

СЕТИ 5G: ЭВОЛЮЦИЯ К ОТКРЫТОЙ СЕТЕВОЙ АРХИТЕКТУРЕ

Часть 2. Стандартизация решений для открытой сетевой инфраструктуры и радиодоступа 5G

С.С.Коган, к.т.н., советник генерального директора компании "Т8" по формированию технической стратегии / kogan@t8.ru

УДК 621.326, DOI: 10.22184/2070-8963.2023.111.3.62.70

При развертывании сетей мобильной связи 5G поверх существующей или вновь создаваемой сетевой инфраструктуры операторы и провайдеры телекоммуникационных услуг заинтересованы во внедрении открытых решений, позволяющих использовать на одной сети аппаратные платформы и программное обеспечение разных производителей. Этот интерес стимулируется также внедрением на сети 5G новых, облачных, технологий с широким использованием центров хранения и обработки данных (ЦОД). В цикле статей даны определения основных элементов концепции (часть 1) и представлен обзор работ по стандартизации (часть 2) открытых решений и интерфейсов для сетевой инфраструктуры 5G.

ВВЕДЕНИЕ

Необходимое (но недостаточное) условие для открытости сетей – соответствие открытым стандартам. В области мобильной связи основной организацией по стандартизации является 3GPP, которая определяет стандарты как радиопrotocolов (air interface), так и сетевых интерфейсов. Но для нормального взаимодействия оборудования разных производителей (multi-vendor interoperability) наличия стандарта (даже хорошего) недостаточно. Второе необходимое условие – подтверждающее тестирование (conformance testing). Организация 3GPP, помимо стандартов, определяет схемы проверок (test cases), а такие организации, как GCF (The Global Certification Forum), занимаются сертификацией.

ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ СЕТЕВЫЕ РЕШЕНИЯ (SDN)

Параллельно с процессами деагрегации аппаратной платформы (АП) и программного обеспечения (ПО) сетевых устройств развивалась технология

программно-определяемых сетей SDN (Software Defined Networks).

Над стандартизацией решений SDN работает организация ONF (Open Networking Foundation, основана в марте 2011 года). Шесть компаний, владельцев и операторов самых крупных мировых сетей – Deutsche Telekom, Facebook, Google, Microsoft, Verizon и Yahoo! – объявили о создании Открытого фонда сетевых технологий (Open Networking Foundation, ONF) – некоммерческой организации, предназначенной для продвижения нового подхода к сетевым технологиям, получившего название Software-Defined Networking (SDN). К основателям фонда присоединились 17 компаний – ведущих производителей оборудования, сетевого и виртуализационного программного обеспечения и процессорных технологий: Broadcom, Brocade, Ciena, Cisco, Citrix, Dell, Ericsson, Force10, HP, IBM, Juniper Networks, Marvell, NEC, Netgear, NTT, Riverbed Technology, VMware.

Решения SDN предполагают разделение функций, относящихся непосредственно к передаче трафика,

от функций контроля и управления с выносом последних из сетевых устройств и их централизацией в контроллере SDN. Документами ONF сеть SDN определена как сетевая архитектура с централизованной плоскостью управления (Control & Management Plane), которая управляет несколькими отдельными физическими или виртуализированными устройствами (Data Plane).

Технология SDN должна обеспечить масштабируемость и автоматизацию, необходимые для будущих сценариев использования открытых сетей 5G с виртуализацией сетевых функций. Поскольку значительную часть функций, которые ранее должен был выполнять традиционный сетевой элемент (например, пакетный коммутатор или маршрутизатор уровня сети IP/MPLS, оптический транспондер/мультиплексор ввода/вывода оптических каналов оптической транспортной системы OTN/DWDM и т. п.), теперь реализует внешний контроллер, операционная система сетевого элемента может быть значительно упрощена до уровня агента интерфейса OpenFlow [12].

Стек протоколов передачи и модели данных

Чтобы сократить время на ручные операции, связанные с настройкой или конфигурацией сетевых элементов, команды поставщиков услуг и корпоративных сетей перешли к сервис-ориентированному подходу в управлении открытыми сетями с использованием протокола передачи данных IETF NETCONF и языков моделирования данных YANG.

Протокол передачи данных – это набор соглашений, которые определяют обмен данными между различными программами. Они задают единообразный способ передачи сообщений и обработки ошибок. При построении открытой, программно-определяемой сети SDN/NFV для изменения конфигураций сетевых элементов (узлов) потребуется использовать протокол NETCONF/YANG, а для изменения таблицы переадресации передаваемых через сетевой элемент (узел) данных – протокол OpenFlow [13]:

- протокол позволяет изменять таблицу переадресации проходящих через сетевой узел данных. Этот открытый стандарт предоставляет разработчикам возможность оперировать в сети с экспериментальными протоколами, то есть не требует раскрытия внутреннего устройства сетевых устройств. Стандарт OpenFlow в настоящее время принят большинством производителей сетевого оборудования;

