

Многослойное представление технологий и услуг глобальных сетей

Многоуровневый стек транспортных протоколов

Стек транспортных протоколов оператора связи состоит из нескольких уровней. Соответственно, сеть оператора связи состоит из нескольких слоев оборудования, их число может быть меньше, чем число уровней реализуемого стека протоколов, так как некоторые коммуникационные устройства могут выполнять функции протоколов нескольких смежных уровней, например, мультиплексор DWDM может включать модули мультиплексора OTN.

Протокол определенного уровня может быть использован в двух целях:

для предоставления услуг протоколам вышележащих уровней сети оператора;

для реализации транспортных услуг клиентов.

Обобщенная структура слоев типичной сети оператора связи, который также играет роль поставщика услуг Интернета, показана на рис. 18.5.

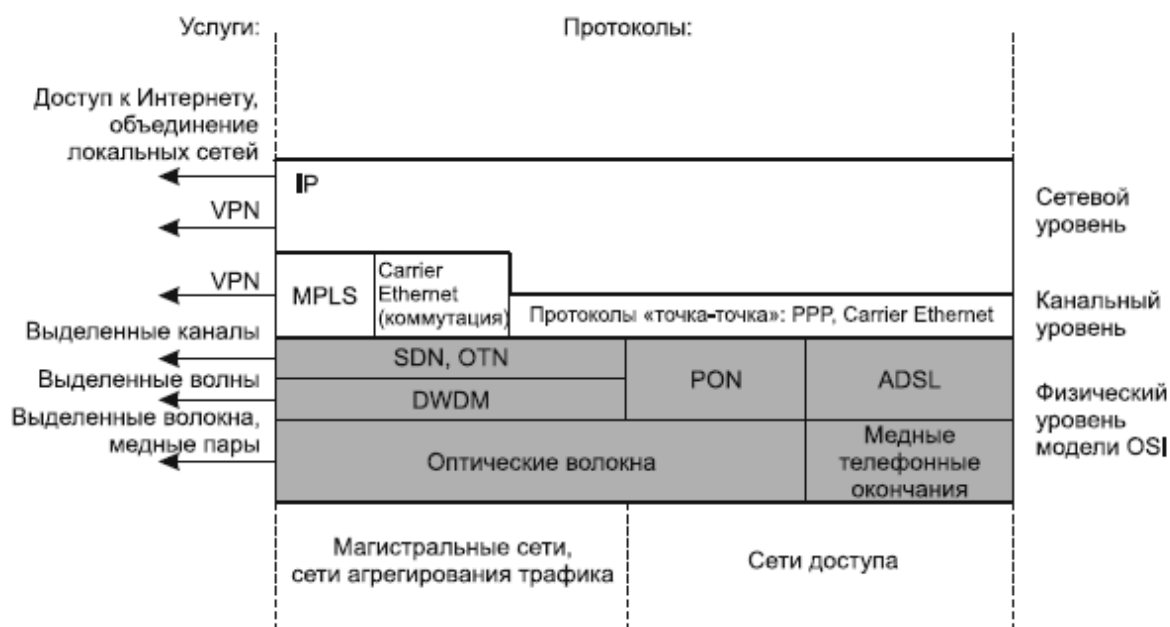


Рис. 18.5. Многослойная структура сети оператора связи/поставщика услуг Интернета

На рисунке показаны уровни протоколов сетей с коммутацией пакетов, то есть компьютерных сетей, и слои технологий первичных сетей, которые используют принцип коммутации каналов.

Модель OSI не различает уровни протоколов сетей с коммутацией каналов, для нее они все представляют один физический уровень (вместе со средой передачи данных), но для понимания организации сети оператора связи полезно разбивать этот уровень как минимум на три слоя (что и сделано на рисунке):

слой технологии DWDM оперирует с каналами-волнами (иногда его называют нулевым уровнем)⁴

слой технологии SDH/OTN оперирует цифровыми двухточечными каналами (первый уровень);

слой физической среды строится на волоконно-оптических и медных кабелях, а также на беспроводной среде.

Внутренняя структура слоя технологий SDH и OTN, состоящая из нескольких уровней протоколов, на рисунке не отражена, она не существенна при укрупненном рассмотрении стека протоколов глобальной сети оператора связи.

Так как в этой части книги мы рассматриваем *транспортные* технологии глобальных сетей, то наш интерес заканчивается уровнем протокола IP, то есть сетевым уровнем, который является высшим

обязательным уровнем протоколов транспортной подсистемы сети.

