

Сегменты транспортной сети 5G



Евгения БОГДАНОВА,
руководитель группы технического маркетинга, Т8

Кирилл ШИШКОВ,
начальник отдела рекламы и PR

Российская специфика перехода на 5G

Почти 3 млрд подключений к сетям пятого поколения будет наблюдаться в мире к концу 2025 г. Такой прогноз дают специалисты Ericsson в аналитическом отчете о стандарте 5G [1]. Россия также старается не отставать в этом важном вопросе – «большая четверка» уже заготовила собственные планы по запуску мобильных систем пятого поколения.

Российский «особый путь», как всегда, дает о себе знать. Если во всем развитом мире стремятся разрабатывать собственные технологии, отказываясь от оборудования зарубежного производства, в частности от китайских компаний Huawei и ZTE, либо локализуют технологии своих доверенных

В предлагаемой статье рассмотрены основные требования к транспортному оборудованию и технологии, которые могут обеспечить их выполнение, а также механизмы адаптации привычных стандартизированных решений к новым вызовам, связанным с переходом на сети стандарта 5G.

партнеров, то у нас, напротив, углубляется технологическая зависимость от иностранных поставщиков. Так, на государственном уровне поддерживаются долгосрочные контракты крупнейших российских заказчиков с китайским вендором Huawei. В частности, подписано соглашение между МТС и Huawei о развитии технологий 5G и пилотных запусках в России сетей связи пятого поколения [2].

Влияние упомянутых китайских компаний усиливает позиция рабочей группы АНО «Цифровая экономика», заявившей, что для выполнения государственных задач в заданные сроки от несуществующего российского оборудования надо заранее отказаться, а новые сети необходимо строить на оборудовании из Поднебесной.

Указанные действия со стороны правительства и рабочей группы противоречат громким заявлениям о возрождении радиоэлектронной промышленности России и поручениям Президента РФ об импортозамещении телекоммуникационного оборудования. Хочется надеяться, что существующая тенденция будет сломана, а доля рынка российских производителей начнет увеличиваться и российская промышленность станет полноправным участником в развитии технологий 5G, о которых пойдет речь ниже.

Экосистема сетей пятого поколения

Международная организация 3GPP (3 Generation Partnership Project) выделяет

следующие сценарии применения технологии 5G/IMT2020 (5th Generation International Mobile Telecommunications – 2020):

- сверхширокополосный мобильный доступ (Enhanced Mobile Broadband – eMBB);
- сверхнадежные соединения с низкими задержками (Ultra-Reliable Low Latency Communication – URLLC);
- повсеместные межмашинные соединения (Massive Machine Type Communication – mMTC).

Экосистема 5G состоит из трех частей: сети радиодоступа, транспортной сети и опорной сети. Каждая из составляющих – это отдельное направление разработки и целый стек технологий разных уровней. Существующая версия стандарта содержит общее описание абонентских и базовых станций, радиointерфейсов и протоколов, архитектуры сети радиодоступа, однако она 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 крупнейших в мире операторов связи наиболее важной транспортной технологией признается стандарт OTN (Optical Transport Network – OTN), неразрывно связанный с технологией спектрального уплотнения DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), а также Ethernet в различных его модификациях (TSN Ethernet, Flex Ethernet, 25G Ethernet) [3].

Сегменты транспортной сети

Архитектура транспортной сети подразделяется на три транспортных сегмента: Fronthaul, Middlehaul, Backhaul, что в первом приближении схоже с уровнем доступа, сегментом городской сети (метро) и магистральным участком традиционной сети связи.

Особый интерес для производителей транспортного оборудования представляет Fronthaul, связывающий удаленные радиомодули RRU (Remote Radio Unit) и распределенные модули DU (Distributed Unit), как правило, оптической волоконной сетью. Выделение этого сегмента характерно именно для пятого поколения и объясняется тенденцией к централизованной радиообработке.

Максимально близко к абоненту, в макро- и микросотах, простые модули RRU выполняют первичные преобразования физического уровня. Более сложные алгоритмы в реальном времени и не в реальном времени выполняются ближе к ядру сети – в компонентах базовой станции gNB, DU и CU (Centralized Unit). Наиболее строгие требования к полосе пропускания и задержкам предъявляются именно на Fronthaul.

Сегмент, связывающий DU- и CU-компоненты базовой станции, образует Middlehaul, который может быть реализован на оборудовании канального и сетевого уровней (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 доставляет их трафик до ядра сети. Наиболее перспективной технологией Backhaul однозначно остается стек DWDM/OTN, обеспечивающий максимальную пропускную способность и надежность соединений.

Fronthaul

В сетях 4G радиомодуль (RRU) объединяется с антенной и размещается на вершине радиомачты. Базовая станция в основании радиомачты соединяется с радиомодулем. Их взаимодействие обеспечивается по протоколам CPRI или eCPRI (Common Public Radio Protocol, eCPRI – модификация CPRI с поддержкой пакетной передачи).

