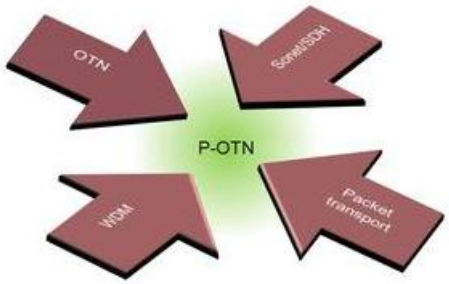
Тенденции эволюции транспортных сетей

По материалам зарубежных изданий

Предисловие



Спор о том, нуждаются ли операторы в транспортных сетях следующего поколения, постепенно ослабевает, переходя в плоскость "какая транспортная сеть лучше всего подходит для нового пакетного мира?". Вопрос все больше звучит не "почему необходим новый транспорт?", а несколько иначе – "какой именно транспорт необходим?".

Широко известный протокол MPLS, разработанный ранее IETF, в настоящее время активно адаптируется под требования, предъявляемые ITU-T к традиционным транспортным сетям. В результате этого сотрудничества появляется новый протокол MPLS-TP (Транспортный Профиль MPLS), который может удовлетворить потребности операторов в удешевлении пакетной сети и способен задать направление будущего развития сетей.

Многие эксперты утверждают, что в традиционной сетевой парадигме давно назрела потребность в каком-то сдвиге (Рисунок 1). Считается, что в расчете на единицу передаваемой информации CapEx (капитальные затраты) для традиционных сетей с синхронным режимом передачи (такие как PDH, SDH, NG-SDH) во много раз больше альтернативных вариантов. При этом многие полагают, что OpEx (операционные затраты) сетей на основе IP-маршрутизации значительно выше сетей предыдущего поколения. Так же бытует мнение, что наибольшее количество трафика с высокой прибыльностью до сих пор находится вне области IP и вряд ли тут что-то изменится в обозримом будущем. Иными словами, в транспортных сетях пакетного трафика становится все больше, а его доходность продолжает неуклонно сокращаться.

Все это приводит к возникновению отдельных требований для интеллектуальной транспортной сети Layer 0/1/2 независимо от функциональности маршрутизации на Layer 3. Если в L3 нет необходимости, то операторы больше не готовы платить за эту функциональность. С продолжающимся устойчивым ростом широкополосного трафика примерно по 50% в год (а рост мобильного пакетного трафика еще выше), расходы на пакетные сети должны сократиться на порядок, если экономика имеет какой-то смысл для операторов.

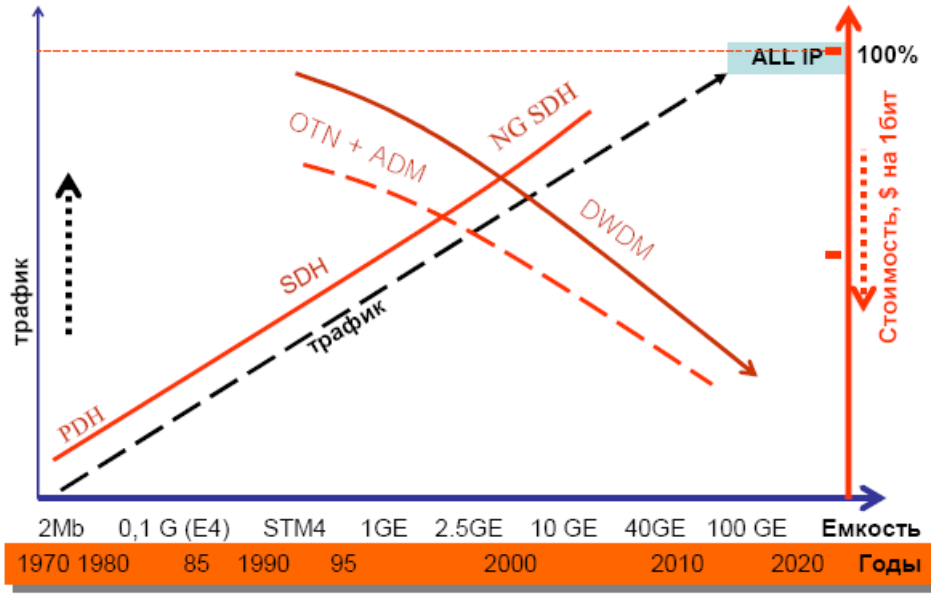


Рисунок 1: Тенденция - снижение стоимости с ростом скорости передачи

Протокол MPLS широко используется для построения Core и WAN сетей по всему миру, однако он до сих пор имеет определенные проблемы с масштабированием и междоменным (inter-domain)

взаимодействием. Сквозное (end-to-end) управление производительностью и качеством обслуживания (QoS) также остаются проблемными, особенно в средах разных производителей. Хотя MPLS значительно изменился в течение последнего десятилетия, но ему все еще необходима дальнейшая эволюция для решения этих проблем.