На рисунке показано, что на всех уровнях и слоях, кроме верхнего, существуют различные протоколы и технологии, решающие одни и те же задачи, но разными способами и с разной функциональностью. Например, на канальном уровне существуют протоколы MPLS, Carrier Ethernet, и PPP. Мы пока еще не познакомились с этими и другими протоколами, представленными новыми аббревиатурами на рисунке, но для понимания общей картины пока достаточно знать, что это протоколы канального уровня (можно только добавить, что Carrier Ethernet является версией Ethernet для сетей операторов связи, эта технология сохраняет все свойства коммутируемого варианта Ethernet, добавляя к ним некоторые дополнительные функции, полезные для мониторинга качества соединений в глобальной сети). Кроме того, одна и та же задача может решаться разными слоями, например, услуга VPN может предоставляться с помощью сетевого и канального уровней. Функциональность услуги в общем случае зависит от того, с помощью какого уровня она предоставляется.

Поэтому у оператора связи имеется возможность выбирать на каждом уровне из имеющегося набора однотипных протоколов какой-то один протокол, наиболее подходящий для решения его задач. Полученная в результате комбинация определяет специфический стек протоколов данной сети, например, IP-MPLS-OTN-DWDM или IP-PPP-SDH-DWDM.

Необходимо также помнить и о территориальной структуре сети, то есть о том, что она состоит из магистральной сети, сетей агрегирования трафика и сетей доступа. Для магистральной сети и сетей доступа применяются практически одни и те же технологии, отличия заключаются только в скорости каналов и протоколов: если в магистральной сети преобладают скорости 10 и 100 Гбит/с, то в сетях агрегирования трафика он на порядок ниже: 1 и 10 Гбит/с, что позволяет сбалансировать нагрузку этих сетей. В сетях доступа обычно применяются технологии, учитывающие специфику топологии (звезда, от офиса оператора связи до домов индивидуальных пользователей и зданий организаций) и линий связи (телефонные медные окончания, телевизионный кабель). Эта специфика отражена на рисунке.

Технологии и услуги физического уровня

Особенностью глобальных сетей является сложная структура физического уровня. На физическом уровне локальных сетей используются только кабели. В глобальных же сетях для создания канала между двумя коммутаторами или маршрутизаторами, как правило, применяются устройства первичных сетей, такие как мультиплексоры или кросс-коннекторы сетей PDH, SDH, OTN или DWDM, о которых мы достаточно подробно писали в главах 8 и 9.

Первоначально технологии первичных сетей предназначались только для внутренних целей операторов связи в качестве гибкого средства соединения телефонных коммутаторов, то есть для гибкого создания каналов между их собственными коммутаторами, изначально телефонными, а потом и пакетными. Постепенно с ростом популярности компьютерных сетей технологии первичных сетей стали применяться для предоставления транспортных услуг конечным пользователям.

На рис. 18.5 показаны три типа услуг, которые предоставляются операторами связи с помощью трех нижних слоев их сети:

Услуга выделенных оптических волокон. Обычно эту услугу один оператор, обладающий развитой кабельной инфраструктурой со свободными оптическими кабелями или волокнами, оказывает другому оператору, который затем строит на этих волокнах собственную первичную сеть, соединяя с помощью волокон мультиплексоры DWDM/OTN или SDH. Волокна, сдаваемые в аренду, часто называют **темными волокнами** (dark fibre), так как они не подключены к оборудованию передачи данных и не «подсвечены» лазерными передатчиками.

Услуга выделенных волновых каналов. Потребителями этой услуги могут быть как операторы связи, так и корпоративные пользователи. Обычно такая услуга предоставляется в формате кадров OTN или SDH высшего уровня иерархии скорости, который в настоящее время для обеих технологий равен 100 Гбит/с. Пользователь может задействовать волновой канал для построения собственной первичной сети, соединяя таким образом свои мультиплексоры OTN или SDH, а может непосредственно соединить IP-маршрутизаторы, имеющие соответствующие интерфейсы (OTN или SDH). Обычно IP-маршрутизаторы обладают так называемыми «серыми» интерфейсами SDH или OTN; это означает, что они работают с неокрашенными волнами, соответствующими центру окна прозрачности, например, с волной 1310 нм. Для того чтобы использовать определенную волну DWDM, которая отличается от «серой» волны, например, волну 1528,77 нм, необходим **транспондер** — устройство преобразования длин волн. Транспондер является частью мультиплексора DWDM, принимающего «серую» волну от маршрутизатора и преобразующего ее в

волну нужного цвета для дальнейшей передачи по сети DWDM. Новой тенденцией являются маршрутизаторы с «окрашенными» интерфейсами, то есть с интерфейсами, которые смогут настраиваться на генерацию определенной волны из сетки частот DWDM, в этом случае транспондеры мультиплексов DWDM не нужны.