В 5G используется централизованная архитектура C-RAN

(Centralized Radio Access Network). Трафик CPRI/eCPRI может передаваться на расстояние до 20 км от RRU к централизованному DU, а значит, требования к задержке в транспортном оборудовании ужесточаются. При этом усложнение радиотехнологий (агрегация полос, технология пространственного мультиплексирования massive MIMO и т. д.) кроме минимальной задержки требует жесткой синхронизации частоты и фазы, а также большой полосы пропускания на участке Fronthaul.

При построении архитектуры сегмента Fronthaul на физическом уровне (L0) можно выделить несколько групп решений:

- Point-to-Point (P2P) (выделенные «темные» волокна или «неокрашенные» интерфейсы);
- WDM в активном или пассивном исполнении;
- PON (Passive Optical Network) в различных модификациях;
- беспроводной доступ (MicroWave).

На уровне L1/L2 выбор, как правило, стоит между пакетной технологией Ethernet, подходящей для любого варианта реализации L0, и технологией

оптического транспорта OTN (Optical Transport Network).

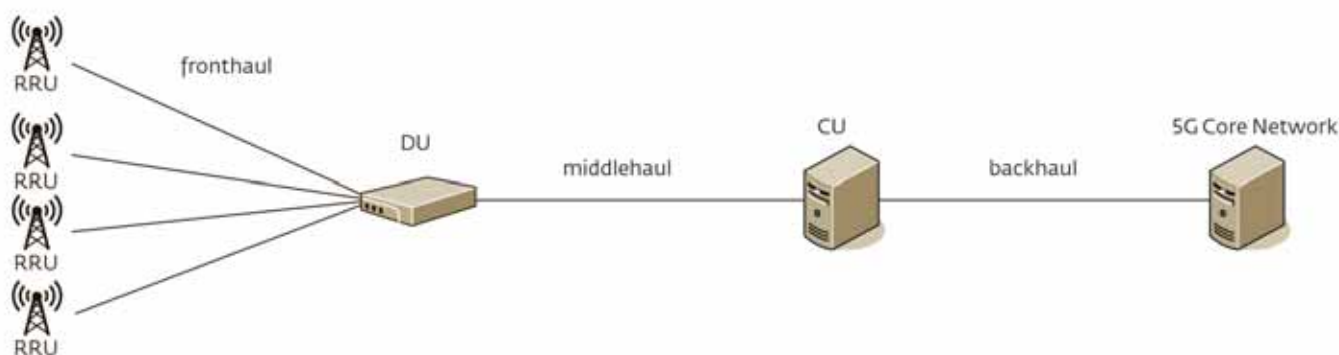
Стандартные Ethernet-коммутаторы не могут применяться в сетях 5G, так как им свойственна зависимость задержки от нагрузки, а абсолютное значение может оказаться сопоставимым с требованием на всю сеть нового поколения. Кроме того, при перегрузке сети технология допускает потерю пакетов. Существенными недостатками Ethernet-оборудования по сравнению с OTN помимо вариации задержек являются от-

В 5G используется централизованная архитектура C-RAN (Centralized Radio Access Network).

сутствие встроенных механизмов контроля и мониторинга на уровне линейного тракта, ненулевая вероятность потери пакетов и отсутствие алгоритма коррекции ошибок.

OTN, напротив, обеспечивает стандартизированные процедуры контроля и мониторинга, исправления ошибок FEC (Forward Error Correction), возможность организации защитных соединений, процедуры мультиплексирования в высокоскоростные потоки с фиксированной задержкой на уровне единиц-десятков микросекунд. При этом протокол оптического транспорта не обладает гибкостью Ethernet и эффективностью использования сетевых ресурсов.

Производители аппаратного обеспечения Ethernet и OTN стараются модернизировать оборудование и протоколы, поддерживая сильные стороны конкурирующей технологии, с тем чтобы занять нишу транспорта для Fronthaul. Так, вместо классического Ethernet предлагается использовать протоколы группы стандартов TSN Ethernet (Time Sensitive Network) и Carrier Ethernet (Ethernet



операторского класса), которые расширяют возможности Ethernet. В частности, гарантируется выполнение требований по задержке данного сервисного потока при его передаче по пакетной сервисной сети, допускается агрегация потоков, встраиваются процедуры контроля и мониторинга на уровне кадра. С другой стороны, OTN оптимизируется в сторону

от применения транспортного протокола в классическом понимании и использовать более простой способ упаковки CPRI/еCPRI-клиентов. В отличие от более дорогих транспондеров с OTN-фреймером, формирующих линейный сигнал, «прозрачные транспортные блоки» могут инкапсулировать клиентский сигнал в кадр с фиксированной бито-

также, что применение подхода «активный WDM» позволяет агрегировать трафик нескольких RRU без необходимости установки дорогостоящих «окрашенных» модулей, с большим энергопотреблением и требующих охлаждения.

