ТРАНСПОРТНАЯ СЕТЬ 5G/IMT-2020

Е.Богданова, инженер компании "Т8" / evgenia15v@gmail.com

УДК 621.39, DOI: 10.22184/2070-8963.2019.84.7.40.47

Рассмотрены основные тенденции, которые будут актуальны для разработки линейки транспортного оборудования для мобильных систем пятого поколения IMT-2020/5G; описана архитектура решения в плоскости как передачи данных, так и управления и администрирования. Отмечается, что, несмотря на зрелость технологий оптического транспорта и соответствующих стандартов, модернизация оборудования под сети 5G/IMT-2020 неизбежна.

В июле 2017 года распоряжением Правительства России утверждена программа "Цифровая экономика Российской Федерации", одним из направлений которой является развитие технологий беспроводной связи. Необходимость развития мобильной сети обусловлена непрерывным ростом трафика и сопутствующей тенденцией увеличения пропускной способности. Кроме того, новые типы сервисов диктуют требования ко всему комплексу оборудования 5G в части задержек, надежности, инфраструктуры.

Международная организация 3GPP (англ. 3GPP – 3 Generation Partnership Project) выделяет следующие сценарии применения технологии 5G/IMT-2020 (англ. 5G/IMT-2020 – 5th Generation International Mobile Telecommunications – 2020): сверхширокополосный мобильный доступ (англ. eMBB – Enhanced Mobile Broadband), сверхнадежные соединения с низкими задержками (англ. URLLC – Ultra-Reliable Low Latency Communication), повсеместные межмашинные соединения (mMTC – Massive Machine Type Communication).

Экосистема 5G состоит из трех частей: сети радиодоступа, транспортной сети и опорной сети. Каждая из составляющих – это отдельное направление разработки и целый стек технологий разного уровня. На сегодняшний день партнерство 3GPP утвердило первую фазу стандарта 5G/IMT-2020 – релиз 15. Выпуск 16-го релиза планируется в декабре 2019 года. Существующая версия содержит общее описание абонентских и базовых станций, радиоинтерфейсов и протоколов, архитектуру сети радиодоступа, однако практически не затрагивает построение транспортной сети. В то же время необходимая пропускная способность, задержки и инфраструктурная доступность во многом определяются именно этим компонентом.

По результатам опроса 72-х крупнейших в мире операторов связи, наиболее важной транспортной технологией признается стандарт OTN (англ. OTN – Optical Transport Network), неразрывно связанный с технологией спектрального уплотнения DWDM (англ. DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing), а также Ethernet в различных его модификациях (TSN Ethernet, Flex Ethernet, 25G Ethernet) [1].

В данной статье будут рассмотрены основные требования к транспортному оборудованию и технологии, которые могут обеспечить их выполнение, а также механизмы адаптации привычных стандартизированных решений к новым вызовам в 5G.

Архитектура транспортной сети IMT-2020/5G

В материалах 3GPP, а также 15-й исследовательской комиссии телекоммуникационного отделения Международного союза электросвязи (МСЭ-Т) выделено три транспортных сегмента: Fronthaul, Middlehaul, Backhaul, что в первом приближении схоже с уровнем доступа, метросегментом и магистральным участком традиционной сети связи (рис.1).

Особый интерес для производителей транспортного оборудования представляет Fronthaul, связывающий удаленные радиомодули RRU и распределенные модули gNB-DU, как правило, оптической волоконной сетью. Выделение этого сегмента характерно именно для пятого поколения и объясняется тенденцией к централизованной радиообработке с простыми модулями RRU, выполняющими первичные преобразования физического уровня в макро- и микросотах, и сложными real-time и non-real-time алгоритмами ближе к ядру сети. Наиболее строгие

