СТАНДАРТИЗАЦИЯ РЕШЕНИЙ И СЕГМЕНТИРОВАНИЕ транспортного уровня сети 5G

С.Коган, к.т.н., независимый эксперт

УДК 681.7

В статье рассмотрены вопросы стандартизации решений и сегментации транспортного уровня сети 5G, связанной с выделением на транспортном уровне групп соединений различных конечных точек сети для достижения определенного SLA в интересах клиента. Разделение сети 5G на независимо управляемые, контролируемые и настраиваемые сегменты (network slicing) позволит одному сетевому оператору управлять несколькими виртуальными сетями, для каждой из которых, в зависимости от типа предоставляемой услуги, должны будут обеспечены разные величины задержек, пропускной способности, надежности, безопасности и т.п.

Введение

Перспективные решения для сетей мобильной связи нацелены на поддержку приложений технологий 5G.Они ориентированы как на расширение зоны покрытия и возможностей по подключению и доступности новых услуг, так и на повышение пропускной способности, снижение затрат на каждый бит переданных данных и уменьшение величины задержки.

Переход к 5G позволит операторам связи внедрить ряд новых приложений и услуг, которые будут иметь различные требования к транспорту как "в реальном времени", так и "не в реальном времени". По этой причине транспортный уровень перспективных сетей мобильной связи также находится на пороге серьезной трансформации.

Для поддержки новых приложений и услуг операторам необходимо инвестировать как в развертывание новых сетей радиодоступа (RAN), так и в трансформацию транспортной сетевой архитектуры в целом. В перспективе сети 5G перейдут на новую архитектуру облачного радиодоступа (vRAN), которая обеспечит улучшенное масштабирование, эффективность и требуемую гибкость. Новая архитектура будет ориентирована не на традиционные физические, а на виртуализированные строительные блоки. Виртуализация должна сократить время вывода на рынок новых услуг и обеспечить широкие возможности по дифференциации услуг.

Хотя стандартизация еще не закончена, общий список ключевых технических требований к сети 5G может быть сформулирован следующим образом:

- пропускная способность при подключении пользователя к конечным точкам сети в полевых условиях – от 1 до 25 Гбит/с и более;
- сквозная задержка из конца в конец (E2E) для некоторых сервисов – не выше 1 мс;
- рост пропускной способности сети из расчета на единицу площади покрытия – в 1000 раз;
- увеличение от 10 до 100 раз и более количества подключенных к сети устройств пользователей;
- достижение коэффициента готовности сети на уровне 99,999%;

- обеспечение 100% покрытия в географических зонах с высокой плотностью пользователей;
- снижение энергопотребления узлов сети – до 90%;
- повышение срока службы батарей и/или аккумуляторов электропитания для маломощных устройств машинного типа (например, устройств IoT – Интернета вещей) – до 10 лет.

Предоставление на сети 5G разных типов услуг с индивидуальными требованиями по качеству SLA (например, услуги улучшенного видео, подключение к услугам в двигающемся автомобиле, услуги виртуальнойи дополненной реальности и т.п.) поверх единой общей сетевой инфраструктуры невозможно без разбиения сети на логические срезы или сегменты (network slicing). Для транспортной сети это означает необходимость сегментирования сети для безусловного исполнения различных требований SLA в определенных сегментах сети.

Непростые вопросы перехода к новой, согласованной с требованиями 5G, архитектуре сети должны решаться с сохранением возможности предоставления существующих услуг 4G. Транспортная инфраструктура, созданная для систем связи предыдущих поколений, должна плавно и гибко развиваться для поддержки, в перспективе, виртуализированных сервисов 5G с выполнением требований по низкой задержке и высокой пропускной способности.

Можно сформулировать следующие общие требования к транспортному уровню 5G:

- минимальная задержка при максимально возможной дальности связи;
- поддержка мультипротокольных/мультисервисных технологий;
- высокая пропускная способность;
- набор свойств, не зависящих от конкретного производителя оборудования;
- возможность реализации сквозной сетевой архитектуры, от радиодоступа до ядра (core) и магистрали (backbone);
- общая платформа централизованной системы управления SDN/NMS для радиодоступа (RAN) и всего транспортного уровня.

На транспортных сетях, в частности, на уровне радиодоступа, будут использоваться как OTN/WDM, так и прозрачные WDM и пакетные оптические решения, отвечающие требованиям существующих и будущих приложений в части, касающейся пропускной способности, задержки, синхронизации, качества предоставления услуг (QoS), надежности и отказоустойчивости.

