О КОНФИГУРАЦИЯХ типа Alien Wavelength на оптических транспортных сетях

С.Коган, к.т.н., руководитель отдела подготовки оптических транспортных решений и технических предложений компании NOKIA, ION East Europe / semen.kogan@nokia.com

УДК 621.395.741, DOI: 10.22184/2070-8963.2017.67.6.20.27

Внедрение конфигураций Alien Wavelength на DWDM ВОСП наиболее перспективно в тех случаях, когда необходимо повысить эффективность использования группового тракта DWDM-сетей предыдущего поколения и/или обеспечить эффективное взаимодействие между сервисными маршрутизаторами поверх транспортного DWDM-уровня с использованием в сервисных маршрутизаторах "цветных" линейных оптических интерфейсов как в существующих, так и перспективных мультивендорных программно-определяемых сетях WAN SDN.

ВВЕДЕНИЕ

В технике волоконно-оптических транспортных систем передачи (ВОСП) термин Alien Wavelength ("чужие", или "внешние" длины волн) используется для описания каналов (длин волн), которые организуются поверх DWDM группового линейного тракта данного производителя, но не формируются и не терминируются на оборудовании этого производителя. Это определение иллюстрируется на рис.1.

К основным составляющим DWDM ВОСП можно отнести:

- **полка (шасси)** оптического (фотонного) уровня – в нее могут устанавливаться все основные компоненты линейного тракта системы DWDM, например, фиксированные (FOADM) и/или реконфигурируемые (ROADM) оптические мультиплексоры/демультиплексоры ввода/вывода (включая программно-управляемые селективные переключатели по длинам волн оптического излучения – Wavelength Selective Switch, WSS); оптические усилители (EDFA и/или RAMAN), встроенные средства мониторинга оптических каналов и группового

линейного тракта в целом на фотонном уровне, например, подсистема WaveLength Tracker (WT) в оборудовании NOKIA 1830PSS; контроля оптического волокна, например, встроенные в оборудование узлов сети рефлектометры OTDR, и т.п. Как правило, это разработки конкретного производителя оборудования, а соответствующие блоки и модули ориентированы на их установку и эксплуатацию в полки оборудования данного производителя;

- **линейный тракт систем** – представляет собой комбинацию в узлах сети полок (шасси) оптического (фотонного) уровня в различных конфигурациях с блоками, указанными выше. К основным конфигурациям узлов линейного тракта можно отнести узлы промежуточного усиления Inline Amplifier (ILA); оптического окончания группового линейного тракта с вводом/выводом каналов (Optical Terminal Multiplexer, OTM); реконфигурируемого ввода/вывода оптических каналов (ROADM). В состав этих узлов в зависимости от их функционального назначения могут включаться также компенсаторы хроматических дисперсионных искажений, оптический

Рис.1. Подключение сервисного маршрутизатора и/или оптического транспондера другого производителя к существующей ВОСП

рефлектометр и т.п. Линейный тракт DWDM реализуется, как правило, на оборудовании одного производителя;

- **транспондеры/мукспондеры** – устройства, которые преобразуют клиентские сигналы, подключаемые посредством так называемых черно-белых (ч/б) – ненормированных по длине волны оптического излучения – интерфейсов (например, для подключения клиентского сигнала 100 GbE можно использовать интерфейсы 100GBASE-LR4, 100GBASE-SR10 и т.п.) в "цветной", то есть в линейный интерфейс DWDM с нормированной длиной волны в соответствии с рекомендацией МСЭ-T (сетки частот 100 ГГц, 50 ГГц, FlexGrid). Например, в оборудовании NOKIA 1830PSS используются разнообразные линейные когерентные интерфейсы для оптических каналов с различной пропускной способностью и дальностью передачи (100G на одной несущей с форматом модуляции DP-QPSK или SP-DP-QPSK либо на двух несущих с форматом DP-BPSK (2×50G); 200G на одной несущей с форматом DP-16QAM или DP-8QAM либо на двух несущих (2×100G) с форматами модуляции, указанными для каналов 100G выше; 400G на одной несущей с форматом DP-64QAM или на двух несущих (2×200G) с форматами модуляции, указанными для каналов 200G выше; 500G на двух несущих (2×250G) с форматом DP-16QAM для каждой несущей и т.п.

Штатные оптические транспондеры / мукспондеры устанавливаются, как правило, в полки линейного тракта данного производителя.