Backhaul

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 DU и 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.

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

Реализация протокола определяется пользовательским сценарием 5G, а также может зависеть от существующей инфраструктуры оператора.

уменьшения служебной нагрузки для более эффективного использования полосы – отдельные заголовки OTN могут быть отброшены для Fronthaul-сценария ввиду упрощенной по сравнению с магистральной сетью архитектуры [4].

Реализация того или иного протокола определяется в первую очередь пользовательским сценарием 5G, а также может зависеть от существующей инфраструктуры оператора. И OTN, и Ethernet могут использоваться поверх наиболее эффективной технологии физического уровня WDM.

В числе технологий физического уровня был упомянут и так называемый активный прозрачный WDM. Это решение на стыке уровней L0/L1 позволяет уйти

вой скоростью, но без сложной иерархии заголовков. Встроенный в блок транспондера или отдельный 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 мониторинга и контроля: мониторинг канала/линии, индикацию отказов и аварийных состояний в сочетании с минимальной задержкой. На таких транспортных модулях могут быть организованы топология «кольцо» и защитные соединения. Отметим

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 одном из пользовательских сценариев 5G URLLC: суммарная двусторонняя задержка (Round Trip Time – RTT) 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 микросекунд для транспондеров и кросс-коннекта OTN на уровне L1. Фреймеры, специализированные сетевые микросхемы, которые используются 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.

В отличие от архитектуры Fronthaul с наиболее распространенной топологией «точка – точка» или «точка – многоточка» между DU и RRU, Backhaul – это сети со сложной топологией. Для распределения ресурсов сети и маршрутизации необходимо предусмотреть механизмы коммутации трафика. Для этого в узлах сети должна поддерживаться OTN кросс-коммутация (на уровне L1) и/или оптическая коммутация (L0) в мультиплексорах ROADM (Reconfigurable Optical Add-Drop Amplifier). Одновременно на уровне плоскости управления должен быть реализован стек протоколов гибкого управления сетевыми ресурсами GMPLS (Generalized Multiprotocol Label Switching).

Основное понятие в GMPLS – так называемый LSP (Label Switch Path), маршрут, формирующийся последовательностью сетевых элементов, поддерживающих коммутацию, и их соединений, которые используются для установления сквозного соединения между источником

и приемником. Для установления оптического маршрута GMPLS использует специфичные протоколы сигнализации, с помощью которых осуществляются обмен контрольной информацией между узлами и резервирование ресурсов на маршруте.

Транспортная инфраструктура – это часть комплексной системы оператора, где все модули должны встраиваться в систему управления. В рамках 5G принято рассматривать две взаимодействующие технологии: SDN

открытым системам. Укажем среди таких организаций OpenROADM, ONF (Open Networking Forum) и TIP (Telecom Infra Project).

Очевидно, что модернизация оборудования под сети 5G/IMT2020 неизбежна, так как формируются специфичные требования к транспорту. В связи с этим важно в существующий временной зазор между фазами 3GPP-стандартизации совместно с операторами окончательно сформулировать

Очевидно, что модернизация оборудования под сети 5G/IMT2020 неизбежна, так как формируются специфичные требования к транспорту.

и организация сетевых слоев, слайсинг.

SDN обеспечивает программируемость и автоматизацию для обеспечения гибкости и предоставление ресурса по запросу. Слайсинг лежит в основе идеологии 5G и организует логические сквозные соединения поверх физической инфраструктуры с помощью разделения ее ресурсов под потребности разных бизнес-сценариев с различными требованиями к устанавливаемому соединению.

Отметим, однако, что большинство производителей только подходят к созданию программируемых оптических сетей. На сегодняшний день коммерческие SDN/DWDM-решения на сетях операторов отсутствуют, не говоря уже о реализации слайсинга. Но практически все ведущие производители телекоммуникационного оборудования состоят в организациях и альянсах по разработке стандартов и рекомендаций, которые позволят перейти к программируемым

требования к программно-аппаратному комплексу для всех возможных сценариев, а производителям при необходимости доработать существующие линейки транспортного оборудования. ■

Литература

1. *Ericsson Mobility Report, June 2020*, <https://www.ericsson.com/en/mobility-report/reports>.
2. *Сети готовят к 5G. МГТС инвестирует в расширение пропускной способности*. Available online: <https://www.kommersant.ru/doc/4118754> (accessed 2019-10-18).
3. *Huawei Technologies Co. 5G Transport Networks White Paper: Heavy Reading Operator Survey & Analysis, 2019*.
4. *Huawei Technologies Co. White Paper on Huawei MS-OTN Low-Latency Network, 2016*.