Стандартизация требований к сетям 5G в 3GPP

Три категории использования систем 5G

Определенные в документах 3GPP три категории использования сетей 5G, а именно eMBB, URLLC и mMTC, связаны с потребностью пользователей (клиентов) сетей мобильной связи в более высоких скоростях передачи данных, разнообразных сервисахс более строгими требованиями к задержке при передачи сообщений и исключительно высокой надежности.

По каждой из трех перечисленных категорий требования по уровню пропускной способности соединений и производительности сетевых узлов отличаются с учетом особенностей предоставляемых услуг:

- eMBB (enhanced Mobile Broadband – усовершенствованная мобильная широкополосная связь) – является по сути расширением услуги мобильной широкополосной связи (MBB) сетей 4G / LTE, масштабируемой для поддержки большей пропускной способности;
- URLLC (Ultra-Reliable and Low-Latency Communication – сверхнадежная связь с малой задержкой) охватывает те услуги, которые требуют высокой скорости отклика сети и обеспечения ее непрерывной работы;
- mMTC (massive Machine Type Communications – массовая коммуникация между машинами) связана с услугами Интернета вещей. Ожидается, что к 2025 году к сетям 5G будут подключены более 30 млрд устройств IoT.

Разнообразие вариантов использования и развертывания систем пятого поколения существенно отличает их от предыдущих поколений мобильных технологий связи. Требования к характеристикам упомянутых выше трех категорий использования сетей 5G в значительной мере различаются:

- категория eMBB более всего похожа на существующую систему связи 4G, но при этом пропускная способность увеличивается на порядок или больше. Например, для широкополосного доступа внутри стадиона пользователям может потребоваться скорость загрузки 1 Гбит/с;
- в категории URLLC могут быть нужны уровни надежности "шесть девяток" и задержки, исчисляемые в миллисекундах;
- наконец, для категории mMTC (которая включает решение задач Интернета вещей) первостепенное значение приобретает сверхвысокая плотность пользовательских устройств

(датчиков и т.п.) и сверхнизкое их энергопотребление при том, чтоскорость передачи данных может быть достаточно низкой. В некоторых случаях для целей IoT может потребоваться до одного млн подключений на кв. км.

К новым, инновационным приложениям сетей 5G относятся промышленная автоматизация, автономные транспортные средства, автомобильная связь, дополненная реальность, наблюдение с помощью дронов и т.п. Подобные типы приложений уже окрестили "эволюцией 5G, управляемой услугами". Именно их внедрение связано с необходимостью исполнения очень строгих соглашений об уровне обслуживания (SLA) для обеспечения высокой надежности/низкой задержкии высокой пропускной способности. Переход к управляемой услугами эволюции 5G потребует преобразования не только мобильного доступа и основных сегментов, но и всей сети 5G из конца в конец (E2E), включая транспортную инфраструктуру.

Эволюция архитектуры сети радиодоступа

По мере эволюции к сетям 5G все больший интерес проявляется к отделению блока радиоприемопередатчика RRH (Remote Radio Head) на сайте мобильной соты от блока электронной обработки BBU (Baseband Unit) с тем, чтобы обеспечить большую гибкость топологии сети в условиях, когда размер сот уменьшается, и плотность их развертывания на сети мобильной связи нарастает.

В этой связи рассматриваются следующие варианты архитектурных решений:

- архитектура распределенного радиодоступа (Distributed RAN, D-RAN) представляет собой конфигурацию с установкой на сайте соты комбинации из блоков RRU-BBU, причем радиоприемопередатчик RRH устанавливается отдельно от своего блока BBU, соединяясь с ним по коаксиальному или оптическому кабелю. В этом случае каждый блок RRH связан со своим блоком BBU. Подобная архитектура была преобладающей для сетей мобильной связи от 2G до 4G;
- архитектура централизованного радиодоступа (Centralized RAN, C-RAN) – конфигурация, в которой оператор объединяет несколько BBU, организуя размещение их на одном централизованном сайте и оптоволоконные соединения между этим сайтом и несколькими RRH в конфигурации "точка-многоточка". Блоки RRH развертываются на гораздо большем расстоянии от BBU, чем это реализуется в конфигурации D-RAN с парой RRH-BBU. Такая архитектура была взята за основу несколькими операторами на более поздних этапах развертывания систем 4G/LTE;
- архитектура виртуализированного радиодоступа (virtualized RAN, vRAN) рассматривается как возможное развитие централизованной архитектуры радиодоступа, в которой BBU виртуализируются частично или целиком как часть процесса миграции ядра сети в виртуализированное развитое пакетное ядро (virtualized Evolved Packet Core, vEPC). vRAN – это программно реализуемая функциональность блока BBU, доступная посредством использования виртуальных машин. В этом случае традиционные специализированные аппаратные средства BBU, ориентированные на взаимодействие с радиоблоком RRH и антенной, заменяются на стандартные, коммерчески доступные и относительно недорогие аппаратные вычислительные средства, собранные на процессорах x86 или им подобных;
- Open RAN (OpenRAN, ORAN)– это не конкретная архитектура, а возможность интеграции, развертывания и эксплуатации сетей радиодоступа с использованием компонентов, подсистем и ПО, полученных от разных поставщиков. Концепция Open RAN аналогична концепции Open Transport и базируется на тех же принципах.

Стандартизация требований к транспортному уровню 5G в МСЭ-Т

Оперативная группа МСЭ-Т IMT-2020

Оперативная группа по сетевым аспектам IMT-2020 была создана в МСЭ-Т в мае 2015 года для анализа принципов взаимодействия в сетях 5G в качестве предварительного исследования инноваций в организации сетей, необходимых для обеспечения развития систем 5G. В деятельности МСЭ-Т по стандартизации, основанной на материалах группы IMT-2020, приоритетное внимание уделяется согласованию результатов ее работы по 5G с результатами работы МСЭ-Р для обеспечения того, чтобы работа по стандартизации сетевых аспектов 5G базировалась на развитии ее систем радиопередачи.

Планируется, что сети 5G обеспечат передачу большего объема данных при меньших задержках с обеспечением исключительно высокой надежности при их передаче. По этой причине поставщики услуг связи и/или операторы сетей, в том числе провайдеры контента (Content Delivery Network, CDN), вкладывают значительные средства в создание и улучшение своей оптоволоконной инфраструктуры, продвигая ее обновление на всех участках сети от ядра сети

до радиосредств. И хотя для этого есть много веских причин (более широкая полоса пропускания, больший охват пользователей, лучшее качество сигнала и т.п.), известно, что экономическое обоснование внедрения 5G является сложной задачей, в том числе и по той причине, что развертывание волоконно-оптических сетей связи обходится очень дорого.

Рекомендация МСЭ-Т G.8300

Сети 5G реализуются с обновленной функциональной сетевой архитектурой, в которой предусмотрено использование новых интерфейсов, протоколов и функциональных возможностей, многие из которых в значительной степени зависят от инфраструктуры используемых оптических кабелей (оптического волокна). В отличие от мобильных технологий предыдущих поколений, сеть 5G ориентирована на глубокую модернизацию сети, от ядра (core) до периферии (RRH) на всех сетевых уровнях модели OSI: от 0 до 7.

В системе 5G функциональность базовой станции (gNB) разделяется на три функциональных блока:

- радиоблок (Remote Radio Head, RRH или Radio Unit, RU);
- распределенный блок (Distributed Unit, DU);
- централизованный блок (Centralized Unit, CU).

Эти блоки могут быть развернуты в нескольких вариантах по их местоположению.

В соответствии с рекомендацией МСЭ-TG.8300 Characteristics of transport networks to support IMT-2020/5G на уровне радиодоступа рассматриваются следующие разновидности транспортных сетей:

- транспортная сеть Fronthaul соответствует нижнему уровню функционального разделения 3GPP NG-RAN (между RRH и BBU);
- сеть Midhaul соответствует промежуточной сети (между DU и CU), поддерживающей интерфейс F1 (3GPP NG-RAN) взаимодействия между gNB-CU и gNB-DU или интерфейс Xn взаимодействия между различными узлами NG-RAN (gNB), то есть между узлами CU;
- сеть Backhaul (между BBU и ядром или между DU + CU и ядром) поддерживает интерфейс 3GPP NG между 5GC (ядро 5G) и NG-RAN (CU) или интерфейс Xn взаимодействия между различными узлами NG-RAN (gNB), то есть между узлами CU.

