, а для организации каналов менее чем E1 - мультиплексоры TDM. На практике скорости более 128 кбит используются редко - более быстрое оборудование для соединения на "последней миле" появилось совсем недавно и успело устареть до своего широкого внедрения.

К достоинствам технологии можно отнести высокий уровень защиты данных, что в совокупности с прозрачность FR для протоколов более высокого уровня снискало ему популярность в кругах распределенных банковских и корпоративных сетей.

Универсальная технология ATM

Примерно на этом же этапе (разработана в 1974 году, стандартизована в 1984), возникла технология цифровой сети интегрального обслуживания - ISDN (Integrated Service Digital Network), которая обеспечивает передачу данных по медным проводам со скоростью до 144 Кбит/с.

В отличие от Frame Relay, ISDN была изначально ориентирована на два типа передачи - голоса и данных. Достигалось это благодаря развитым средствам приоритезации трафика. Но из-за низких скоростей передачи ISDN (обычно 64кбит/с), быстро возникла идея новой широкополосной технологии, названной ATM (Asynchronous Transfer Mode, или режим асинхронной передачи), которая принципиально может применяться на различных скоростях (от 1,5 Мбит/с до 40 Гбит/с). К большим ее достоинствам можно отнести возможность относительно простого "наложения" на существующие сети SDH.

Схема сети ATM

Этот момент можно по праву назвать поворотным в истории коммуникаций. Уже успела сформироваться исторически узкая специализация транспортных сетей. Для каждого вида связи существовала, по, меньшей мере, одна сеть, которая передает информацию этой службы. Имелось

большое количество выделенных структур, каждая из которых требовала собственного этапа разработки, производства и дорогостоящего технического обслуживания. Хуже того, свободные ресурсы одной сети не могли быть использованы другой - и это при очень дорогих физических каналах.

ATM изначально разрабатывалась как универсальная и "академически правильная" технология, не зависящая от типа передаваемого трафика. Её могут использовать все существующие службы, так как ATM определяет протоколы на уровнях выше физического.

При условии, что все виды информации транспортируются одним методом, возможно проектирование, создание, управление и обслуживание одной сети. Это сокращает затраты и делает её (в теории) наиболее экономичной транспортной сетью электросвязи на сегодняшний день.

Несмотря на такой перечень достоинств, путь ATM не был легок. Как любое универсальное средство, эта технология уступала другим во многих частных случаях. Оборотная сторона универсальности, избыточная сложность, влекла удорожание, и часто выливалась в большое количество неполадок не только на этапе внедрения, но и на начальных стадиях эксплуатации.

Поэтому в сферу локальных сетей ATM проникнуть не смогла, и была вытеснена Ethernet в телекоммуникацию. Там, при отсутствии реальной альтернативы, именно ATM в настоящий момент принято рассматривать как основную технологию при построении транспортных сетей. Более дешевый и простой Ethernet только начинает теснить ее с занимаемых позиций. Но об этом пойдет речь в следующих главах.

Если в общем оценить состояние отрасли связи в настоящий момент, то это Sonet/SDH, который используют в качестве транспорта ATM и Frame Relay. Последние, в свою очередь, связывают локальные сети конечных пользователей ресурсов сети передачи данных.

Основные методы коммутации

Для обобщения материала рассмотрим объяснение физической сущности описанных выше методов переноса информации. Основные режимы переноса информации, используемые в сетях связи, следующие:

- коммутация каналов,
- многоскоростная коммутация каналов,
- быстрая коммутация каналов,
- быстрая коммутация пакетов,
- коммутация пакетов или кадров.

Передача голоса в телефонии - классический пример канала. Если объединить несколько каналов в один поток, то появится необходимость управлять, или коммутировать отдельные каналы. Делается это для транспортировки данных в аналоговых сетях телефонной связи (и узкополосных цифровых сетях) на основе временного разделения потока (например, E1). Причем для передачи информации по каждому каналу используется один или несколько фиксированных временных интервалов (тайм-слотов).

Данный метод, по сути, лишен гибкости, так как продолжительность временного интервала (количество тайм-слотов) однозначно определяет скорость передачи. Передаются в канале данные, или нет - место в потоке занято постоянно. Поэтому, коммутация каналов не лучший способ использовать магистральные сети.

Метод многоскоростной коммутации каналов был разработан для устранения недостатков предыдущего решения. В этом случае использовалось несколько каналов с различными временными интервалами и, следовательно, скоростями передачи. Однако недостатки оставались - при занятости низкоскоростного канала ни одно низкоскоростное соединение не могло быть установлено, даже при наличии не занятых более высокоскоростных каналов.

Технология быстрой коммутацией каналов, основана на тех же методах временного разделения, но соединение устанавливается только тогда, когда требуется передача данных. Хорошей иллюстрацией будет пример телефонного разговора. При коммутации и многоскоростной коммутации каналов будет установлено одно соединение на всю длительность разговора, а при быстрой коммутации будет установлено множество последовательных соединений, каждое из которых служит для передачи конкретного фрагмента речи.

Эффективность использования канала в последнем случае достаточно высокая, но минусы метода то же велики. Уже нет гарантированной задержки, так важной для передачи голоса. Да и сложность (а значит, и стоимость) программно-аппаратного комплекса увеличивается в разы. Все это приводит к тому, что на практике используется в основном простая коммутация каналов с синхронной иерархией

Sonet/SDH.

Для передачи данных между компьютерными сетями, а с появлением коммутаторов и внутри локальных сетей, используются методы коммутации пакетов или кадров. И кадр, и пакет в общем случае могут иметь разную длину, и выделяются из общего массива информации только благодаря специальным последовательностям символов (флагам, заголовкам).

Классическим примером коммутации кадров является протокол Frame Relay (ретрансляция кадров). При передаче информация разных пользователей или служб передается по одному потоку (каналу), а коммутаторы выполняют функции определения маршрута данных и создания и хранения очередей пакетов/кадров при перегрузке транспортной системы.

Популярный в настоящее время "классический" Ethernet построен еще проще. Механизмы работы с очередями не предусмотрены, а вместо определения полного маршрута "заранее" используется более простая маршрутизация каждого пакета данных, причем только на пограничных узлах. Внутри сети пакеты передаются всем пользователям.

Но если рассматривать проблему с точки зрения метода переноса информации Frame Relay и Ethernet близки. И обладают общим существенным недостатком - не могут гарантировать постоянной скорости.

Тут надо сделать существенное дополнение. Современный Frame Relay имеет развитые механизмы управления скоростью, позволяющие обойти этот недостаток. То же самое можно сказать и про коммутируемый Ethernet - новое оборудование вполне надежно использует механизмы очередей, приоритизации трафика, и другие атрибуты транспортных сетей.

Примером метода быстрой коммутации пакетов является ATM. Для достижения временной прозрачности применен метод, при котором информация всех типов сначала разбивается на пакеты малой фиксированной длины (53 байта, из них - 5 байт заголовок), называемые ячейками. Которые затем мультиплексируются в едином цифровом тракте. При этом ячейки, в зависимости от принадлежности к типу службы, могут иметь разный приоритет.

Если подходить строго, то ATM нельзя назвать методом быстрой коммутации пакетов. Ячейка хоть и мала, но имеет вполне конечную длину, и даже один байт информации вызовет передачу всего пакета. По той же причине, нельзя сказать, что в полной мере обеспечивается гарантированная постоянная скорость. Разумеется, при реальном использовании смело можно не обращать внимания на сделанные допущения. Но для понимания сути процессов желательно про них помнить.

Содержание **Следующая глава**