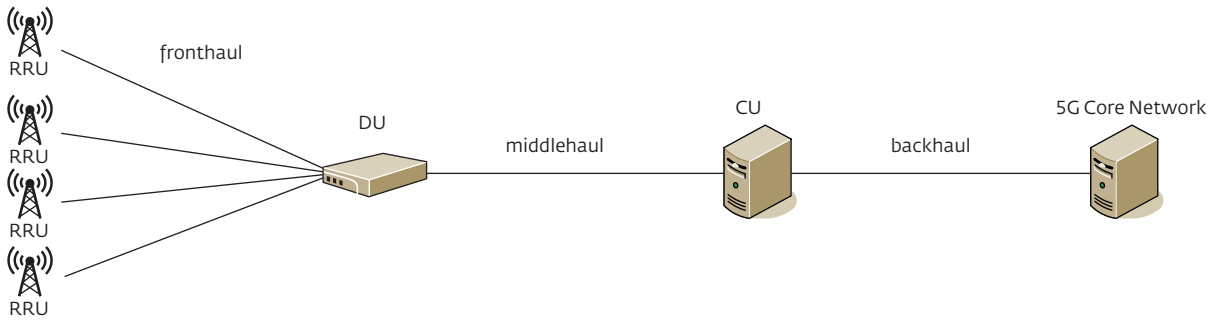

Рис.1. Топология транспортной сети 5G/IMT-2020 (RRU – Radio Remote Unit, DU – Distributed Unit, CU – Central Unit)

требования к полосе пропускания и задержкам предъявляются именно на Fronthaul.

Сегмент, связывающий gNB-DU- и gNB-CU-компоненты базовой станции, образует Middlehaul. Они могут располагаться физически в одном месте или быть разнесены территориально. CU может подключаться к одному DU или распределять сетевой ресурс между несколькими удаленными модулями. Middlehaul может быть реализован на оборудовании L2/L3. Требования здесь менее жесткие, чем между DU и RRU, так как, в отличие от DU, где имеет место обработка данных реального времени, в центральном модуле CU реализованы только офлайн-алгоритмы.

Транспортное оборудование Backhaul объединяет соты между собой и через метросегмент доставляет их трафик до магистрального ядра сети. Наиболее перспективной технологией Backhaul однозначно остается стек DWDM/OTN, обеспечивающий максимальную пропускную способность и надежность соединений.

Рассмотрим каждый из участков более подробно, и с учетом требований со стороны радиопротоколов определим возможные транспортные интерфейсы.

Fronthaul

В сетях 4G радиомодуль (RRU) объединяется с антенной и размещается на вершине радиомачты. Базовая станция в основании радиомачты соединяется с радиомодулем оптическим или медным кабелем. Их взаимодействие исторически обеспечивается по протоколу CPRI (англ. CPRI – Common Public Radio Protocol). Теперь, в C-RAN-подходе, радиоинтерфейс должен обеспечить связь DU и RRU на более протяженном участке, так как DU может быть удален на расстояние до 20 км. С учетом большей полосы в радио, агрегации полос, технологии massive MIMO и больших расстояний, разработчики стандарта создали модификацию CPRI – eCPRI. Она отличается эффективным использованием полосы Fronthaul и поддержкой пакетной передачи.

Согласно 3GPPTS 38.401 [2], существует несколько опций функционального разделения между RRU и DU. Так, CPRI соответствует опции 8, а реализация eCPRI соответствует переходу на опцию 7 (субопции 7.1 и 7.2), где первичная LOWPHY-обработка сигнала осуществляется непосредственно в радиомодуле, снижая требование к пропускной способности и задержке на транспортном уровне (табл.1). Пользовательские данные eCPRI вместе с данными контроля и управления и сигналами синхронизации в виде обычных Ethernet-пакетов передаются по сети, поэтому каждый RRU имеет свой MAC-адрес.

Помимо снижения требований к полосе и, в общем случае, задержки на Fronthaul, преимуществом пакетной передачи является стандартизованная процедура доставки сигналов синхронизации от базовой станции к антеннам (SyncE или 1588v2), а также возможность приоритезации трафика.

Несмотря на все преимущества eCPRI, на первом этапе внедрения сети 5G будут сосуществовать оба поколения мобильной связи (4G/LTE и 5G), а значит, транспортное оборудование должно поддерживать оба протокола.

При построении архитектуры сегмента Fronthaul на физическом уровне (L0) можно выделить несколько групп решений: Point-to-Point (P2P) (т.н. выделенные

Таблица 1. Требования к транспортному оборудованию Fronthaul для опции 7 и опции 8 функционального разделения в радио

Требование к транспортному оборудованию FH	Допустимые значения при использовании CPRI		Допустимые значения при использовании eCPRI	
Допустимая двусторонняя задержка	От 50 до 250 мкс, в зависимости от мобильного приложения		100 мкс – 100 мс в зависимости от класса трафика	
Допустимая ошибка времени (TE)	± 16 нс		± 10 нс... ±1.36 мкс в зависимости от класса трафика	
Точность установки частоты	50 ppb		16 ppb	
Точность установки фазы	1,5 нс			
Поддержка интерфейсов	CPRI1 CPRI2 CPRI3 CPRI4 CPRI5 CPRI6 CPRI7	614,4 Мбит/с 1228,8 Мбит/с 2457,6 Мбит/с 3072,0 Мбит/с 4915,2 Мбит/с 6144,0 Мбит/с 9830,4 Мбит/с	10GE 25GE	
Требуемая скорость передачи данных, Гбит/с	Split 8	DL 157,3	Split 7.1	DL 37,8–86,1
				UL 52,8–86,1
		UL 157,3	Split 7.2	DL 10,1–22,2
				UL 13,6–21,6