Блоки CU + DU совместно реализуют функционал основного блока электронной обработки BBU. За счет централизации функций блоков BBU нескольких базовых станций в архитектуре C-RAN операторы могут совместно использовать сетевые ресурсы и жестко координировать активность радиосредств, тем самым улучшая характеристики сети.

При разделении функций BBU возникает необходимость в создании новых транспортных связей в рамках архитектуры Anyhaul (X-haul), в частности, Fronthaul как соединение между RU и DU, Midhaul как соединение между DU и CU, а также Backhaul как соединение между CU и ядром сети мобильной связи, которое выполняет ту же функцию, что и в предыдущих поколениях мобильных систем.

Характеристики интерфейсов 5G представлены в табл.1 (взята из рекомендации МСЭ-Т G.8300).

Развертывание сети радиодоступа IMT-2020/5G можно охарактеризовать на основе местоположения блоков DU и CU, как это показано на рис.1 (взят из рекомендации МСЭ-Т G.8300).

На основании изучения рис.1 можно сделать несколько заключений о транспортной сети:

- транспортная сеть всегда необходима для подключения CU к ядру сети;
- если блоки DU и RU объединены, то сети Fronthaul не существует;

Таблица 1. Характеристики интерфейсов 5G

Логический интерфейс 3GPP или CPRI	Наименование сети в этой рекомендации	Описание интерфейса	Домен транспортной сети
CPRI/eCPRI	Fronthaul	Интерфейс между RRU и DU	Metro access
F1	Midhaul	Логический интефейс между CU и DU	Metro access и Metro aggregation
NG	Backhaul	Логический интефейс между gNB (CU) и 5GC	Metro access, Metro aggregation, Metro Core, Backbone
Xn	Midhaul или Backhaul	Логический интерфейс между gNB (CU) узлами, точнее между функциональностью PDCP (Packet Data Convergence Protocol) каждого из них	Metro access, Metro aggregation, Metro Core, Backbone

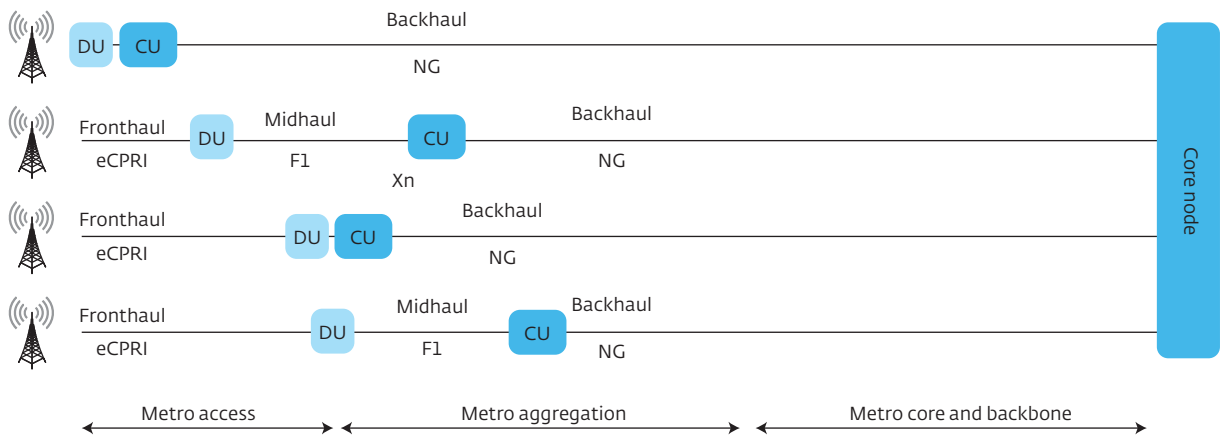

Рис.1. Возможное местоположение блоков RU, DU и CU на сети радиодоступа (RAN)

- если блоки DU и CU объединены (интегрированы), то сетиMidhaul не существует;
- взаимодействие по интерфейсу Xn между узлами CU будет проходить через Midhaul- или Backhaul-сети.

Для гарантированного исполнения соглашения об уровне обслуживания SLA на сети 5G должны поддерживаться возможности виртуальных сетевых ресурсов для обеспечения дифференцированного разделения (сегментирования) сети на срезы (slicing), что требует скоординированного управления и контроля сети на уровне ядра, транспортной сети и сети радиодоступа.