На сцену выходит новый стандарт MPLS-TP, который является результатом совместной разработки ITU-T и IETF. Уже сейчас некоторые операторы рассматривают эту технологию не просто как коммутацию Ethernet, а как зону наибольшего благоприятствования в вопросах взаимодействия опорных маршрутизаторов, где интеграция MPLS-TP в архитектуру P-OTN выглядит логичным решением.

Идя навстречу пожеланиям пользователей в низкой стоимости и высокой надежности услуг, операторы сталкиваются с необходимостью снижения своих эксплуатационных расходов при сохранении высокого уровня обслуживания. Технология MPLS-TP обещает предоставить им такую возможность.

Производители оборудования все больше фокусируются на предоставлении таких новых решений, которые позволят передавать данные в протоколе Ethernet по телекоммуникационным сетям с уровнем качества операторского класса.

Методы передачи Ethernet через SDH/SONET и поверх MPLS (включая VPLS и PWE3) доказали свою популярность и остаются таковыми на сегодняшний день. Однако многие производители пытаются выступать в авангарде отрасли, развивая более гибкие и современные решения, начиная от NG-SDH и OTN, и заканчивая T-MPLS, PBT/PBB-TE и MPLS-TP.

Введение

Ниже будет описана эволюция технологии P-OTN (Packet Optical Transport Network). Понятие пакетной транспортной сети (Packet Transport Network) основывается на утвержденном ITU-T подмножестве стандартов OTN (Optical Transport Network), таких как рекомендации G.709. Сеть P-OTN может быть построена с использованием множества разных сетевых элементов: оптических, Ethernet и/или MPLS, а может быть и полностью конвергентной системой. В последнем случае иногда используют термин P-OTP (Packet Optical Transport Platform).

Рост пакетного трафика требует дальнейшего увеличения емкости и эффективности сетей Carrier-Ethernet. Для этого необходима более плотная интеграция пакетного транспорта с оптической сетью, совместно с их более интеллектуальным и динамическим управлением. Это и является основным направлением разработки P-OTN и соответствующих этому платформ.

Следующая фаза эволюции P-OTN, это разработка технологии MPLS-TP, которая должна сократить удельную стоимость полосы пропускания и упростить сложные пакетные сети, одновременно улучшив их масштабируемость и гибкость при сохранении совместимости с установленными ранее маршрутизаторами IP/MPLS. Ранее операторы еще никогда не имели более широкого выбора в возможностях интеграции технологий, а поскольку такие оптимальные решения становятся все более очевидными, этот динамичный рынок открыт для дальнейшего развития.

Тем временем производители должны строить свой бизнес на инновациях, это позволит им продвигать свои решения не дожидаясь пока очертятся подходы к неизбежным будущим изменениям. Такие производители могут получить преимущества и остаться на плаву, в том время как на рынке наблюдается суматоха в связи с переходом на новые, полностью пакетные сети.

Операторы нацелены на пакетную транспортную сеть на основе OTN

В связи с дальнейшей консолидацией отрасли и сопутствующими рисками, операторы сосредоточены на целом диапазоне новых источников получения дохода: бизнес услуги, такие как Ethernet, IP VPN, VoIP, IP-видеоконференции; услуги частному потребителю, такие как Triple Play, IPTV; и услуги операторам, такие как аренда ресурсов и мобильный проброс (mobile backhaul).

Продолжается неуклонный рост использования полосы пропускания (Рисунок 2) и многие операторы уже осознают, что одним из узких мест в их сетях станут сети агрегации и городские сети. Конечная цель операторов – трансформация в пакетные сети, способные эффективно поддерживать ряд новых и будущих приложений, которые уже сейчас в разработке. При этом многими операторами признается единственно верное решение – не просто вбросить новую емкость на борьбу с проблемой, а оптимизировать свой пакетный транспорт следующего поколения под новые требования с учетом эффективности и экономичности.

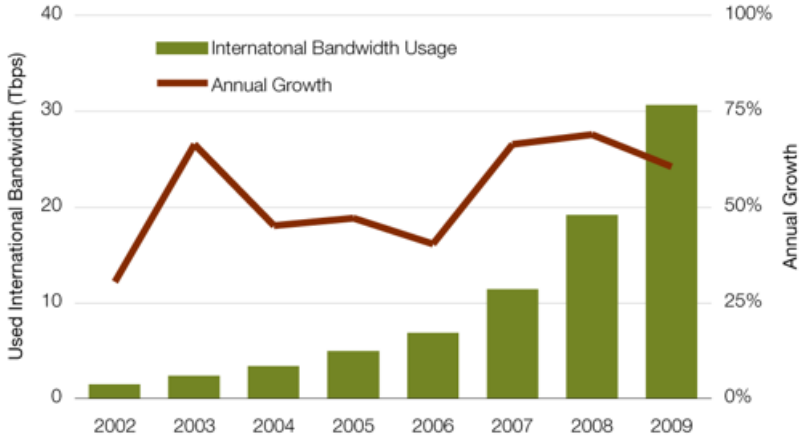


Рисунок 2: Мировой рост потребностей в полосе (TeleGeography Research)

Одно из классических приложений в транспортных сетях это обеспечение и управление полосой пропускания, где запланированные изменения для каждого соединения обычно производятся достаточно редко – это может быть неделя, месяц или даже раз в год. Однако транспортные сети должны быстро реагировать на аварийные ситуации, вырабатывая соответствующие сигналы, автоматически переключаясь на резервные ресурсы и восстанавливая свою работоспособность в течение нескольких десятков миллисекунд.