1. ЧЕМ ИНТЕРЕСНЫ КОНФИГУРАЦИИ ТИПА ALIEN WAVELENGTH

Практика внедрения конфигураций Alien Wavelength показала, что операторы сетей и провайдеры услуг ориентируются, в основном, на следующие преимущества такого решения:

- снижение затрат на расширение ВОСП за счет организации взаимодействия с маршрутизаторами сервисного уровня IP/MPLS на уровне "цветных" линейных интерфейсов без установки на узлах DWDM-сети транспондеров/мукспондеров. Следует отметить, что это преимущество может и не проявиться на практике, если производитель оборудования линейного тракта DWDM имеет продвинутые технические решения для транспондеров/мукспондеров и готов проявить гибкость в коммерческих вопросах;
- использование более дешевых и имеющих меньшее энергопотребление транспондеров/мукспондеров других производителей, возможно, также и с целью исключения дополнительных затрат на промежуточные узлы с регенерацией сигнала на электрическом уровне (ОЕО), если подобной регенерации не избежать при использовании штатных транспондеров установленного на линии оборудования DWDM. Экономический эффект в этом случае достигается за счет как исключения затрат на закупку транспондеров для регенерации сигнала в промежуточных узлах на протяженных магистральных сетях, так и существенной экономии в общем энергопотреблении

системы. Следует отметить, что это преимущество также исчезает, если производитель оборудования линейного тракта DWDM имеет продвинутое технические решения, позволяющие избежать дополнительных узлов регенерации;

- предоставление новых услуг (оптических каналов) без внесения каких-либо существенных изменений в конфигурацию существующего линейного тракта DWDM данного производителя. Например, за счет применения транспондеров/мукспондеров из состава следующего поколения оборудования DWDM данного производителя могут быть повышены технико-экономические показатели при продолжении использования предыдущего поколения такого оборудования. Однако, если существующая система DWDM имеет неиспользованную емкость и доступные свободные посадочные места (слоты) в полках, то, при наличии штатных высокоэффективных оптических транспондеров/мукспондеров 100G, 200G и т.п., смысл использования внешних транспондеров/мукспондеров практически пропадает.

Использование оборудования других производителей может существенно усложнить управление сетью. Связано это с тем, что у каждого производителя оборудования имеется своя система управления сетью. Наличие нескольких систем управления (например, одной для линейного тракта и штатных транспондеров, другой – для транспондеров другого производителя), а также отличий в критериях, используемых в подсистемах мониторинга качества каналов и активизации переключений при реализации разнообразных защитных механизмов в оборудовании разных производителей, может существенно затруднить предоставление услуг операторского класса, то есть из конца в конец (E2E) с гарантированным качеством и с высокой надежностью. Более того, в такой системе вряд ли удастся на практике реализовать, например, подсистему автоматического восстановления соединений на уровне оптических каналов (restoration) с использованием алгоритмов GMPLS и т.п. В конечном счете эти недостатки могут свести на нет те преимущества от использования "чужих" транспондеров на линейном тракте данного производителя, которые были упомянуты выше.

2. ВАРИАНТЫ КОНФИГУРАЦИЙ ALIEN WAVELENGTH НА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

а. Подключение сервисных маршрутизаторов с "цветными" интерфейсами к DWDM-сети

В перспективных пакетно-ориентированных оптических сетях можно избежать применения транспондеров за счет использования интегрированных в маршрутизаторы линейных "цветных" интерфейсов. Сигнал с такого пакетно-оптического интерфейса может быть передан по линейному тракту системы DWDM без использования штатных оптических транспондеров/мукспондеров. В том случае, когда "цветной" интерфейс маршрутизатора подключается к линейному тракту DWDM-системы, он рассматривается как Alien Wavelength. При этом предполагается, что такой канал формируется и терминируется с двух сторон тракта на маршрутизаторах. Термин Alien используется по той причине, что оптический канал (длина волны) сформирован не оптическим транспондером, установленным в полку оборудования DWDM данного поставщика, а внешним оборудованием.

б. Подключение оптических транспондеров другого производителя с "цветными" интерфейсами к DWDM-сети

В качестве внешнего оборудования может быть использован оптический транспондер другого производителя. Многие компании хотели бы продавать отдельные компоненты транспортной системы DWDM, особенно мукспондеры/транспондеры.

