

ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ

Увеличивающиеся год от года требования к ширине полосы пропускания транспортных каналов также как и смена используемых технологий являются результатом экспоненциально увеличивающихся объемов трафика, передаваемых по транспортным сетям.

Если сделать маленький обзор по используемым технологиям – традиционным и перспективным, то можно выделить технологии плезиохронной и синхронной цифровой иерархий (PDH и SDH соответственно), асинхронного режима переноса информации (более известная как ATM), технологию Gigabit Ethernet и технологию мультиплексирования с разделением по длине волны WDM.

Я позволю себе кратко напомнить основные характеристики технологий, преимущества и недостатки каждой из них, а также ведущих вендоров, представляющих эти технологии на телекоммуникационном рынке России.

PDH

Эта технология представляет собой базовую технологию транспортного уровня. PDH первоначально использовала в качестве среды передачи медный кабель, но с ростом скоростей передачи стала использоваться также на волоконно-оптических линиях связи (ВОЛС).

Общеизвестно, что минимальной “цифровой единицей измерения” является основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 кбит/с. Скорости передачи, используемые этой технологией для конкретных уровней иерархии, должны быть кратны ОЦК (таблица 1).

Уровень цифровой иерархии	Скорости передачи, кбит/с
0	64
1	2048
2	8448
3	34368
4	139264

Таблица 1. Скорости передачи технологии PDH

Технология PDH обладает рядом недостатков, таких как затруднённый ввод/вывод цифровых потоков в промежуточных пунктах (алгоритм последовательного де/мультиплексирования), многоступенчатое восстановление синхронизации компонентных потоков, требующее достаточно больших временных ресурсов, а также отсутствие средств сетевого автоматического контроля и управления.

Также можно считать недостатком наличие в мире трёх различных разновидностей PDH (существовали 3 параллельные схемы PDH: европейская на скорости 2048 кбит/с, а также североамериканская и японская на скорости 1544 кбит/с).

Однако, помимо вышеуказанных недостатков PDH имеет ряд достоинств, например, дешевизна оборудования, простота инсталляции и обслуживания, что позволяет использовать ее до сих пор, особенно при малом количестве каналов.

На рынке оборудование PDH представлено очень широко, наиболее известны устройства производства Alcatel, Lucent Technologies, UTStarcom, Olencom Electronics, HATEKC и др.

Преодолеть принципиальные недостатки в рамках PDH было невозможно, поэтому в середине 80-х годов, когда ВОЛС получили распространение и существенно увеличили скорость передачи транспортных потоков, начался переход к SDH.

SDH

Указанные недостатки PDH, а также ряд других факторов привели к разработке в США новой технологии - синхронной оптической сети SONET, а в Европе аналогичной технологии - синхронной цифровой иерархии SDH. В дальнейшем было принято решение унифицировать эти две технологии. В результате чего OC3 SONET стал соответствовать STM-1 иерархии SDH. Скорости передачи, используемые технологией SDH, представлены в таблице 2.

Уровень цифровой иерархии	Скорость передачи, Мбит/с
STM-1	155,520
STM-4	622,080
STM-16	2488,320
STM-64	9953,280

Таблица 2. Скорости передачи технологии SDH

При разработке SDH преемственность технологий была соблюдена, то есть поддерживается транспортировка информации PDH путем упаковки их в стандартные контейнеры SDH.

Основным отличием системы SDH от системы PDH стал переход на новый принцип мультиплексирования. Отказались от используемого принципа плезиохронного мультиплексирования, при котором для демультиплексирования необходимо было производить пошаговый процесс восстановления исходных каналов. В системе SDH производится синхронное мультиплексирование/демультиплексирование, которое позволяет организовывать непосредственный доступ к каналам PDH, передаваемым в сети SDH.

По сравнению с технологией PDH технология мультиплексирования в сети SDH стала намного сложнее. Также усилились требования по синхронизации и параметрам качества среды передачи. Методы эксплуатации и технология измерений SDH намного сложнее.

Технология SDH обладает рядом несомненных достоинств, таких как возможность создания гибких топологий, сетевого автоматического контроля и управления, высокая емкость, умеренная стоимость, высокая надежность и представлена на рынке оборудованием следующих изготовителей – Nortel Networks, NEC, Lucent Technologies, ECI Telecom, Olencom Electronics и др.

Однако, SDH имеет ряд недостатков. Среди них сложность в передаче широкополосного трафика данных. В этом случае может потребоваться необходимость во внешнем оборудовании, обеспечивающем необходимые преобразования. В этом случае могут быть использованы конвертеры интерфейсов.