- протокол NETCONF (NETwork CONFiguration, RFC6241, RFC4741) – это стандартизированный способ программного обновления и изменения конфигурации сетевого устройства. Протокол определен IETF для "установки, управления и удаления конфигурации сетевых устройств". Протокол NETCONF основан на модели взаимодействия клиент/сервер, причем операции выполняются через уровень RPC с использованием кодирования на основе XML. К ключевым особенностям NETCONF относятся возможность "отката" конфигураций к предыдущему варианту, поддержка любой модели данных, а также отделение данных о логической конфигурации от данных рабочего состояния;

- язык моделирования данных YANG (Yet Another Next Generation, RFC6020) [14] обеспечивает стандартизированный способ моделирования рабочих и конфигурационных данных сетевого устройства, не зависящий от протокола. YANG – это не XML или JSON, а язык, описывающий модели данных. При этом данные могут быть представлены в виде JSON или XML. Модели классифицируются на открытые и собственные, причем с каждой работают разные группы:

- ▶ открытые (Open) модели разработаны для того, чтобы быть независимыми от базовой платформы и нормализовать конфигурацию сетевых устройств каждого поставщика. Модели Open YANG разрабатываются поставщиками и органами по стандартизации, например, IETF, ITU, OpenConfig и т. д.;
- ▶ собственные (Native) модели, предлагаемые производителями, предназначены для интеграции с функциями или конфигурацией, относящимися только к программно-аппаратным средствам данного производителя.

Пример мультивендорной (открытой) SDN транспортной архитектуры оператора Vodafone с использованием на уровне SBI протокола передачи данных IETF NETCONF и языков моделирования данных YANG, а на уровне NBI – Restful, представлен на рис.1 [15].

Решение основано на мультивендорной и многоуровневой иерархической SDN архитектуре, включающей:

- IP/MPLS SDN-контроллер компании Juniper (Juniper Paragon Pathfinder, (JPP));
- SDN-контроллер оптической транспортной сети компании Ciena (Ciena Manage Control and Plan, MCP);

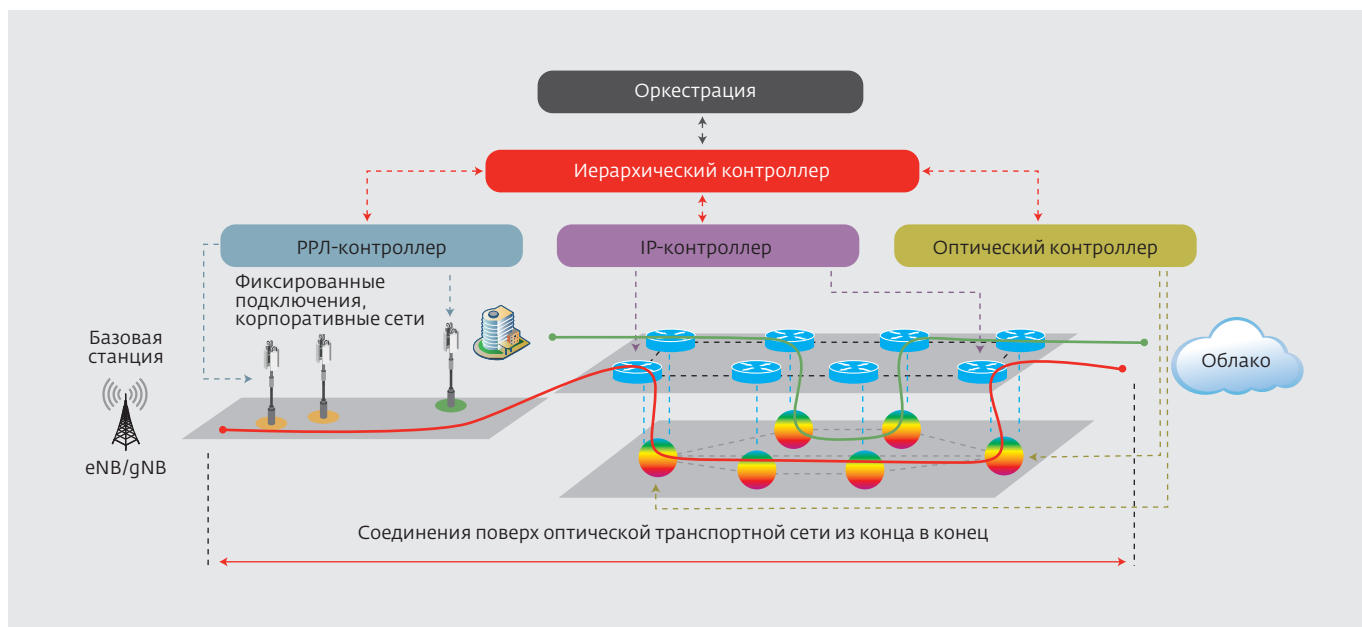


Рис.1. Пример мультивендорной (открытой) SDN транспортной архитектуры оператора Vodafone

- иерархический SDN контроллер компании Cisco (Cisco Crosswork Hierarchical Controller – бывший продукт Sedona Netfusion).