Фундаментальный принцип всех транспортных сетей – полная прозрачность для клиентских сервисов. Это означает буквально: все биты интерпретируются одинаково, их исходное упорядочивание сохраняется, данные не изменяются, сеть не пытается вникать в содержимое, сеть изолирует трафик клиента от воздействия трафика окружающих клиентов. Исходя из этого могут быть спроектированы взаимодействия клиент-сервис, которые должны оперировать независимо друг от друга, находясь как бы в разных слоях.

Понятие "транспорт" исторически связано с сетями уровня Layer 1 (например, SDH и WDM технологии), однако сдвиг в сторону услуг пакетной передачи означает, что Layer 2 теперь также имеет важную роль. Даже долгосрочная пакетная емкость, обеспечиваемая L3 маршрутизаторами, может рассматриваться как часть транспортной сети.

С сетевой точки зрения, различные технологии переплетаются и комбинируются в разных уровнях как показано на Рисунке 3. На рисунке видно как элементы Ethernet были интегрированы в SDH/SONET для формирования функциональности следующего поколения. Аналогично, элементы OAM, маппинг и фрейминг сетей SDH/SONET были перенесены в WDM для создания слоя функциональности OTN. Уже ведутся работы по интеграции Ethernet и MPLS элементов в OTN для формирования будущего конвергентного сетевого уровня P-OTN.

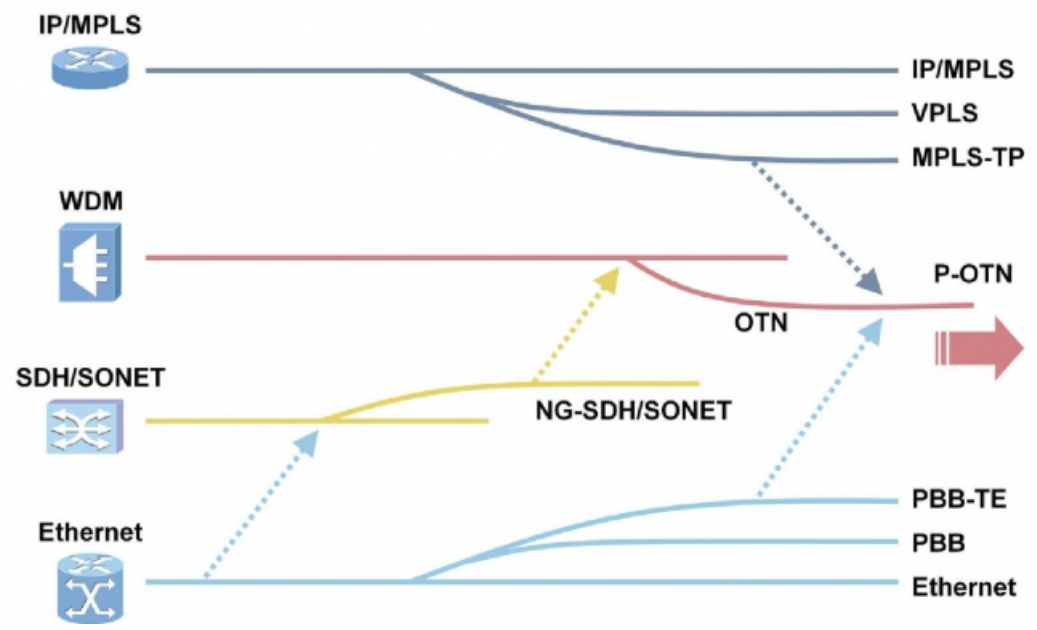


Рисунок 3: Эволюция сетевых технологий и тенденции по их конвергенции

Очевидно, что для практической разработки сетевой платформы существует большое количество вариантов по функциональной и технологической интеграции, однако главный аргумент для операторов в такой конвергенции - это снижение общей стоимости владения. Это столь же очевидно, как и то, что до сих пор не существует единой модели конвергенции и возможно, ее не будет никогда.
Тем не менее, ниже перечислены ключевые возможности различных технологических слоев, которые могли бы быть интегрированы в одном решении:

- IP/MPLS и VPLS - для таких приложений, как услуги по передачи данных и широкополосный доступ;
- Ethernet, ориентированный на соединения (PWE3, PBT, PBB-TE, T-MPLS и MPLS-TP) как эффективный транспорт для коммутации и агрегации пакетов с прямой поддержкой пользовательских интерфейсов;
- Встроенный SDH/SONET для совместимости с существующими транспортными потоками, мультиплексированием и коммутацией с низкой латентностью для TDM услуг;
- Реконфигурируемый и прозрачный WDM транспорт на основе технологий OTN и ROADM, обеспечивающий кольцевые, полносвязные и ячеистые топологии, динамический распределяемую емкость;
- OAM операторского класса, управление и контроль с возможностями ASTN/ASON/GMPLS.