ATM

Концепция технологии ATM (Asynchronous Transfer Mode) разрабатывалась для передачи разнородного трафика между пользователями. В России кроме аббревиатуры ATM в технической литературе используются термины асинхронный режим доставки (АРД) и асинхронный режим переноса (АРП). Идея технологии состоит в фрагментации и передаче сообщений ячейками (пакетами фиксированной длины по 53 байта). Небольшая длина ячеек позволяет сократить время на их передачу и тем самым обеспечить небольшие задержки при передаче ячеек, требующиеся для приложений реального времени.

Введение атрибутов для разных типов переносимого трафика и приоритетов по обслуживанию являются особенностью технологии ATM, которая позволяет ей успешно совмещать в одном канале синхронные и асинхронные пакеты, речь, видео и данные.

Стек протоколов ATM соответствует нижним уровням семиуровневой модели ISO/OSI и включает адаптационные уровни ATM, называемые AAL1-AAL5, и собственно уровень ATM. Адаптационные уровни транслируют пользовательские данные от верхних уровней коммуникационных протоколов в пакеты, формат и размеры которых соответствуют стандарту ATM. Каждый уровень AAL обрабатывает пользовательский трафик с характеристиками, определенными на этапе установления соединения, называемые классами обслуживания.

Классы обслуживания ATM содержат ряд параметров, которые определяют гарантии качества предоставляемой услуги, т.е. минимальный уровень доступной пропускной способности, а также предельные значения задержки ячейки и вероятности потери ячейки (таблица 3). В спецификациях форума ATM предусмотрено несколько классов обслуживания - CBR, VBR, UBR и ABR.

Класс обслуживания	Гарантии пропускной способности	Гарантии изменения задержки	Обратная связь при переполнении
CBR (constant bit rate)	+	+	-
VBR (variable bit rate)	+	+	-
UBR (unspecified bit rate)	-	-	-
ABR (available bit rate)	+	+	+

Таблица 2. Классы обслуживания технологии ATM

CBR - представляет собой наиболее простой класс обслуживания когда сетевое приложение заказывает максимальную скоростью, которая может поддерживаться соединением без риска потери ячейки с обеспечением низких изменений задержки передачи ячейки. Услуга CBR предназначена в основном для передачи голоса и видео в реальном масштабе времени, при этом резервируется полная полоса пропускания, запрашиваемая конкретным виртуальным соединением.

Класс VBR включает два подкласса: трафик VBR реального времени (VBR-RT) и трафик VBR не реального времени (VBR-NRT). Трафик VBR-RT допускает очень узкие границы для задержки передачи ячеек и может использоваться для передачи данных приложений реального времени, которые позволяют небольшое изменение задержки передачи ячеек, например, компрессированное видео. VBR-NRT предназначен для передачи коротких, пульсирующих сообщений, таких как сообщения, возникающие при обработке транзакций системами управления базами данных.

Уровень обслуживания UBR не определяет ни битовую скорость, ни параметры трафика, ни качество сервиса. Услуга UBR предлагает только доставку "по возможности", без гарантий по утере ячеек, задержке ячеек или границам изменения задержки. Разработан специально для возможности превышения полосы пропускания, для приложений, не готовых согласиться с фиксацией параметров трафика.

ABR, подобно сервису UBR, использует превышение полосы пропускания, но он использует процедуры управления трафиком для оценки степени переполнения сети и избегает потерь ячеек. ABR - это класс сервиса, который обеспечивает надежный транспорт для приложений не чувствительных к задержкам в передаче, за счет того, что он может находить неиспользуемые интервалы времени в трафике и заполнять их своими пакетами.

Фазе передачи информации в сетях ATM предшествует этап установления виртуального соединения, во время которого осуществляется проверка достаточности объема сетевых ресурсов, как для качественного обслуживания уже установленных виртуальных соединений, так и для создаваемого. Если сетевых ресурсов недостаточно, то окончательному устройству выдается отказ в установлении соединения. После завершения фазы передачи информации виртуальное соединение разрушается, а сетевые ресурсы могут использоваться в интересах обеспечения другого виртуального соединения.

В качестве цифровых систем передачи для переноса сообщений ATM на физическом уровне могут использоваться системы передачи синхронной (SDH) или псевдосинхронной (PDH) цифровой иерархии с собственной структурой кадра. Технология ATM ориентирована на установление соединения, однако, спецификациями предусмотрено обеспечение передачи и приема информации служб, которые не ориентированы на соединение (CL - Connectionless). Это особенно важно, так как одним из практических применений ATM является связь локальных (LAN) и городских вычислительных сетей (MAN), которые используют преимущественно протоколы без установления соединений.

Также для обеспечения взаимодействия между локальными вычислительными сетями через инфраструктуру сети ATM существует специальное ATM приложение - эмуляция ЛВС (LAN Emulation User-to-Network Interface или LANE - LAN Emulation).

Технология ATM представлена на рынке оборудованием следующих изготовителей – Nortel Networks, Alcatel, Lucent Technologies, Fore Systems, NEC и др.