"темные" волокна или "неокрашенные" интерфейсы), WDM в активном или пассивном исполнении, PON (англ. PON – Passive Optical Network) в различных вариантах, а также беспроводной доступ (Micro Wave). Реализация определяется, в частности, существующей инфраструктурой оператора и экономической целесообразностью.

Рассмотрим L1- и L2-уровни модели OSI применительно к Fronthaul. Как часто бывает на сетях операторов, выбор стоит между пакетной и канальной технологиями: Ethernet, подходящий практически для любого протокола L0, и OTN в случае выбора активного WDM на физическом уровне.

Стандартные Ethernet-коммутаторы не могут применяться в сетях 5G, так как им свойственна зависимость задержки от нагрузки, а абсолютное значение может оказаться сопоставимо с требованием на всю сеть нового поколения. Кроме того, при перегрузке сети технология допускает потерю пакетов.

На смену приходит TSN-Ethernet, который расширяет возможности Ethernet: гарантируется выполнение требований по задержке данного сервисного потока при его передаче по пакетной сервисной сети. Критичные и некритичные к задержкам сервисы могут передаваться совместно. Для этого существуют механизмы, описанные в стандарте IEEE 802.1 CM: Frame Preemption 802.1 Qbu (прерывание на уровне передачи кадров в пользу кадров с большим приоритетом), Enhancements for Scheduled Traffic 802.1 Qbv (управление трафиком, его планирование), Stream Reservation Protocol 802.1 Qcc (SRP – протокол резервирования потока), механизм агрегации и управления ресурсами. Рис. 2 поясняет процедуры, необходимые для передачи сигналов на Fronthaul с помощью расширенного функционала Ethernet-коммутатора.

Существенными недостатками классического Ethernet по сравнению с OTN, помимо вариации задержек, являются: отсутствие встроенных механизмов OAM (англ. OAM – Operation, Administration & Maintenance) на уровне линейного тракта; ненулевая вероятность потери пакетов; отсутствие алгоритма коррекции ошибок. Концепция Ethernet операторского класса (Carrier Ethernet) предусматривает часть недостающих опций и может быть реализована на обычных Ethernet-коммутаторах.

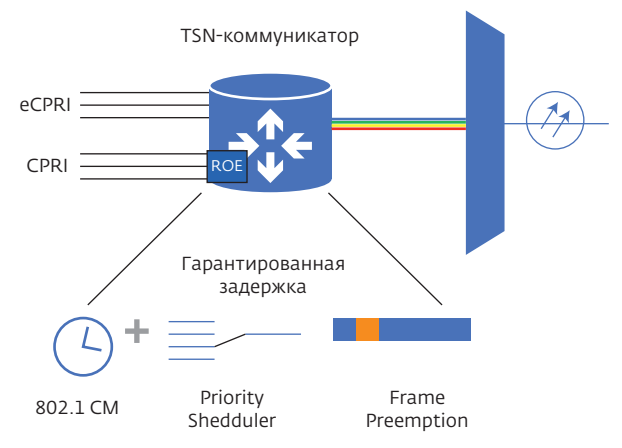

Рис.2. Функции обеспечения предсказуемой гарантированной задержки и роль TSN-коммутатора в сети IMT-2020/5G