Услуга выделенного соединения по протоколу OTN, SDH или PDH. Это наиболее традиционная услуга оператора связи; она была очень востребована в 1980-90 годы корпоративными клиентами, которые соединяя выделенными каналами свои IP-маршрутизаторы, строили собственную корпоративную компьютерную сеть. Со временем услуги выделенных каналов для построения корпоративной сети стали вытесняться более дешевыми и гибкими услугами глобальных сетей с коммутацией пакетов (frame relay, ATM, MPLS) и Интернета. Операторы IP-сетей, не имеющие своей инфраструктуры физических каналов связи, по-прежнему пользуются этими услугами, покупая их у операторов связи.

Технологии и услуги сетей коммутации пакетов

Примером услуг, предоставляемых операторами связи на основе технологий канального и сетевого уровней, являются доступ в Интернет и связывание территориально разнесенных локальных сетей.

Доступ в Интернет — это услуга, предоставляемая операторами связи — провайдерами Интернета. Благодаря тому, что IP-сети операторов связи объединены в глобальную сеть Интернет, потребитель этой услуги теоретически получает доступ ко *всем* узлам Интернета и ко *всем* их услугам. В соответствии с принципами работы IP-сетей даже в том случае, когда интересующий клиента узел находится в сети, не принадлежащей провайдеру услуги, пакеты клиента могут его достичь через сети других операторов. Услуга доступа в Интернет является *транспортной*, то есть сама по себе она не предоставляет никаких прикладных сервисов, таких как веб-сервис или сервис IP-телефонии. Эти прикладные сервисы работают поверх службы доступа в Интернет и для самого транспорта Интернета они прозрачны.

Объединение локальных сетей клиентов может выполняться как на IP-уровне, так и на канальном уровне. Определяющим в выборе решения, на каком уровне объединять сети, является тип адресации, используемый для этой операции. Если сети объединяются на основе их IP-адресов, то это объединение на IP-уровне. Если же это объединение происходит без учета IP-адресов узлов объединяемой сети, а с учетом адресов канального уровня, то это объединение на канальном уровне. Обратите внимание, что в том и другом случаях объединяемые сети обмениваются IP-пакетами, которые инкапсулированы в кадры канального уровня, однако при оказании услуги канального уровня эти пакеты не принимаются во внимание.

На IP-уровне объединение локальных сетей может быть организовано как дополнительная услуга на основе услуги доступа в Интернет. Для этого оператор должен выделить клиенту пул публичных IP-адресов для назначения их узлам локальных сетей и обеспечить маршрутизацию этих адресов в Интернете.

Услуга виртуальных частных сетей (VPN) является важным типом услуги объединения локальных сетей, так как она обладает несколькими критичными для клиентов свойствами, создающими эффект изолированности клиентских сетей. Она может предоставляться как на IP-уровне, так и на канальном уровне.

При объединении сетей клиентов на канальном уровне эти сети обмениваются трафиком через сеть канального уровня провайдера услуги, то есть через сеть MPLS или Carrier Ethernet. Маршрутизаторы провайдера услуг в этой операции не участвуют, трафик клиентских сетей в них не заходит.

Модели межуровневого взаимодействия в стеке протоколов глобальной сети

Как мы знаем, каждый уровень стека протоколов кроме верхнего оказывает внутренние транспортные услуги следующему уровню протоколов иерархии стека, перенося его сообщения.

Имеется принципиальное различие в функциональности такой транспортной услуги в зависимости от того, выполняет ли данный уровень коммутацию своих кадров (другими словами, есть ли на данном уровне сеть коммутаторов) или же он служит только для «кадрирования» сообщений верхнего уровня, а коммутация выполняется на других уровнях стека протоколов. От того, как реализован тот или иной уровень стека протоколов — по первому варианту (коммутация) или по второму (кадрирование), — зависит функциональность многослойной глобальной сети и ее возможности по предоставлению транспортных услуг: понятно, что уровень, в котором не поддерживается коммутация, не может использоваться для предоставления независимых услуг, у него просто отсутствуют для этого возможности.

В многоуровневой модели стека протоколов глобальной сети есть два уровня, которые могут быть реализованы по первому или второму вариантам — это канальный уровень сети с коммутацией пакетов и верхний слой первичной сети, то есть слой OTN или SDH.