Что такое "Packet Transport Switching"?

Платформы NG-SDH/SONET служили операторам верой и правдой в начале переходного периода на пакетные технологии в первом десятилетии 21 века. Однако, по мере роста объемов передаваемого трафика и изменения его свойств, недостатки и ограничения этой технологии становятся все более очевидными.

Так например, функциональность Ethernet обычно ограничена количеством карт в шельфе устройства и количеством портов на карту. Таким образом, емкость коммутации Ethernet упирается в производительность ASIC-чипсета EoSDH/SONET и составляет максимум 20-40 Гбит/с. Более сложная архитектура распределенной L2 коммутации вызывает затруднения в реализации.

Кроме того, для всё возрастающего трафика пакетных данных необходимо опережающее увеличение коммутационной емкости, востребована и повышенная плотность Ethernet портов. В дополнение к этому, новые пакетные сервисы с ориентацией на соединения, продвигаемые новыми стандартами PBB-TE и MPLS-TP, будет необходимо реализовывать в новом оборудовании и решениях, обеспечивая при этом наследственность и взаимодействие с другими пакетными платформами.

Сегодня на рынке доступно несколько платформ P-OTP с единой архитектурой, но обычно они опираются на традиционные решения MSPP и MSTP (наследие NG-SDH/SONET) с добавлением функционала OTN, ROADM и реже с поддержкой модулей ориентированного на соединения Ethernet. В тоже время на рынке появляются новые платформы с альтернативной архитектурой, базирующейся на универсальной коммутационной фабрике, основанной на естественной обработке пакетного трафика и передачей TDM в синхронном Ethernet.

От производителей потребовался нетрадиционный подход к новым решениям, в результате инновационных разработок архитектура новой системы выглядит так, как показано на Рисунке 4. Такой подход сосредоточен на новых сервисах пакетной коннективности (Ethernet, FibreChannel) и традиционных услугах (SDH/SONET, PDH) поверх нескольких транспортных слоев. Основные требования к сети, такие как высокая доступность, масштабируемость и детерминизм, здесь сочетаются с ключевыми требованиями к платформе, такими
как долговечность и гибкость.

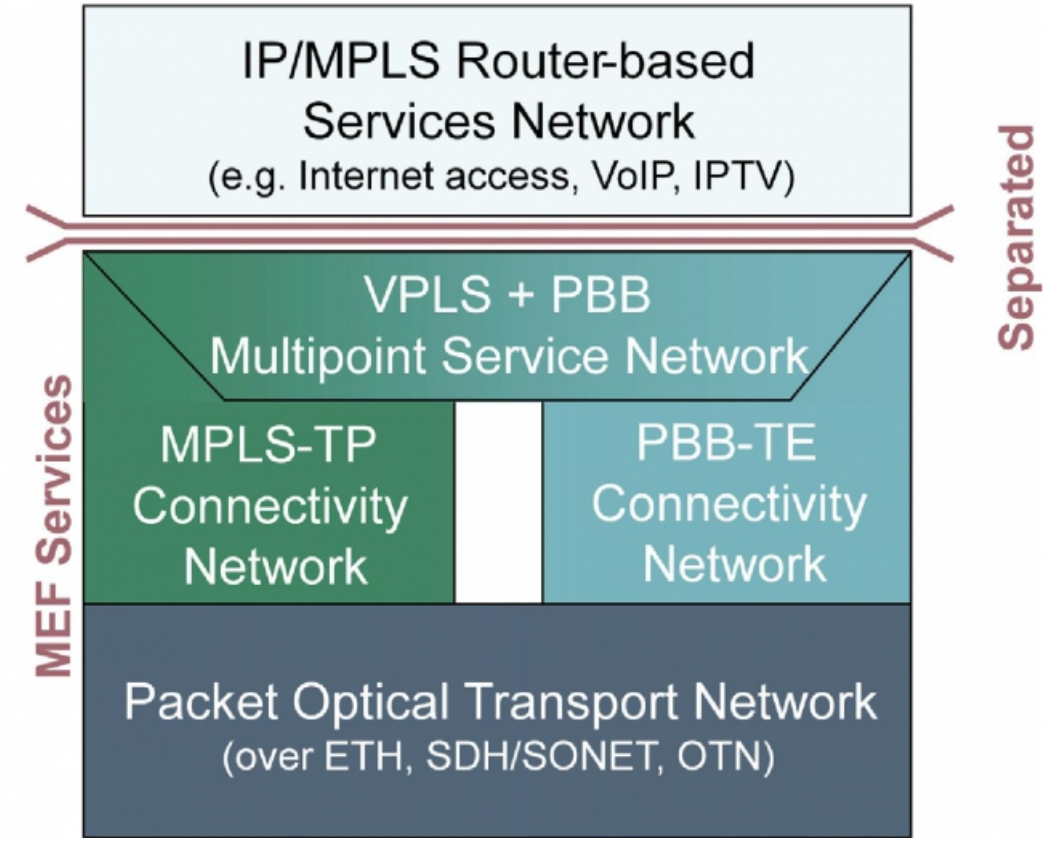


Рисунок 4: Многопротокольный транспорт P-OTN и архитектура коммутации

Краткий экскурс в MPLS-TP

Изначально стандарт MPLS был разработан IETF главным образом для решения проблем производительности IP маршрутизации, но по прошествии 10 лет он получил широкое распространение у операторов для построения сетевых ядер IP/MPLS и как основная платформа для обеспечения сервисов передачи данных, таких как IP-VPN и дистанционные Ethernet услуги.