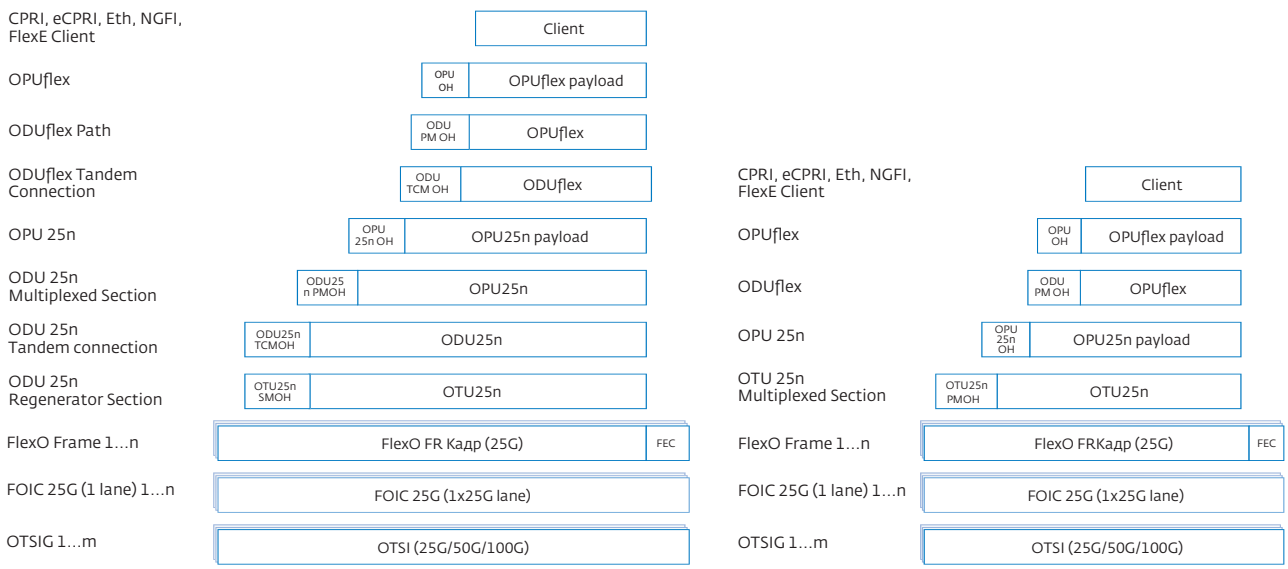

Рис.3. Переход к OTN-lite (инкапсуляция без TCM и SM)

Carrier Ethernet дополнен рядом стандартизованных процедур, реализующих масштабируемость, управление сервисами, надежность операторского класса, QoS. Стандарт ITU-TY.1731 определяет процедуры OAM в линии, с помощью которых, к примеру, можно определить точное местоположение неисправности в сети.

Стэк OTN/DWDM – это надежность и управляемость, заложенная в идеологии стандарта ITU-TG.709 [3]. Однако не все уровни заголовков целесообразно применять на коротком сегменте Fronthaul в случае выбора технологии. Оптимизация OTN-протокола активно продвигается китайскими вендорами, такими как ZTE, Fiberhome, Huawei. Помимо внедрения на внутреннем рынке, они стараются вывести так называемый OTN-lite на уровень международных стандартов.

Предлагается оптимизировать описанную в стандарте ITU-T процедуру инкапсуляции под интерфейсы с битовой скоростью, кратной 25 Гбит/с ("N*25GFlexO", [4]), что позволяет добиться прямой совместимости с eCPRI/Etnernet. Кадр OTU25 после мэппирования и добавления заголовка FEC формирует кадр 25GFlexO, модулирующий оптическую несущую. Сравнение заголовков для стандартной и оптимизированной процедур инкапсуляции представлено на рис. 3.

В [5] предлагается еще больше сократить число уровней, отображая в FlexO-структуре уже не OTU-контейнер, а непосредственно клиентский сигнал ODUflex. Теперь полезная нагрузка кадра FlexO-n структурируется в виде P компонентных интервалов (TS), в которые непосредственно отображены ODUflex-клиенты с использованием стандартных процедур мэппинга, а служебная нагрузка содержит только заголовки P*TSON и PMOH для контроля компонентных интервалов и контроля тракта, а также FEC. Предлагается назвать полученную структуру FlexO-FR (рис.4).

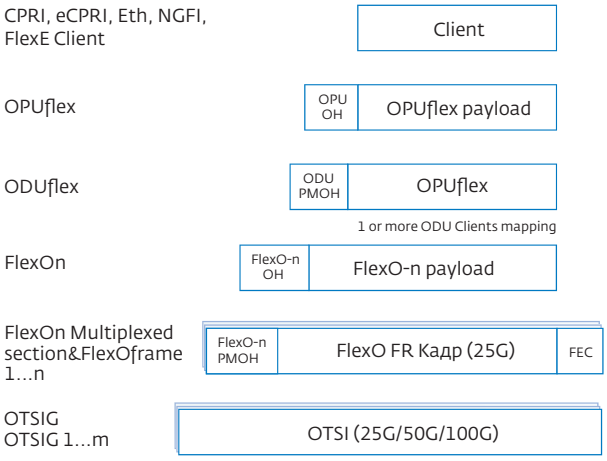

Рис.4. Формирование n*25GFlexO-FR

Таблица 2. Результаты измерения задержки в оборудовании компании Т8

Наименование	Режим	Latency_min, мкс	Latency_max, мкс
MS-100E-T10 (агрегация 10G в 100G)	Active	17,6	19,9
T6-10EP-01 (транспондер 10G с поддержкой XC)	G.709	23	26
	Без FEC	15,5	18,4
TO-10P-03 (активный прозрачный WDM)	Клиент 1GE	<0,5 мкс	<0,5 мкс
	Клиент 10GE	<0,5 мкс	<0,5 мкс