Поддержка IP-маршрутизаторов канальным уровнем. В первом варианте на канальном уровне работает сеть, выполняющая коммутацию кадров (рис. 18.6). Сегодня это может быть сеть MPLS или Ethernet.

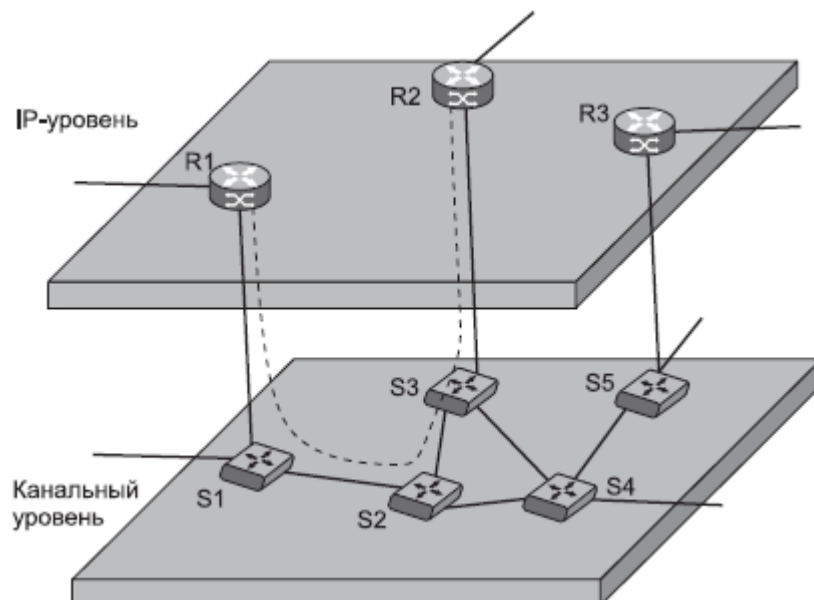


Рис. 18.6. Взаимодействие IP-сети с сетью канального уровня

В этом варианте IP-маршрутизаторы не имеют непосредственных физических связей между собой (то есть связей любого типа, обеспечиваемых физическим уровнем — каналах SDH, OTN, DWDM или кабельных связей). Вместо этого они соединены такими связями с коммутаторами канального уровня, например, коммутаторами Carrier Ethernet. Сеть коммутаторов канального уровня обеспечивает передачу пакетов между IP-маршрутизаторами. Например, если маршрутизатору R1 нужно передать пакет маршрутизатору R2, то он отправляет его коммутатору S1 с указанием адреса канального уровня, ведущего через сеть этого уровня к интерфейсу маршрутизатора R2. Сеть канального уровня сама решает задачу маршрутизации пакета, в нашем примере этот маршрут проходит через промежуточный коммутатор S2, а затем коммутатор S3 передает пакет маршрутизатору назначения, то есть R2.

Сеть канального уровня в этом варианте может использоваться и для предоставления услуг на своем уровне для внешних потребителей.

Во втором варианте у оператора нет сети канального уровня, а IP-маршрутизаторы непосредственно связаны друг с другом с помощью связей физического уровня (рис. 18.7).

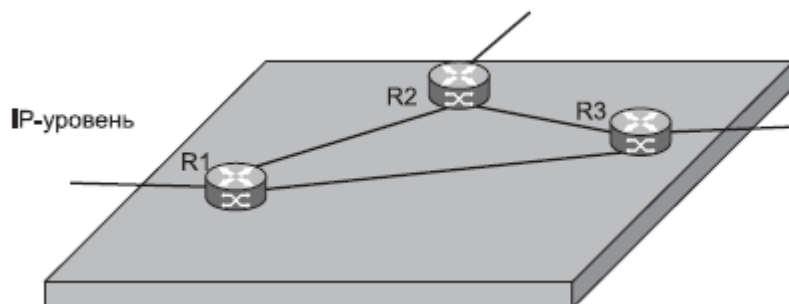


Рис. 18.7. Непосредственное взаимодействие IP-маршрутизаторов

Отсутствие сети канального уровня не означает, что протокол канального уровня отсутствует в стеке

протоколов сети оператора связи. Просто он представлен только в интерфейсах маршрутизаторов, которые инкапсулируют в его кадры IP-пакеты и отправляют их по физическому каналу связи интерфейсу следующего маршрутизатора, а техника коммутации пакетов в этом варианте работает только на IP-уровне. Канальный уровень используется лишь для оформления кадров, например, кадров Ethernet, то есть выполняет функции кадрирования IP-пакетов. Но и в этом урезанном качестве протокол канального уровня может быть полезен, если он выполняет функции, не поддерживаемые протоколом IP, например, обеспечивает контроль достоверности получаемых кадров за счет контрольной суммы или позволяет выполнять мониторинг временных характеристик потока пакетов. Однако независимые транспортные услуги, такие как услуги VPN канального уровня, с помощью этого варианта канального уровня предоставлять нельзя. Иногда такую модель называют «чистой» IP-сетью, имея в виду тот факт, что коммутация (маршрутизация) выполняется только на IP-уровне.