Направленные на повышение производительности радиосети решения по функциональному разделению (functional splits) предъявляют новые требования к транспортной сети Fronthaul. Усовершенствованный пакетно-ориентированный протокол eCPRI (evolved Common Public Radio Interface) был разработан в организации CPRI Cooperation для обеспечения возможности масштабирования сетей Fronthaul в соответствии с требованиями к сетям 5G.

Сохраняя некоторый объем обработки сигнала на физическом уровне в RU (RRH), протокол eCPRI позволяет снизить требования по пропускной способности на участке, соединяющем RU с DU в 10 раз по сравнению с обычным, ранее используемым протоколом CPRI. Будучи пакетно-ориентированным, протокол eCPRI может поддерживаться пакетными сетями с функциями Ethernet-коммутации и IP-маршрутизации при условии, что эти пакетные сети соответствуют требованиям к характеристикам, подробно описанным в спецификации eCPRI. Хотя eCPRI значительно повышает эффективность использования пропускной способности Fronthaul по сравнению с CPRI, он подчиняется тем же жестким требованиям к задержке, что и CPRI.

Транспортная сегментация в связи разделением сети 5G на срезы

Определения

Разделение сети 5G на срезы (slicing) – это:

- фундаментальная технология, необходимая для обеспечения своевременной и качественной доставки сервисов 5G пользователям и основной фактор по обеспечению соответствия сквозных сетевых ресурсов беспрецедентным требованиям соглашений SLA;
- механизм, который поставщик услуг (Carrier Service Provider,CSP) может использовать для создания независимых логических сетей (сегментов) в рамках своей общей или совместно используемой сетевой инфраструктуры. Эти сетевые сегменты могут быть предназначены для арендаторов, которые являются клиентами или для внутренних арендаторов в организации оператора.

Из результатов опроса, проведенного в 2020 году аналитиками компании Omdia следует, что глобальные операторы сетей и поставщики контента считают, что разделение сети на срезы (slicing) является для сети радиодоступа не менее важной

характеристикой, чем обеспечение малой величины задержки и высокой пропускной способности.

Понятие "срез" (slice), или "сегмент" (иногда используются термины "подсеть" или "домен") относится ко всем аспектам архитектуры 5G, включая радио, Anyhaul, инфраструктуру мобильного ядра (EPC), а также к инфраструктуре уровня оркестрации, необходимой для управления и эксплуатации каждого сетевого среза/сегмента.

Разделение сети 5G на сегменты, то есть сквозное разделение сетевых ресурсов и функций из конца в конец (E2E) необходимо для того, чтобы определенные сервисы и клиенты (заказчики этих сервисов) работали изолированно друг от друга на уровне разных сетевых срезов (slicing). По сути, это функция виртуализации сети, которая позволяет нескольким службам с разными требованиям совместно и эффективно использовать единую физическую сеть без проблем, ограничений и конфликтов, связанных с доступом к ресурсам сети.

Основой разделения сети на срезы является сетевой сегмент – логический или виртуальный сетевой срез, содержащий все выделенные ресурсы, которые требуются для поддержки изолированного набора сервисов, приложений или пользователей/клиентов с разными, потенциальнопротиворечивыми требованиями к ресурсам с учетом разнообразных ограничений. Как показано на рис 3, Повышение эффективности связано с тем, что поставщики услуг могут отслеживать и масштабировать пропускную способность каждого сегмента для оптимизации использования сети.

Об автоматизации процессов сегментации

Многие операторы сетей при мониторинге сетей Anyhaul предпочитают использовать персонал для принятия решений по управлению сетевыми процессами в режиме реального времени. Однако, учитывая нарастающую сложность процессов подключения услуг на сетях Anyhaul, необходимость в их автоматизации будет становиться со временем принципиальной важной.

Автоматизация процессов сегментации (slicing) поможет операторам обеспечить поддержку всего жизненного цикла от создания сегмента сети до обеспечения его жизнеспособности с мониторингом и оптимизацией процессов, и далее с динамической подстройкой для упреждающих действий в случае угрозы снижения целевых технико-экономических показателей, например, при возникновения определенных сложностей с обеспечением требований SLA.

Задача автоматизации процессов сегментации сети (slicing) неизбежно будет поставлена поставщиками цифровых услуг (Digital Service Provider, DSP), которые будут решать вопросы предоставления сервисов E2E 5G совместно с автоматизированным цифровым управлением жизненным циклом (Life Cycle Management, LCM) бизнес-систем и систем поддержки операций (Operational Support System, OSS). Автоматизация сегментации сети будет иметь принципиальное значение для эффективной доставки, оптимизации и обеспечения этих услуг в сетях E2E 5G.