Короткие расстояния и архитектура Fronthaul позволяют отбросить ряд заголовков, характерных для более сложных OTN-сетей. Заголовки, соответствующие процедурам TCM (англ. Tandem Connection Monitoring), SM (англ. SectionMonitoring) могут отсутствовать в структуре кадра, что понизит задержку. Обязательным остается только сквозной контроль тракта PM (англ. Path Monitoting) [5].

Производители оборудования Ethernet и OTN стараются модернизировать оборудование и протоколы, поддерживая сильные стороны конкурирующей технологии с тем, чтобы занять нишу транспорта для Fronthaul. Выбор технологии на участке Fronthaul должен определяться для каждого конкретного операторского сценария. Так, OTN – это стандартизированные процедуры FEC и OAM, возможность организации защитных соединений, процедуры мультиплексирования в высокоскоростные потоки с фиксированной задержкой на уровне единиц-десятков микросекунд. Ethernet – это гибкий протокол с эффективным использованием полосы и новыми процедурами администрирования и минимизации задержек.

Потенциальный сценарий для развертывания OTN Fronthaul – удаленные от базовой станции модули RRU на расстояние более 10 км. Хорошо ложится технология OTN на сценарий агрегации потоков CPRI в опции 8-функционального разделения. Такое решение особенно подходит для первого этапа разработки комплексного отечественного решения. Построение Fronthaul на оборудовании Ethernet операторского класса в сочетании с TSN-процедурами, очевидно, подойдет для опций 7.1 и 7.2, в оборудовании RAN, работающем с eCPRI.

В числе технологий физического уровня был также упомянут так называемый активный прозрачный WDM. В отличие от более дорогих транспондеров с OTN-фреймером, формирующим линейный сигнал, "прозрачные транспортные блоки" могут инкапсулировать клиентский сигнал в кадр с фиксированной битовой скоростью, но без сложной иерархии заголовков. Встроенный или внешний оптический мультиплексор позволит эффективно использовать волокно по сравнению, например, с point-to-point-решением, где отдельными волокнами соединяются порты RRU с соответствующими портами DU.

Несмотря на отсутствие OTN-заголовков, "активный WDM" предусматривает механизмы OAM: мониторинг канала/линии, индикацию отказов и аварийных состояний в сочетании с минимальной задержкой (табл.2). На таких транспортных модулях может быть организована топология "кольцо" и защитные соединения. Простота реализации позволяет сделать экономичный транспортный блок в уличном исполнении. Преимуществом решения является его универсальность: вне зависимости от опции функционального разделения в радиооборудовании, он может поддержать любой из радиоинтерфейсов (CPRI, eCPRI/Ethernet, NGFI, OBSAI). Отметим также, что применение подхода "активный WDM" позволяет агрегировать трафик нескольких RRU, на которых отпадает необходимость установки дорогостоящих "цветных" модулей, с большим энергопотреблением и требующих охлаждения.

Backhaul

Интерфейсы. Сегмент Backhaul объединяет трафик базовых станций и транспортирует его к ядру сети. Если выбор транспортной технологии для Fronthaul – неоднозначная задача, где необходимо учитывать множество факторов, то для Backhaul-сегмента только стек DWDM/OTN может обеспечить необходимую пропускную способность в сочетании с надежностью соединений, управляемостью и масштабируемостью. С учетом интерфейсов eNB-DU и eNB-CU важно, чтобы магистральное оборудование имело клиентские интерфейсы 10GE, 25GE, 100GE. Эффективное использование ресурсов обеспечивается линейными скоростями 100, 200, 400 Гбит/с в сочетании

с высокоуровневыми форматами и возможностью программной перестройки. Оборудование ведущих производителей на сегодняшний день удовлетворяет требованиям, предъявляемым к интерфейсам и скоростям передачи.

Задержка. Если в первых коммерческих проектах по внедрению 5G операторы не планируют модернизировать Backhaul-инфраструктуру в предположении, что сеть, построенная с учетом роста трафика 4G, выдержит нагрузку от редких абонентов 5G, то выход второй фазы стандарта может изменить ситуацию.