В связи с возрастающим значением пакетных сетей, в какой-то момент ITU-T заинтересовался адаптацией MPLS к применению в сетях с уровнем качества операторского класса, функционирующих в соответствии с установленными ITU-T архитектурными принципами. Считалось, что MPLS не хватает главных транспортных атрибутов, таких как жесткий SLA, детерминированное поведение сети и сквозной OAM.

Начиная с 2008 года над стандартом MPLS-TP трудится объединенная рабочая группа, состоящая из представителей ITU-T и IETF. В результате этой работы MPLS станет удовлетворять требованиям, предъявляемым ITU-T к уровню транспортной сети. Разработка MPLS-TP вытекает из более раннего протокола T-MPLS, работа над которым была начата ITU-T в 2005 году, но теперь прекращена. Совсем скоро протокол MPLS-TP будет полностью описан несколькими IETF RFC, а в течение 2011 года ожидается его появление в виде Рекомендаций ITU-T.

MPLS-TP основан на том же архитектурном принципе сетевых уровней, что используется сегодня в крупномасштабных сетях OTN и SDH/SONET. Операторы связи уже имеют разработанные процессы управления и высокоуровневые рабочие процедуры, основанные на этих принципах. MPLS-TP обещает стать тем решением, которое обеспечит трансформацию знакомых и надежных пакетных технологий (таких как IP/MPLS) в форму, принятую в организационных процессах традиционных транспортных сетей с коммутацией каналов, добавив к этому возможность обслуживания Ethernet и других клиентно-ориентированных сервисов.

MPLS-TP это ориентированная на соединения пакетная сеть на основе MPLS, которая обеспечивает управляемые сквозные соединения к сетям клиентского уровня (таким как Ethernet). Это специально выделенная реализация MPLS, где удалены все лишние функции, не имеющие отношения к коммутации пакетных соединений, и добавлены ключевые функциональные возможности, такие как QoS, сквозной OAM и зарезервированная коммутация, обеспечив тем самым полную детерминированность сети.

Таким образом, MPLS-TP это новая разновидность MPLS, специально предназначенная для применения в транспортных сетях. Она опирается на хорошо известные и широко использующиеся технологии и стандарты сетей IP/MPLS, но без всей его избыточности, не имеющей отношения к приложениям на основе соединений, и без пробелов в транспортной функциональности. MPLS-TP

может рассматриваться как основа сетей Ethernet и транспортных сетей OTN.

В отличие от классического MPLS, MPLS-TP не поддерживает режим без установления соединения, у него более простые возможности, он менее сложен и более управляем. Он открывает путь к транспортной технологии с низкой стоимостью коммутации на втором уровне, где устранена вся избыточность маршрутизации третьего уровня. Это должно привести к появлению на рынке оборудования и решений, удовлетворяющих пожеланиям операторов к архитектуре и стоимости сетей следующего поколения.

Основные характеристики MPLS-TP

Подобно существующим транспортным сетям, MPLS-TP определяет сеть как совокупность взаимодействующих слоев, имеющих строгое разделение на слой клиента и слой сервера (сервиса). В соответствии с требованием IETF, любой вновь определяемый компонент протокола или новый функционал будут применяться в MPLS с учетом и совместно с MPLS-TP. Поэтому все новые компоненты и возможности будут появляться как часть инструментария MPLS, в состав которого входит расширенное подмножество MPLS-TP.

Хотя детализованное определение MPLS-TP все еще находится в проработке, его основные характеристики следующие:

- Удовлетворение функциональным требованиям операторов к транспортным приложениям;
- Переиспользование существующих стандартов везде где это возможно, минимизация разработки новых стандартов;
- Непротиворечие архитектуре MPLS и ее форвардинг-парадигме;
- Плоскость передачи данных идентична MPLS;
- Переиспользование понятия псевдопровода и конструкции LSP MPLS;
- Взаимодействие с существующими сетями MPLS и PW;
- IP-форвардинг не требуется для обеспечения OAM или пакетов данных;
- Плоскость контроля не требуется: обслуживание (автоматическое и ручное) может осуществляться через управление сетью;
- Нет зависимости от маршрутизации или сигнализации (например, GMPLS или IGP, RSVP, BGP, LDP);
- В качестве будущей плоскости динамического контроля предполагается вариант использования ASTN/GMPLS;
- Если для конфигурирования LSP/PWE-цепей используется плоскость контроля, то его пропадания и восстановления не должны влиять на передачу данных;
- OAM должен быть способен переключать пути восстановления трафика;
- Без взаимодействия с плоскостью контроля и управления;
- Двунаправленные и конгруэнтные LSP точка-точка должны соответствовать двунаправленным соединениям и следовать через те же узлы и соединения;
- Multicast обеспечивается в режиме точка-многоточка, а не в режиме многоточка-многоточка;
- Трафик и OAM должны проходить по сети одним путем, обеспечиваемым метками TAL и каналами GE-CH сети MPLS-TP, это позволит обработать OAM на промежуточных узлах в случае необходимости;
- Не допускать объединения LSP, что позволит избежать потерь первичной информации, необходимой для корректной работы OAM и PM;
- Исключить PHP, чтобы избежать потерь MPLS меток, необходимых для целей OAM (и избежать IP-lookup на последнем узле);
- Исключить ECMP, чтобы избежать дополнительной обработки IP заголовков и быть уверенным, что OAM имеет тот же путь, что и основной трафик.

Акцент на OAM

Ключевые усовершенствования MPLS (за счет MPLS-TP), такие как установление двунаправленных соединений точка-точка и сквозные средства резервирования, дают оптимальный контроль над ресурсами транспортной сети и приводят к сокращению операционных расходов. Наиболее важным аспектом пакетного транспорта является поддержка расширенного OAM, который определяется ITU-T как Y.1731 и IEEE как 802.1ag в соответствии с существующими потребностями транспортных сетей – Рисунок 5. Такие функции как AIS, RDI, проверка соединения, диагностика причин потери связи и прочие, позволяют операторам управлять различными уровнями и доменами сети в единой системе мониторинга.

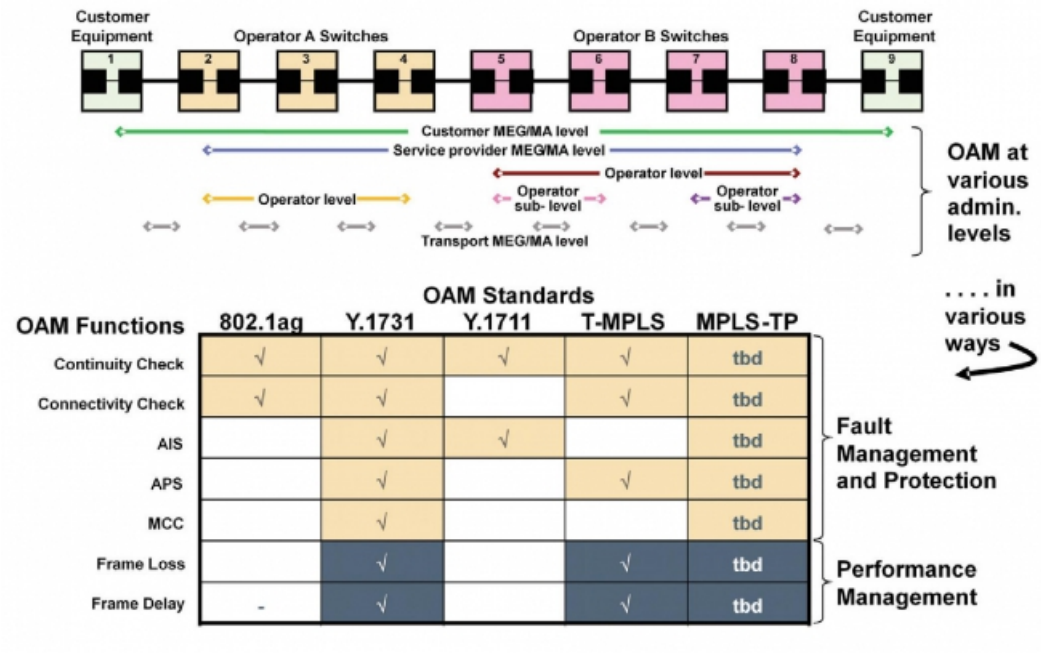


Рисунок 5: От OAM требуется мониторинг тысяч соединений в реальном времени

Как явствует из Рисунка 4, MPLS-TP еще предстоит определить все возможности OAM. Вполне возможно, что функциональность Y.1711 (MPLS OAM) и Y.1731
(Ethernet OAM) будут объединены в одну архитектуру. Разумеется, операторы ожидают соответствия возможностей OAM многоуровневым сетям и взаимодействия в различных уровнях и технологиях (L2, PWE, LSP). Для многих очевидно, что для адаптации в MPLS-TP необходимо использовать не так давно стандартизированный Ethernet OAM (ITU-T Y.1731).

Переход к пакетным сетям P-OTN как дальнейшее развитие NGN

Благодаря гибкости MPLS, MPLS-TP будет расширять сферу своих интересов и возможно распространится на сети доступа. Определенные проблемы, такие как легкое масштабирование, простая управляемость, высокая устойчивость, еще не полностью решены, но базовая архитектура MPLS доказала свою расширяемость и способна обеспечить долговечность этого направления.