Связано это не только с тем, что транспондеры являются наиболее сложными, дорогими и приносящими существенную долю прибыли производителям оборудования устройствами. Основная тенденция последнего времени – быстрые темпы развития всех технологий, имеющих отношение к системам передачи DWDM. Растут объемы передаваемого по системам DWDM трафика, появляются новые форматы модуляции и сетки частот, ориентированные на реализацию более высокоскоростных оптических каналов, внедряются когерентные приемопередатчики с перспективными цифровыми сигнальными процессорами, реализующие более эффективные алгоритмы исправления ошибок (FEC), подавления хроматических и поляризационных дисперсионных искажений, возникающих при передаче сигналов по оптическому волокну (ОВ) и т.п. Доступны высоконадежные и более экономичные по энергопотреблению решения со сменными "цветными" интерфейсами (например, CFP2-ACO или CFP2-DCO для каналов 100G и т.п.).

При существующем темпе развития штатные транспондеры на существующих сетях могут не справиться с новыми задачами, а возможности групповых линейных трактов DWDM могут остаться в значительной мере не реализованными. Подключение к групповому линейному тракту вместо штатных более "продвинутых" оптических транспондеров другого производителя может продлить жизненный цикл существующей DWDM-сети, улучшить ее характеристики, обеспечить увеличение общей пропускной способности и дальности передачи без использования промежуточных узлов регенерации ОЕО.

При реализации конфигурации Alien Wavelength следует учитывать то обстоятельство, что в узлах сетевых канальных оконечий, то есть с двух сторон тракта, должны быть использованы транспондеры/мукспондеры одного и того же производителя. Это условие связано с тем, что параметры приемопередающих линейных интерфейсов оптических каналов по существующим международным рекомендациям не имеют строгих ограничений, что позволяет разработчикам использовать новые методы модуляции оптических сигналов и их обработки для повышения дальности передачи,

спектральной эффективности и пропускной способности системы, а также повышения надежности и улучшения ее эксплуатационных характеристик (OAM).

в. Организация составного группового линейного тракта DWDM, включающего узлы на оборудовании разных производителей

В этом случае оптические каналы формируются в транспондерах данного производителя, а передаются по групповому тракту, одна часть узлов которого построена на оборудовании того же производителя, а другая часть – на оборудовании другого производителя. Комментарий к подобным конфигурациям приведен ниже.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ТРАНСПОРТНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ В КОНФИГУРАЦИИ ALIEN WAVELENGTH

Эти требования включают следующее:

- **канальный план (сетка частот для оптических каналов)** – "цветные" линейные интерфейсы маршрутизаторов или оптических транспондеров/мукспондеров других производителей должны быть совместимы во всем диапазоне перестройки по длинам волн с диапазоном

длин волн линейного тракта (min/max tuning ranges) и сеткой частот в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т;

- **уровни оптической мощности** должны быть сопоставимы между собой. Имеется в виду, что должны быть согласованы диапазоны изменения уровней (в дБм) оптической мощности сигналов на портах ввода/вывода в конечных и промежуточных узлах оптического линейного тракта данного производителя и на входе/выходе линейных интерфейсов маршрутизаторов и/или оптических транспондеров/мультиплексоров других производителей. Совместимость по уровням оптической мощности является важным требованием, необходимым для обеспечения всего диапазона качественных характеристик оптических каналов. Возможно, что придется подрегулировать уровень выходной оптической мощности на линейных портах маршрутизаторов или транспондеров/мультиплексоров программным путем с использованием встроенных eVOA (дистанционно управляемых оптических аттенюаторов) или за счет установки дополнительных регулируемых или фиксированных оптических аттенюаторов VoA;
- **совместная работа новых Alien-каналов с уже существующими на уровне линейного тракта оптическими каналами** – когерентные интерфейсы (например, 100G DP-QPSK) и соответствующие оптические каналы в общем случае хорошо совместимы с расположенными по соседству (по частотной шкале) другими когерентными каналами. Однако надо быть особенно внимательными, если соседними являются каналы (длины волн) 10G, где используется модуляция по интенсивности оптического излучения (on-off keying, OOK). В этом случае надо критично отнестись к использованию соседних длин волн с тем, чтобы избежать ухудшения параметров из-за возможных нелинейных взаимодействий между каналами в линейном тракте.

4. КОНФИГУРАЦИИ ALIEN WAVELENGTH В ОБОРУДОВАНИИ DWDM КОМПАНИИ NOKIA

В качестве примера рассмотрим оборудование 1830 PSS. Оно поддерживает конфигурации Alien Wavelength как для пропуска оптического сигнала от стороннего оборудования в составе собственного группового сигнала, так и наоборот, то есть с использованием группового тракта,

организованного на аппаратуре другого поставщика, для передачи по нему оптического сигнала между транспондерами/мультиплексорами из состава 1830PSS. Подобные конфигурации в большинстве случаев реализуемы, но, как правило, требуют тщательных предварительных моделирования и тестирования на реальных сетях. При практической реализации неизбежно возникнет вопрос использования не одной, а как минимум двух систем управления, а также разделения зон ответственности с целью обеспечения гарантированного выполнения требований SLA.