Модернизация Backhaul может потребоваться операторам при введении 16-го релиза IMT-2020/5G и будет связана с жестким требованием к задержке в URRLC-сценарии: суммарная двусторонняя задержка (англ. RTT – Round Trip Time) не должна превосходить 1 мс на всю сеть.

На сегодняшний день типовыми значениями задержек в DWDM считаются единицы-десятки наносекунд для оборудования уровня L0 и единицы-десятки мкс для транспондеров и кросс-коннекта OTN на уровне L1. Фреймеры, используемые в OTN-блоках, обеспечивают существенно меньшую задержку по сравнению с Ethernet/IP (L2/L3), где она достигает единиц и десятков миллисекунд и варьируется в зависимости от загрузки. Наибольший вклад в RTT вносит оптическое волокно, распространение сигнала по которому оценивается величиной 5 мкс/км.

В качестве иллюстрации в табл. 2 приведены результаты измерения задержек в отдельных высокоскоростных блоках производства компании ООО "Т8".

Очевидно, что в дальнейшем при массовом внедрении URLLC-сценария, также как и на Fronthaul, может потребоваться оптимизация структуры кадра OTN [6], уменьшение числа уровней контроля, оптимизация алгоритмов FEC. Так например, принцип "сквозных соединений" в сети 5G допускает отказ от заголовков контроля транспортной секции, оставляя только заголовки мультиплексной секции.

Коммутация. В отличие от архитектуры Fronthaul с наиболее распространенной топологией точка-точка или точка-многоточка между DU и RRU, Backhaul – это сложные mesh-сети. Для распределения ресурсов сети и маршрутизации необходимо предусмотреть механизмы коммутации трафика: в узлах с OTN-кросс-коннектом и в мультиплексорах ROADM. Кроме того, необходимая гибкость должна быть обеспечена использованием перестраиваемых по длине волны транспондеров с возможностью изменения формата модуляции в зависимости от запрашиваемого конечными сервисами маршрута.

Требования к коммутационному оборудованию относятся к программной и аппаратной плоскостям. Рассмотрим пример реконфигурируемого оптического мультиплексора ROADM. Высокоскоростные интерфейсы 200G, 400G и выше спектрально могут представлять собой так называемые суперканалы с несколькими поднесущими, которые могут перенаправляться в различные направления в устройствах flexROADM.

Гибкость сети обеспечивают так называемые CDC-ROADM (англ. Colorless, Directionless, Contentionless). Функция Colorless обеспечивает отсутствие привязки длины волны к порту ROADM, то есть возможность вводить и выводить любую длину волны на любом оптическом выходе устройства. Directionless поддерживает составление оптического маршрута от транспондера на любое из направлений ROADM без привязки к входному и выходному портам. Contentionless разрешает наличие на входных портах сигналов на одинаковых длинах волн, пришедших с разных агрегирующих транспондеров.

Идеология CDC, помимо дорогостоящей аппаратной реализации, должна быть поддержана и на уровне ПО. Так, стандарт Open ROADM MSA (англ. MSA – Multi-source agreement) определяет архитектуру ROADM в контексте взаимодействия с верхнеуровневой системой управления. ROADM рассматривается не как отдельное физическое устройство, а как абстрактные цепи управления блоком для общения с системой управления, что делает возможной, в частности, маршрутизацию.

Контроль, управление, маршрутизация. Транспортная инфраструктура – это часть комплексной системы оператора, где все модули должны встраиваться в систему управления. В рамках 5G принято рассматривать три взаимодействующие технологии: SDN (англ. Software Defined Networking), NFV (англ. Network Function Virtualization), ислайсинг (англ. Slicing), образующийся в результате взаимодействия программируемости и виртуализации в сети. SDN обеспечивает программируемость и автоматизацию для обеспечения гибкости и предоставление ресурса по запросу. NFV виртуализирует сетевые функции, что ускоряет ввод новых сервисов и минимизирует задержки в сети. Слайсинг лежит в основе идеологии 5G и организует логические сети поверх физической инфраструктуры с помощью разделения ее ресурсов под потребности разных бизнес-сценариев.

Более подробно остановимся на технологии ASON/GMPLS, так как она является первым шагом к гибкости и маршрутизации в оптических сетях. При правильной реализации GMPLS-решения на следующем этапе может быть осуществлен мягкий переход к SDN. Отличие заключается в организации плоскости контроля.