Как показано на Рисунке 6, пакетные транспортные сети должны позволить операторам управлять эффектом экономии на масштабе при развитии сетей NGN аналогично тому, как это было в традиционных сетях. Введение технологий с установлением соединений, таких как MPLS-TP или PBB-TE, расширяет возможности масштабирования пакетных сетей и упрощает их. Огромное значение для следующего этапа трансформации к сетям NGN даст интеграция и преобразование MPLS-TP в форму полнофункционального уровня сети P-OTN.

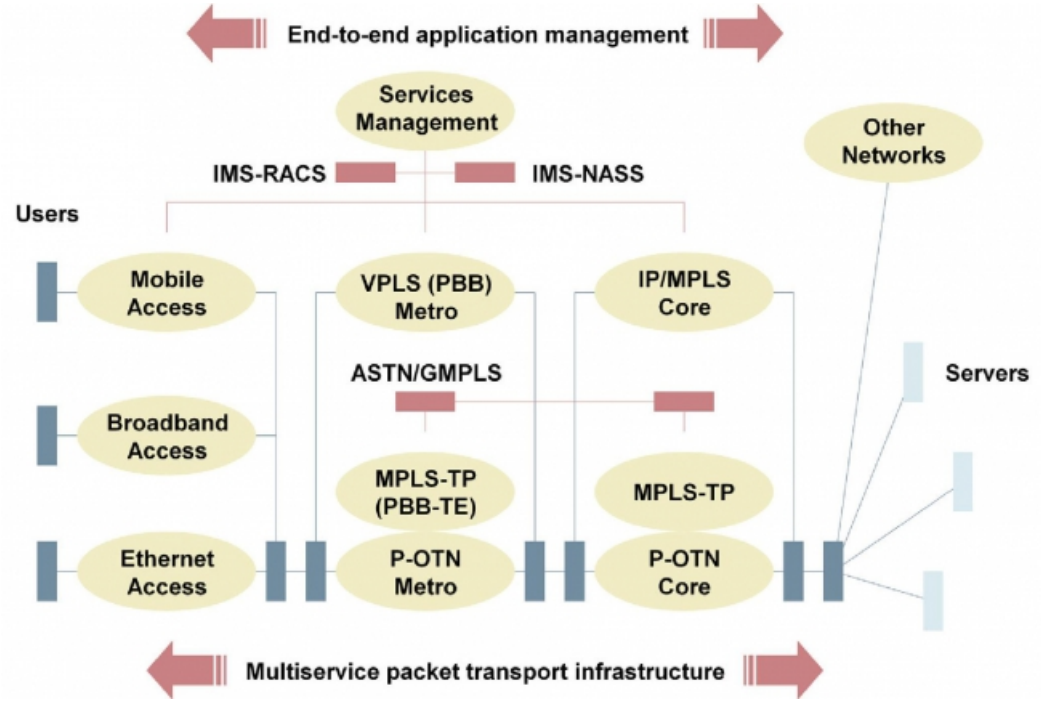


Рисунок 6: Универсальная архитектура NGN, транспортные опции

В завершении отметим фундаментальные характеристики транспортных сетей с уровнем качества операторского класса. Добавление MPLS-TP к инструментарию операторов предоставляет новые средства для развития и удовлетворения возрастающих требований современных приложений, одновременно решая экономические вопросы. Ключевые характеристики включают:

- Соотношение цена/качество: достигается благодаря низкой удельной стоимости на единицу полосы пропускания и покрываемой территории, как в сегментах Customer/Access и Edge/Metro, так и в Core/Backbone областях;
- Широкие сервисные границы: сеть охватывает всю географию расположения клиента;
- Многофункциональность: расходы являются общими для всего множества видов деятельности оператора;
- Детерминизм: полностью предсказуемое поведение сети в условиях высокой нагрузки и в целях надежного предоставления услуг;
- Высокая доступность: сеть с низкой интенсивностью отказов, быстрым срабатыванием защиты и дополнительными схемами восстановления;
- Высокий уровень QoS: предсказуемые задержка и джиттер, низкий уровень ошибок, отсутствие потери пакетов;
- Управление трафиком: свобода в выборе путей (не обязательно самый короткий) без составных зависимостей;
- Прозрачность: весь трафик конечного пользователя остается неизменным;
- Улучшенная безопасность и отделение сервисов: конфиденциальная поддержка любых данные клиента;
- SLA: гарантии оператора по производительности и доступности сервисов;
- Высокая масштабируемость: поскольку предполагается постоянный рост сети в течение многих лет;
- Агрегация услуг и иерархичность трафика: для максимизации эффективности использования развернутых сетей и средств;
- Удаленное управление: устранение дорогого и медленного ручного вмешательства;
- Простота обслуживания: эксплуатирующий штат может быть легко сформирован и обучен, что снижает общую стоимость владения;
- Функциональная совместимость: достижение эффективности в много-вендорных и много-операторских условиях.