Ниже представлен перечень исходных данных, которые понадобятся для моделирования:

- данные по ОВ по каждому оптическому участку:
 - тип ОВ (например, SMF-28, LEAF и т.п.);
 - протяженность каждого участка с ОВ;
 - потери на каждом участке с ОВ;
 - наличие и расположение оптических аттенюаторов;
 - значения километрического коэффициента хроматической дисперсии и крутизны (в зависимости от длины волны) этой характеристики (например, 16,7 пс/км·нм, 0,055 пс/км²);
 - значение километрического коэффициента поляризационных дисперсионных искажений (PMD) (например, 0,05 пс/√км);
 - наличие (или отсутствие) в узлах сети компенсаторов хроматической дисперсии;
- данные по линейному тракту:
 - сетка частот для длин волн (например, 50 ГГц, 100 ГГц или FlexGrid),
 - наличие других оптических каналов на этом же участке, скорость передачи и формат модуляции для всех занятых длин волн (оптических каналов) (например, канал 100G с форматом модуляции DP-QPSK на длине волны 1538,98 нм),
 - уровень оптической мощности для каждого канала (длины волны) на входе/выходе каждого оптического усилителя существующего линейного тракта;
- системные данные транспондера/мультиплексора другого (по отношению к линейному тракту) производителя в части параметров "цветного" линейного интерфейса:
 - скорость передачи и формат модуляции,
 - сетка частот,
- минимальный и максимальный уровни оптической мощности линейного интерфейса на стороне передачи,

- минимально допустимый уровень оптической мощности линейного интерфейса на приемной стороне.

Как отмечалось выше, должны быть реализованы демаркационные точки, позволяющие выделить результаты мониторинга оптических каналов по всему маршруту прохождения линейного тракта данного производителя. В оборудовании 1830PSS в качестве демаркационных устройств предусмотрены специальные платы с группой программно-управляемых оптических аттенюаторов (SVAC или MVAC), через которые внешние транспондеры или сервисные маршрутизаторы подключаются к существующему линейному тракту. Там же находятся кодеры и декодеры встроенной подсистемы WT, используемой для мониторинга штатных и внешних каналов на фотонном уровне системы 1830PSS.

Для обеспечения высокой надежности предоставления сервисов предусмотрены средства резервирования оптического сигнала (блок OPSA), поступающего с линейных портов внешних устройств, для передачи его по основному и резервному направлению и переключению сигнала на приемной стороне оптической транспортной системы с основного направления на резервное при потере сигнала с основного направления линии (например, по получении сигнализации LOS) или поступлении команды от контроллера полки. В 1830PSS одним из источников команды на переключение на резерв может быть сигнал об ухудшении качества передачи от подсистемы WT мониторинга каналов на фотонном уровне.

5. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СОСТАВНОГО ГРУППОВОГО ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА DWDM, ВКЛЮЧАЮЩЕГО УЗЛЫ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ НА ОБОРУДОВАНИИ РАЗНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

В общем случае режим Alien Wavelength только на части маршрута данного канала не применяется. Иначе говоря, на практике не применяется составной групповой линейный тракт DWDM, когда, например, оптический сигнал (длина волны) от штатного транспондера/мультиплексера системы 1830PSS включается в состав группового сигнала на узле с линейным оборудованием 1830PSS, затем достигает некоторой промежуточной точки (узла), где извлекается из группового сигнала (например, в узле ROADM на оборудовании 1830PSS), а затем повторно вводится в групповой сигнал, но уже на узле ROADM, где установлено оборудование другого поставщика (назовем его условно Vendor X), преодолевая оставшуюся часть маршрута в режиме Alien Wavelength.

Важным обстоятельством является то, что в оборудовании разных вендоров применяются свои частные решения для обслуживания и мониторинга сигналов (каналов) на фотонном уровне, что затрудняет сквозной мониторинг оптических каналов на составном групповом линейном тракте (OAM). Кроме того, на каждой части сети применяются подсистемы, использующие результаты работы своих штатных подсистем мониторинга сигналов на фотонном уровне для автоматической регулировки уровней мощности оптических каналов и группового сигнала с целью

Рис.3. Интеграция сетевых инфраструктур IP и Optical на уровне обмена данными и создания сервисов (NMS/Control/Data Planes)

достижения наилучших результатов по дальности передачи при реализации заданных запасов по значениям OSNR и нелинейных взаимодействий с другими каналами. Например, как упоминалось выше, в системе 1830PSS используется встроенная система мониторинга на фотонном уровне WT, а в оборудовании у многих других производителей используются спектроанализаторы и т.п.