На рис. 18.5 существование двух вариантов работы IP-протокола с канальным уровнем отражается высотой канального уровня: он выше в тех случаях, когда на канальном уровне имеется сеть с коммутацией кадров (MPLS, Carrier Ethernet), и ниже для случаев ее отсутствия (PPP, Carrier Ethernet). Протокол Carrier Ethernet попал в оба варианта, так как с его помощью можно как построить сеть коммутаторов Ethernet, так и применять этот протокол только на интерфейсах IP-маршрутизаторов. Протокол PPP разработан специально для работы в двухточечной топологии и коммутацию кадров он не поддерживает.

У каждого из рассмотренных двух вариантов имеются свои достоинства и недостатки. Кроме уже обсужденного преимущества канального уровня с коммутацией по предоставлению внешних услуг, этот вариант может также помочь разгрузить IP-маршрутизаторы, передавая часть устойчивых и высокоскоростных потоков данных исключительно средствами канального уровня. С другой стороны, вариант без сети канального уровня проще, так как на один уровень оборудования в сети становится меньше.

Поддержка IP-маршрутизаторов оптическими технологиями. В том случае, когда IP-маршрутизаторы соединены непосредственно каналами физического уровня (то есть коммутация на канальном уровне отсутствует), могут работать две популярные модели стека протоколов, называемые **IP поверх OTN** и **IP поверх DWDM**. Они отличаются наличием коммутации в слое OTN глобальной сети. Модель «IP поверх SDH» также применяется, для рассматриваемого нами вопроса она аналогична модели «IP поверх OTN».

В модели «IP поверх OTN» IP-маршрутизаторы соединяются с помощью каналов, образованных OTN-коммутаторами. OTN/SDH-коммутация позволяет создавать каналы различной пропускной способности, от 2,5 до 100 Гбит/с (в случае OTN-коммутации), что дает оператору возможность строить магистральную IP-сеть и IP-сети агрегирования трафика достаточно гибко — из маршрутизаторов с различной производительностью и скоростью интерфейсов.

В модели «IP поверх DWDM» отсутствует уровень OTN-коммутации, IP-маршрутизаторы подключаются непосредственно к портам DWDM-мультиплексора. В этой модели OTN присутствует только как «кадрирующая» технология, то есть IP-пакеты инкапсулируются в OTN-кадры, которые принимаются портами мультиплексора DWDM, также использующими OTN-кадрирование. Коммутация на физическом уровне происходит только на основе техники DWDM, то есть коммутуются волны, но не блоки данных OTN. Учитывая, что коммутация волн пока не обладает большой гибкостью, можно считать, что IP-маршрутизаторы соединены в этой модели постоянными связями, а коммутация происходит только на IP-уровне.

Для обеспечения высокой производительности магистрали интерфейсы IP-маршрутизаторов в этой модели обычно поддерживают максимально возможную скорость передачи данных, предоставляемую мультиплексорами DWDM, которой сегодня является скорость 400 Гбит/с. Модель «IP поверх DWDM» применяется для построения магистралей сетей. Для сетей агрегирования трафика она недостаточно гибкая (только один уровень скорости интерфейсов) и слишком дорогая (интерфейсы маршрутизаторов, способные работать с мультиплексорами DWDM, должны быть «окрашенными», то есть генерировать волну из частотного плана DWDM, а это требует установки в интерфейсе дорогостоящих оптических компонентов).

Мы рассмотрели два типа моделей стека глобальной сети, «IP поверх DWDM» и «IP поверх OTN», отличающихся наличием или отсутствием коммутации в слое OTN/SDH, при этом обе модели подразумевают отсутствие коммутации на канальном уровне. Применяются и две другие модели, в которых имеется коммутация на канальном уровне. В том случае, когда коммутация имеется и на канальном уровне, и на уровне OTN, говорят о полной модели стека. Четвертая модель, с коммутацией на канальном уровне и ее отсутствием на уровне OTN, специального названия не имеет.