Вышеупомянутые характеристики определяют общий тренд экономии за счет масштабов, который затем может быть усилен внедрением необходимой платформы для реализации определенных служб или новых сетевых функций. Поскольку операторы переводят свои сети на пакетный транспорт для обеспечения «пакетного будущего» кажется справедливым предположение, что многие будут искать те же самые значения, атрибуты и характеристики, которые продолжают хорошо служить и сегодня.

Заключение

Несмотря на оптимистичное видение будущего, у пакетных транспортных сетей все еще остаются некоторые проблемы, в частности в области поддержки нескольких протоколов, OAM операторского уровня, быстрое восстановление аварий и четко детерминированный и дифференцированный QoS.

Основные функциональные проблемы, с которыми сегодня сталкиваются разработчики и которые являются основными движущими целями, включают в себя:

- Нагромождение множества быстро меняющихся стандартов (PBB-TE, MPLS-TP, PBT, T-MPLS, VPLS);
- Сквозной OAM, ассоциированный с тысячами транспортных потоков (ITU-T Y.1731, IEEE 802.1ag);
- Новые взаимосвязанные протоколы (IETF/ITU-T MPLS-TP и IEEE 1588v2);
- Защитное переключение <50мс для различных топологий резервирования (линейные и кольцевые, полносвязные и ячеистые структуры, FRR);
- Детерминированный и дифференцированный QoS для больших агрегированных потоков трафика (большой объем памяти для буферов, низкая задержка обработки, множество классов, иерархическое управление);
- Специфические функции и интерфейсы у операторов и у поставщиков;
- Однородные решения от малых до больших систем;
- Минимизация занимаемой площади и потребления питания.

Насущная проблема в том, чтобы продемонстрировать оператору реальные преимущества, которые он получит в результате перехода на пакетные сервисы и новую пакетную архитектуру сети. Архитектура P-OTN предоставляет оператору поддержку технологий Carrier-Ethernet и MPLS, дает хорошую масштабируемость на фоне упрощения пакетной сети и обеспечивает минимальную удельную стоимость полосы пропускания на единицу передаваемой информации. Трудно переоценить роль P-OTN в будущем NGN. В этой связи можно ожидать светлого будущего для P-OTN,

однако также можно предположить, что в течение ближайших нескольких лет эволюция сетей может пойти в двух независимых направлениях – по архитектурному или по функциональному путям развития. В любом случае существует твердая уверенность, что MPLS-TP будет фигурировать в качестве ключевого элемента будущих сетей P-OTN.

Глоссарий

AIS Alarm Indication Signal

APS Automatic Protection Switching

ASIC Application Specific Integrated Circuit

ASSP Application Specific Standard Product

ASTN Automatic Switched Transport Network

BGP Border Gateway Protocol

CapEx Capital Expenditure

co-ps Connection oriented packet switching

ECMP Equal Cost Multiple Path

EoSDH/SONET Ethernet over SDH/SONET

ETH Ethernet

FPGA Field Programmable Gate Array

FRR Fast Re Route

GE ACH Generic Associated Channel

GMPLS Generalized MPLS

ICT Information and Communications Technology

IEEE Institute of Electrical and Electronic Engineers

IETF Internet Engineering Task Force

IGP Interior Gateway Protocol

IMS IP Multimedia Subsystem

IP Internet Protocol

IPTV IP Television

IP-VPN IP Virtual Private Network

ITU-T International Telecommunication Union - Telecommunication Sector

L2 Layer 2

L3 Layer 3

LDP Label Distribution Protocol

LSP Label Switched Path

MCC Management Control Channel

MEAD MPLS Interoperability Design

MEF Metro Ethernet Forum

MPLS Multi-Protocol Label Switching

MPLS-TP MPLS-Transport Profile

MSPP Multi-Service Provisioning Platform

MSTP Multi-Service Transport Platform

NASS Network Attachment Subsystem

NGN Next-Generation Network

NG-SDH Next-Generation SDH

NPU Network Processing Unit

OAM Operations, Administration and Maintenance

OpEx Operating Expenditure

OTN Optical Transport Network

p.a. Per annum

p2mp Point to multipoint

p2p Point to point

PBB Provider Backbone Bridge

PBB-TE PBB – Traffic Engineering

PBT Provider Backbone Transport

PDH Plesiochronous Digital Hierarchy

PHP Penultimate Hop Popping

PM Performance Monitoring

P-OTN Packet-OTN

P-OTP Packet-Optical Transport Platform

PW Pseudo Wire

PWE3 Pseudo-Wire Emulation Edge-to-Edge

QoS Quality of Service

RACS Resource and Admission Control Subsystem

RDI Reverse Defect Indication

RFC Request For Comment

ROADM Reconfigurable OADM

RSVP Resource Reservation Protocol

SDH Synchronous Digital Hierarchy

SLA Service Level Agreement

SONET Synchronous Optical Network

TAL MPLS-TP Alert Label

TCO Total Cost of Ownership

TDM Time Division Multiplexing

T-MPLS Transport-MPLS

VoIP Voice over IP

VPLS Virtual Private LAN Service

VPN Virtual Private Network

WDM Wavelength Division Multiplexing

WG Working Group