Задача создания составной DWDM-линии может быть решена путем добавления в промежуточной точке между двумя участками составного группового тракта, реализованных на оборудовании разных производителей, узла регенерации OEO для каждого оптического канала. Именно в этом случае, как показано на рис.2, создается реальная демаркационная точка в составном тракте, и он становится реализуемым.

Наличие демаркационной точки OEO позволяет полностью реализовать возможности обеих частей составного группового тракта по мониторингу каналов, реализации их автоматической подстройки и защитных механизмов на фотонном уровне.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тех случаях, когда на существующих сетях DWDM используется оборудование предыдущего поколения, параметры которого по пропускной способности и дальности передачи уже не устраивают оператора, оптические транспондеры с самыми современными

возможностями, входящие в состав DWDM-систем нового поколения того же или другого производителя, могут быть подключены к существующей транспортной сети предыдущего поколения в конфигурации Alien Wavelength. Такое решение позволяет значительно повысить пропускную способность каналов, а также спектральную эффективность и общую пропускную способность существующей сети DWDM. Например, на многих сетях в России и по всему миру установлено оборудование Alcatel-Lucent 1626LM предыдущего поколения. Подключение когерентных оптических транспондеров 100G (а также 200G и т.д. из состава OTN/DWDM-системы NOKIA 1830PSS) к узлам сети 1626LM в конфигурации Alien Wavelength позволило не только продлить срок эксплуатации упомянутого оборудования, но и значительно расширить пропускную способность и дальность передачи по линейным трактам существующих сетей. Еще одним важнейшим преимуществом такого решения является возможность использования единой, как правило, уже имеющейся на сети, системы централизованного управления сетью для управления разными поколениями оборудования DWDM данного производителя.

Типового решения для создания составного группового линейного тракта без использования между его частями демаркационной точки с OEO-регенерацией для каждого канала не существует. При этом не исключено, что подобное решение

может быть физически реализовано на конкретной сети. Однако такие конфигурации вызовут определенные вопросы у персонала, которому предстоит эксплуатировать подобную мультивендорную сеть. На такой сети также потребуются обнаружить и локализовать любую неисправность, предоставлять новые сервисы, изменять их маршруты по требованию пользователей и др. Именно по этой причине перед практическим внедрением подобных мультивендорных и мультисервисных сетевых конфигураций (если подобное решение принимается к внедрению) потребуются тщательное планирование (моделирование) в лаборатории, а затем проведение натурных испытаний как в лаборатории, так и на реальной сети.

К наиболее перспективным решениям можно отнести внедрение конфигураций Alien Wavelength на существующих DWDM ВОСП в тех случаях, когда необходимо обеспечить эффективное взаимодействие между сервисными маршрутизаторами поверх транспортного DWDM-уровня, построенного на оборудовании любого производителя, с использованием у сервисных маршрутизаторов "цветных" линейных оптических интерфейсов (IP/OPTICS Data Plane Integration), что иллюстрирует рис.3.

При интеграции сетевых инфраструктур IP и Optical можно использовать, например, алгоритм GMPLS для создания оптических соединений по запросу (полоса по требованию), когда маршрутизатор запрашивает у ближайшего узла DWDM через GMPLS UNI-интерфейс создание нового соединения с другим маршрутизатором поверх транспортной сети. С использованием функциональности GMPLS такое соединение устанавливается на оптической транспортной сети автоматически (IP/OPTICS Control Plane Integration). Функциональность GMPLS обеспечит также реализацию на оптической транспортной сети алгоритма восстановления соединений (restoration) при обрыве ОВ и других отказах. При реализации конфигурации Alien Wavelength в сети IP/OPTICS, построенной на оборудовании одного производителя, можно использовать единую систему управления сетью (IP/OPTICS NMS/Management Integration). В этом случае обеспечивается автоматическое создание и сквозной мониторинг IP-соединений (например, IP VPN) поверх интегрированной транспортной инфраструктуры. Для автоматизации создания сервисов на интегрированной мультивендорной IP/OPTICS сетевой инфраструктуре в перспективе могут быть использованы решения для программно-определяемых сетей WAN SDN. ■