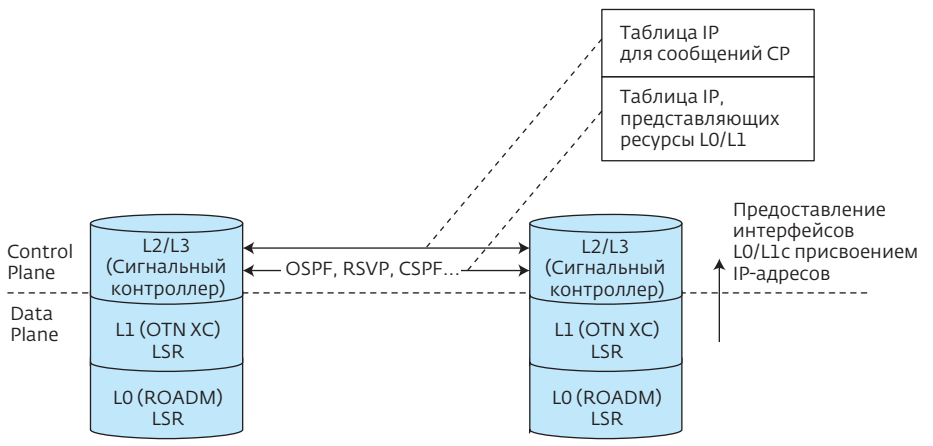

Рис.5. Стек GMPLS-протоколов на модели OSI

Если в SDN верхнеуровневый контроллер собирает информацию и централизованно управляет ресурсами, в GMPLS специальные протоколы распространяют информацию о состоянии сетевых ресурсов между сетевыми элементами, реализуя тем самым "распределенный Control Plane".

Для понимания конкретных механизмов рассмотрим транспортную оптическую сеть как совокупность плоскости данных, плоскости управления и плоскости контроля.

Плоскость данных (англ. Data Plane) включает в себя сетевое оборудование: интерфейсные карты (линейные и клиентские), рассмотренное выше коммутационное оборудование, волоконно-оптическую инфраструктуру.

Уровень управления (англ. Management Plane) может включать в себя систему управления сетевыми элементами EMS (англ. EMS – Element Management System), систему управления сетью NMS (англ. NMS – Network Management System) в зависимости от реализации вендора. Со стороны оператора, использующего инфраструктуру, появляется дополнительная плоскость управления – системы поддержки операций/система поддержки бизнеса OSS/BSS (англ. Operation Support System / Business Support System).

Плоскость контроля (Control Plane) – это слой между плоскостями данных и управления, которая вводит интеллект в сетевые элементы в случае ASON/GMPLS или управляет ими "сверху" в SDN.

Так как GMPLS наследует принципы и часть протоколов из MPLS, принцип построения маршрута будет основан на IP-маршрутизации (рис.5). Упомянутое выше разделение плоскости данных и плоскостей контроля и управления приводит к необходимости вводить разную адресацию на этих уровнях.

На уровне плоскости управления действуют стандартные механизмы IP-адресации и маршрутизации, которые обеспечивают доставку сигнализации между сигнальными контроллерами.

Транспортные линки и узлы также должны обладать собственными идентификаторами, которые необходимо предоставить плоскости управления. В качестве таких идентификаторов физических устройств (их интерфейсов) также используются IP-адреса. Важно, что IP-контроллеры и IP, ассоциируемые с устройствами плоскости данных, – это два независимых адресных пространства.

В результате в контроллерах плоскости управления формируются таблицы IP-адресов, причем часть из них является IP-адресами контроллеров, по которым происходит обмен сигнальной информацией, а часть отображает топологию низлежащего уровня данных и используется для работы стека протоколов маршрутизации. К ним относится, например, OSPF (англ. Open Shortest Path First), распространяющий информацию о доступных соединениях и реализующий собственно поиск маршрута, протокол сигнализации RSVP (англ. Resource Reservation Protocol) для фиксации заведомо известной длины волны для данного соединения, протокол LMP (англ. Link Management Protocol) – для передачи информации специфичной для кросс-коннекта.

После того, как каждое устройство Control Plane получает всю информацию о топологии плоскости данных, запускается алгоритм расчета известных маршрутов, а лучшие (т.е. маршруты с минимальной метрикой) помещаются в таблицу маршрутизации.

В оптических сетях маршрут может прокладываться с учетом как стандартных критериев (кратчайший путь, минимальная стоимость, минимальное число промежуточных узлов), так и на основе расстояний, потерь в линии, стоимости оптического канала, пропускной способности на данной длине волны, оптического отношения сигнал/шум по данному линку и т.д. В сетях 5G для URLLC-приложений особенно важна информация о задержке "из конца

в конец" – а значит, появляется еще один параметр для расчета пути.