Таким образом, технология ATM является универсальным транспортом обеспечивающим перенос трафика любого вида и обеспечивает гибкость в назначении полосы, адаптацию к изменению уровня требований пользователей и обеспечивает необходимое качество обслуживания. Однако, среди ее недостатков высокая стоимость оборудования, сложность инсталляции и обслуживания, в том числе из-за требующегося высококвалифицированного персонала.

Ethernet

Технологии Ethernet давно и эффективно используются для организации локальных сетей, но большинство специалистов упускают ее из виду, когда речь заходит о магистральном уровне. Ввиду того что первоначально не были определены гарантии надежности в сетях Ethernet, а также отсутствовали какие бы то ни было механизмы обеспечения качества обслуживания. Между тем сегодняшние возможности этой технологии позволяют задействовать ее в операторских приложениях.

Для достижения возможности выхода на операторский уровень технологии Ethernet пришлось преодолеть множество препятствий, например, проблемы пропускной способности, ограничение дальности соединений, решить вопросы дифференцирования и приоритизации трафика.

Первым шагом стало появление стандарта IEEE 802.1Q/p, описывающего распределенные виртуальные сети (tag switching VLAN) и определяющего механизм приоритизации трафика на канальном уровне, позволившего обеспечивать приемлемое качество обслуживания путем присвоения приоритетов. Однако, появление сетей с маршрутизацией и приоритизацией между VLAN не могло полностью удовлетворить требования, предъявляемые к операторским решениям.

Чтобы справиться с потенциальными проблемами передачи мультисервисного трафика по пакетной сети, необходимо было обеспечить обработку входящего трафика в соответствии с требованиями качества обслуживания, осуществлять поддержку качества услуг «из конца в конец» и гибкость в управлении распределением сетевых ресурсов.

Важнейшими механизмами обеспечения качества обслуживания являются алгоритмы обслуживания очередей и кондиционирования трафика. Механизмы первого типа могут поддерживать различные алгоритмы обработки пакетов (от простейшего FIFO до сложных алгоритмов взвешенного обслуживания). В любых коммутаторах Ethernet по умолчанию реализован алгоритм FIFO, согласно которому при переполнении буфера сбрасывается кадр, не помещающийся в оставшуюся память, независимо от типа трафика и требований по его обработке. Поскольку этот подход неприемлем для дифференцированного обслуживания потоков, в современных коммутаторах дополнительно используются алгоритм приоритетной обработки и алгоритм взвешенного обслуживания. Комбинацией указанных алгоритмов является алгоритм «взвешенного справедливого обслуживания» (WFQ). Различные реализации именно этого алгоритма появились в оборудовании, поддерживающем стандарт DiffServ.

На сегодняшний день из семейства технологий Ethernet в качестве транспорта наиболее часто используется Gigabit Ethernet на скорости 1 Гбит/с. Физические интерфейсы стандарта Gigabit Ethernet приведены на рисунке 1.

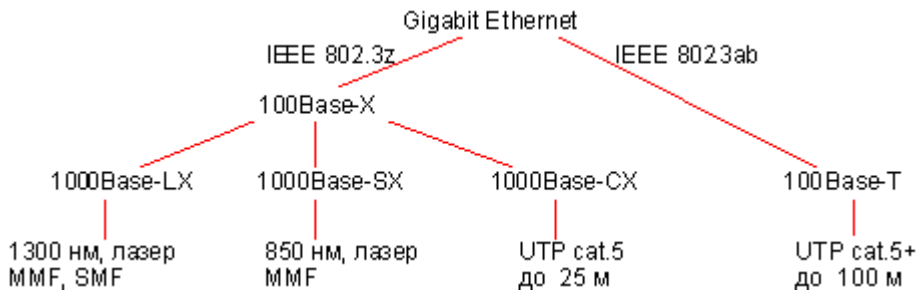


Рисунок 1. Физические интерфейсы Gigabit Ethernet

Очевидно, что для транспортных применений подходят только интерфейсы использующие в качестве среды передачи волоконно-оптический кабель. Использование многомодового кабеля не позволяет покрывать большие расстояния. Однако, дальность передачи по одномодовому кабелю может достигать нескольких десятков километров.

Следующим поколением семейства Ethernet, предназначенным для транспортных решений является технология 10 Gigabit Ethernet (стандарт IEEE 802.3ae). Технология позволяет поднять уровень производительности сетей Ethernet до 10 Гбит/с по одномодовым волоконно-оптическим соединительным линиям при максимальной дальности до сорока километров.

Семейство технологий Ethernet представлено на рынке очень широко устройствами для различных применений, однако наиболее мощные устройства операторского класса предлагаются следующими изготовителями – Cisco Systems, Motorola, Avaya Communication, Optical Access и др.