О разбиении транспортной сети на срезы/сегменты

Все изложенное выше относится и к сегментации транспортного уровня (транспортная сегментация) с учетом того, что концепция транспортной сегментации должна "вписываться" в архитектуру 3GPP 5G.

По документам IETF "Транспортный сегмент – это абстрактная сетевая топология, соединяющая разные конечные точки с соответствующей изоляцией и конкретным соглашением об уровне обслуживания (SLA), описываемым в терминах общих или выделенных сетевых ресурсов, уровня изоляции и т. п.". Другими словами, транспортный сегмент- это группа соединений различных конечных точек сети для достижения определенного SLA в интересах клиента.

Разделение транспортной сети на сегменты связано с тем что сервисы и устройства должны удовлетворять требованиям SLA, которые сильно различаются в зависимости от приложения и вида услуги. Сетевой сегмент E2E состоит из нескольких сегментов на уровне радиодоступа, ядра,а также включает один или несколько транспортных сегментов. Каждый сетевой сегмент имеет свой собственный контроллер(ы) сегмента, который обеспечивает на сети 5G соблюдениетребований E2E SLA.

Оркестратор сегментов сети E2E 5G и контроллеры сегментов (для радиодоступа и ядра) определены 3GPP как функционал управления сетевым сегментом E2E (Network Slice Management Function, NSMF) и функция управления подсетью сетевого сегмента (NSSMF) соответственно. В настоящее время партнерство 3GPP рассматривает интерфейсы для NSMF для связи как с RAN NSSMF, так и с core NSSMF, но еще не определилось с подобным интерфейсом для транспортных срезов/сегментов.

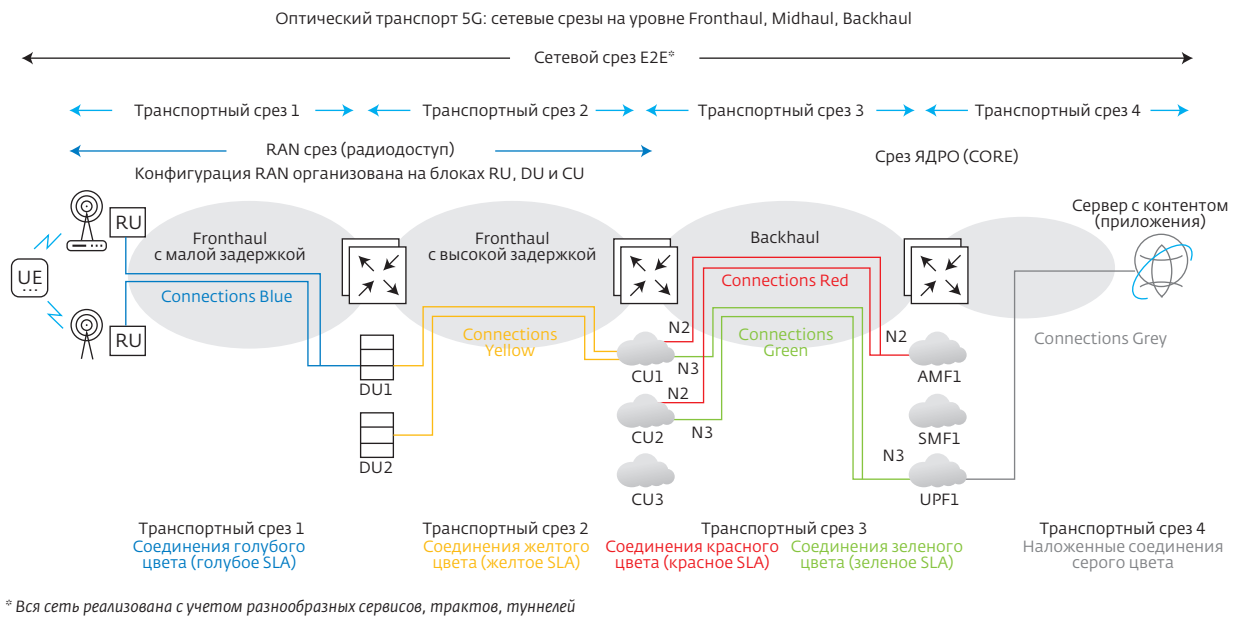

Рис.2. Сетевые срезы (сегменты) сети 5G на уровне Fronthaul, Midhaul, Backhaul (источник: R. Rokui (Nokia) IETF Definition of Transport Slice, November 2019)

Оркестратор сегментов сети E2E 5G координирует действия контроллеров сегментов на уровне радиодоступа, ядра и транспорта. Каждый сегмент сети E2E поддерживает конкретного клиента или "арендатора" и конкретную услугу (например, услуги eMBB, услуги видеонаблюдения, информационно-развлекательные системы для автомобильных компаний). Любой сегмент может рассматриваться как общий, если связан с предоставлением нескольких типов услуг.