Основное понятие в GMPLS – это так называемый LSP (англ. Label Switch Path), маршрут, формирующийся последовательностью сетевых элементов, поддерживающих коммутацию (ROADM, OTN-XC, транспондеры), и соединяющих их линков, которые используются для доставки трафика между источником и приемником. Сетевые элементы обозначаются английской аббревиатурой LSR (англ. Label Switch Router).

Решение задачи нахождения оптимального маршрута в оптической сети RWA (англ. Routingand Wavelength Assignment) предполагает, что для построения сквозного оптического соединения важно выполнение одновременно трех условий:

- наличие непрерывного оптического маршрута для одной длины волны (Optical Path);
- доступность ресурсов при построении данного маршрута (Resource availability);
- ухудшение качества сигнала из-за оптических эффектов в волокне не должно приводить к увеличению коэффициента ошибок выше допустимого для данного соединения (Impairments Constraints).

В качестве алгоритма нахождения оптимального маршрута классически используется CSPF (англ. Constraint-based Shortest Path First). Для 5G специфичны метрики, то есть критерии, на основе которых выбирается маршрут.

С учетом перспективных требований к мобильному сегменту Backhaul, оптическая метрика может определяться двумя факторами: задержкой (Delay) в оборудовании L0 или L1 и качеством сигнала (в метрике целесообразно использовать величину, обратную оптическому отношению сигнал-шум 1/OSNR).

В сложных mesh-сетях с большим количеством высокоскоростных сигналов в спектре метрика также должна учитывать нелинейные взаимодействия – а значит, правильно оценивать OSNR на каждом участке маршрута, включая его нелинейную составляющую.

В идеальном случае сценарий 5G должен определять метрику с учетом важности того или иного параметра. Если соединение запрашивается eMBB-приложением, то маршрут должен быть оптимизирован по оптическому отношению сигнал-шум, критичному параметру для высокоскоростных транспондеров со сложными форматами модуляции. Если ресурс должен быть предоставлен URLLC-приложению, метрика должна определяться значениями задержек.

Отметим, что предложенные методы маршрутизации могут использоваться как в ASON/GMPLS-сетях, так и в SDN. Отличие будет заключаться только в уровне вычислений и конкретном элементе, где они будут производиться: в распределенных блоках управления сетевыми элементами или в централизованном контроллере.

Заключение

В статье рассмотрены основные тенденции, которые будут актуальны для разработки линейки транспортного оборудования для мобильных систем пятого поколения – IMT-2020/5G. Описана архитектура решения как в плоскости передачи данных, так и в плоскости управления и администрирования.

В качестве стека технологий для Backhaul- и Fronthaul-сегментов рассматривается стек Ethernet/OTN/DWDM, а также предложены механизмы, адаптирующие отдельные технологии под критичные требования мобильной сети пятого поколения. Отдельно выделена плоскость управления, которая в связке с правильной архитектурой плоскости данных позволяет формировать маршруты для сквозных соединений, запрашиваемых сервисами 5G на основе соответствующих метрик.

Очевидно, что несмотря на зрелость технологий оптического транспорта и соответствующих стандартов, модернизация оборудования под сети 5G/IMT-2020 неизбежна. Важно в существующий временной зазор между фазами 3GPP-стандартизации совместно с операторами окончательно сформулировать требования к программно-аппаратному комплексу для всех возможных сценариев, а производителям при необходимости доработать существующие линейки транспортного оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Huawei Technologies Co. 5G Transport Networks White Paper: HeavyReadingOperatorSurvey&Analysis. 2019.
2. 3GPPTS38.401 NG-RAN; Architecture description (Release 15).
3. ITU-T **Recomendation G.**709 (2016), Interfaces for the optical transport network.
4. ITU-T **Recomendation G.**709.1 (2017), Flexible OTN short-reach interface.
5. Fiber Home, China Telecommunications Lite and Flexible OTN for next generation (5G) Mobile Fronthaul Transport Lite and Flexible OTN for next generation (5G) Mobile Fronthaul Transport // SG15, C. 0064. Geneva, 2017.
6. Microsemi White Paper The Evolution of ITU-T G.709 Optical Transport Networks (OTN) Beyond 100 Gbit/s. Mar. 2017.
7. Open ROADM MSA White paper Open ROADM overview vol. v1.0. – 2016-10-5.