Стремительный рост скоростей технологии Ethernet от 10 Мбит/с до 10 Гбит/с при невысокой стоимости единицы переданной информации, относительной простоте дизайна и обслуживания, обеспечивают неизбежный устойчивый интерес к этой технологии

WDM

В силу ограничений, накладываемых физическими свойствами оптического волокна, оправданным является создание систем связи со скоростью передачи не более 10 Гбит/с. Технология мультиплексирования оптических каналов по длинам волн (Wavelength Division Multiplexing, WDM) позволяет решить эту проблему и увеличить суммарную пропускную способность волоконно-оптических линий связи путем использования в каждом из волокон нескольких параллельно передаваемых оптических несущих. В последнее время эта технология стала широко использоваться в транспортных системах передачи информации для значительного повышения их информационной пропускной способности. Когда заходит речь об этой технологии, в настоящее время чаще используют термин DWDM (Dense WDM), подразумевающий мультиплексирование большого числа длин волн (стандартизовано до 51), хотя в семействе WDM существует еще одна перспективная технология - CWDM (Coarse WDM), имеющая свои неоспоримые преимущества.

DWDM

Оборудованию DWDM (в отличие от более традиционных WDM) присущи две отличительные черты: использование только одного окна прозрачности 1550 нм и малые расстояния $\Delta\lambda$ между мультиплексными каналами (3.2, 1.6, 0.8 или 0,4 нм).

Мультиплексоры DWDM рассчитаны на работу со значительным числом каналов, однако наряду с устройствами DWDM, в которых мультиплексируются одновременно все каналы, допускаются также новые устройства, не имеющие аналогов в системах WDM и работающие в режиме добавления или вывода одного и более каналов в/из основного мультиплексного потока. Из-за малых расстояний между мультиплексными каналами и необходимости работы с большим числом каналов одновременно, изготовление мультиплексоров DWDM требует значительно большей прецизионности технологий изготовления и использования прецизионных лазеров с охлаждением и настройкой по температуре. Все это приводит к высокой стоимости DWDM устройств и ограничению области его применения в ядре транспортной сети.

Технология DWDM, использованная в большом количестве проектов по построению и развитию магистральных оптических сетей, представлена оборудованием следующих производителей: Nortel Networks, Lucent Technologies, Alcatel, NEC, Optical Access, Huawei Technologies и др.

CWDM

Ключевое технологическое отличие CWDM-устройств от оборудования DWDM заключается в положении информационных каналов в спектре рабочих длин волн волоконно-оптической системы связи. В DWDM-системах спектры соседних информационных каналов расположены очень близко. Согласно рекомендациям Международного телекоммуникационного союза G.692, расстояние между соседними DWDM-каналами равно 100 ГГц, что соответствует расстоянию 0,8 нм. В CWDM-системах спектры соседних информационных каналов расположены на гораздо большем расстоянии, обычно равном 20 нм (2500 ГГц) для третьего окна прозрачности (рисунок 2).

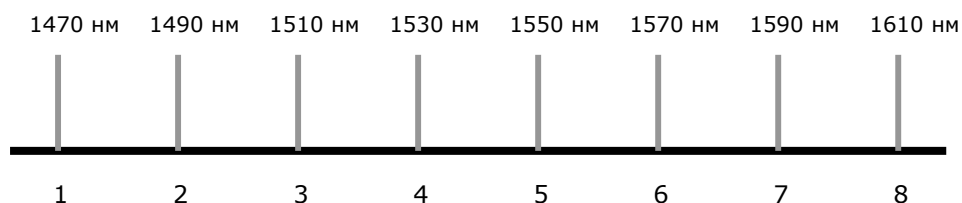


Рисунок 2. Расположение информационных каналов в тракте CWDM

Неплотное расположение спектрально разделенных каналов (обычно 8) в CWDM-системах позволяет использовать более дешевые лазеры без охлаждения чем обеспечивается очень значительное снижение стоимости оборудования по сравнению со стоимостью систем DWDM. Поскольку в текущих экономических условиях операторы связи выбирают наиболее экономичные решения для удовлетворения своих текущих потребностей в увеличении пропускной способности транспортных сетей, то можно предугадать широкое использование оборудования CWDM в сетях доступа и городских информационных сетях. В настоящее время оборудование CWDM представлено на российском рынке не очень широко. В настоящий момент на рынке его предлагают компании Cisco Systems, Nortel Networks, Optical Access, Olencom Electronics и др.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Этот краткий обзор наглядно демонстрирует какими бурными темпами идет развитие технологий и транспортных сетей связи. Задача оператора связи - оптимальный выбор технологий и решений, которые позволили бы добиться максимально эффективного использования ресурсов сети и обеспечить ее легкую модернизацию в дальнейшем.