Параллельно в IETF проводится работа по созданию описания "интерфейса подключения транспортного сегмента" с участием ряда производителей оборудования (Nokia и др.) и ведущих операторов (поставщиков услуг) связи (NTT, Telefonica, Orange и др.) с тем, чтобы дать определение интерфейсов для транспортных сегментов, включая определение информационной модели для автоматизации создания, оптимизации и мониторинга транспортных сегментов.

Роль контроллера транспортного сегмента сети

Для сетей E2E 5G контроллер транспортного сегмента взаимодействует с NSMF (оркестратором сети E2E), что повышает важность стандартизации интерфейса транспортного контроллера. Контроллер транспортного сегмента формирует для оркестратора E2E абстрактное описание существующей транспортной сети, включая в него отличающие данный сегмент особенности с тем, чтобы обеспечить создание, контроль и управление сервисами, а также гарантировать работоспособность сегментов сети в полном соответствии с конкретными требованиями SLA. Эта функциональность является,как правило, частью системы управления программно определяемой сетью (SDN) с вычислением оптимальных транспортных маршрутов, например, с использованием функционалаPCE (Path Computation Engine). Эту функциональность можно использовать, например, между шлюзами периферийных ЦОДов 5G, через которые будет происходить взаимодействие между 5G core (ядро) и 5G RAN (радиодоступ).

Внедрение контроллера транспортного сегмента станет важным для максимального повышения операционной эффективности по мере перехода CSP к сетям E2E 5G. Под этим понимается преимущество обеспечения работы для гибридных развертываний 4G/5G (то есть развертываний без прерывания услуг 4G). Управление транспортным сегментом 5G также даст возможность лучше и более согласованно обеспечивать выполнение соглашений SLA во всех реализациях сегмента транспортной сети. Контроллер транспортного сегмента обеспечит

использование преимуществ SDN и автоматизации сети на основе реализаций намерений (intent based), а также программируемости сети при разделении транспортной сети на сегменты, улучшая соблюдение SLA на уровне каждого сегмента.

Контроллер транспортного сегмента предоставляет абстрактный программный интерфейс, позволяющий сетевому оркестратору E2E создавать, оптимизировать и обеспечивать транспортные срезы поверх, например, уровней Fronthaul, Midhaul, Backhaul, при взаимодействии облачных структур и использовании наложенных сетей, как это показано на рис.2.

Эту возможность программирования можно гибко расширить, чтобы охватить оборудование любого производителя и любые поддерживающие технологии:

- сетевые технологии: IP, оптическая, пассивная оптическая сеть (PON) или микроволновая (РРЛ);
- типы туннелей: IP, MPLS, сегментная маршрутизация или оптический блок данных (ODU) / оптический канал (OCH);
- уровни модели OSI: L0, L1, L2, L3.

Выделение транспортных срезов (сегментов) и создание их абстрактных описаний обеспечит значительную гибкость в реализации сегментов на основе различных базовых технологий без необходимости изменения северных интерфейсов (North Band Interfaces, NBI), используемых для связи уровня управления и контроля транспортной сети с оркестратором и OSS.

Выводы

Разделение транспортной сети на сегменты (slicing) станет фундаментальной основой предоставления различных услуг E2E поверхединой физической транспортной сети. Такой функционал имеет решающее значение для развития сетей 5G, поскольку гарантирует операционную гибкость и эффективность при предоставлении услуг без вмешательства пользователя и персонала и с поддержкой соглашений об уровне обслуживания SLA, особенно в части, касающейся пропускной способности, величины задержки и уровня надежности.

Контроллер транспортного среза становится ключевым строительным блоком для автоматизации создания, оптимизации и обеспечения гарантии безопасности транспортных сегментов в контексте мультидоменных/мультисегментных, мультитехнологичных и мультивендорных сетей E2E 5G. ■