Связь между компонентами различных производителей обеспечивается открытыми стандартными отраслевыми протоколами API, что создает единый сквозной уровень управления SDN. REST API или API, который является RESTful (придерживается ограниченный REST), не является протоколом, языком или установленным стандартом. API, чтобы соответствовать RESTful, должен следовать определенным ограничениям, с тем чтобы обеспечить масштабируемость и функциональную совместимость взаимодействий между программными приложениями.

Из проекта Концепции строительства сетей 5G, подготовленного российским госпредприятием "Научно-исследовательский институт радио" (НИИР), следует, что технология виртуализации и контейнеризации будет активно использоваться при строительстве в России сетей нового поколения сотовой связи 5G [16].

При этом подразумевается применение таких технологий, как NFV (Network Function Virtualization, виртуализация сетевых функций), SDN (Software Defined Network, программно-определяемые сети), Cloud RAN (облачная инфраструктура радиодоступа) / Open RAN (открытая инфраструктура радиодоступа) и Virtualized Backhaul (виртуализация решений на уровне агрегации и ретрансляции трафика). Технология NFV позволяет отделить программное обеспечение (ПО) от аппаратной платформы (АП, физического оборудования)

и реализовать функции телекоммуникационного оборудования на универсальной аппаратной платформе, а именно на ИТ-серверах. На одном физическом сервере (АП) большой производительности может быть организована работа нескольких виртуальных серверов со своими ПО/ОС (операционной системой), взаимодействующими между собой посредством виртуального коммутатора.

Ниже представлены некоторые обозначения, используемые в документах по стандартизации:

- RFC (Request For Comments) – публикацией документов RFC занимается IETF под эгидой открытой организации ISOC (Internet Society: Общество интернета);
- API (Application Programming Interface) – прикладной программный интерфейс приложения, то есть набор инструментов, который позволяет одним программам работать с другими. API предусматривает, что программы можно использовать в том числе на разных компьютерах. В этом случае требуется организовать интерфейс API так, чтобы различные ПО могли запрашивать функции друг друга через сеть;
- XML (eXtensible Markup Language) – расширяемый язык разметки, предназначенный для хранения и передачи данных. Этот формат, рекомендованный Консорциумом Всемирной паутины (W3C), часто используется для передачи данных по API. В SOAP API это единственно возможный формат входных и выходных данных.

Сокращения:

- SOAP (Simple Object Access Protocol) – протокол, по которому веб-сервисы взаимодействуют друг с другом или с клиентами;
- SOAP API – это веб-сервис, использующий протокол SOAP для обмена сообщениями между серверами и клиентами. При этом сообщения должны быть написаны на языке XML в соответствии со строгими стандартами, иначе сервер вернет ошибку;
- JSON (JavaScript Object Notation) – текстовый формат обмена данными, основанный на JavaScript. При этом он может использоваться в любом языке программирования. Также в качестве альтернативы можно применять XML, но разработчики предпочитают именно JSON, так как он более читабельный и меньше весит (занимает меньший объем памяти). JSON используется в REST API;
- REST API (REpresentational State Transfer) – позволяет получать и модифицировать данные, состояния удаленных приложений, передавая HTTP-вызовы через интернет или любую другую сеть: серверное приложение дает доступ к своим данным клиентскому приложению по определенному URL (Uniform Resource Locator), то есть адресу, который выдан уникальному ресурсу в интернете;
- RPC (Remote Procedure Call) – это удаленный вызов процедур (или вызов удаленных процедур), то есть класс технологий, позволяющих программам вызывать функции или процедуры в другом адресном пространстве (на удаленных узлах либо в независимой сторонней системе на том же узле).

ОТКРЫТАЯ СЕТЬ РАДИОДОСТУПА

В ноябре 2017 года оператор Vodafone создал рабочую группу по открытому радиодоступу O-RAN Alliance и передал в 3GPP свой проект программно-определяемых сетей радиодоступа SD-RAN (Software Defined – Radio Access Networks). Существующая группа xRAN Forum была ориентирована в основном на разработку технических требований (спецификаций), а группа O-RAN Alliance – на конкретные случаи реализации радиодоступа (use cases) и построение сети радиодоступа с участком Fronthaul между узлами RU/Radio Unit и DU/Distribution Unit (рис.2).

При анализе вариантов функционального разделения интерфейса Fronthaul в группе xRAN Fronthaul были учтены два противоположных обстоятельства:



Рис.2. Состав и взаимосвязь групп xRAN, C-RAN и O-RAN Alliance [17]

- с одной стороны, ставится задача максимально упростить RU, потому что размер, вес и мощность – важные параметры радиомодулей, и чем сложнее RU, тем больше, тяжелее и энергозатратнее решение;
- с другой стороны, организация интерфейса с RU на более высоком транспортном уровне снижает требования к пропускной способности интерфейса, поскольку чем выше уровень интерфейса обмена LLS (Low-Layer Split) между CU и RU, тем более сложный блок RU.

Существующая спецификация группы xRAN Fronthaul соответствует функциональному разделению нижнего уровня в плоскости управления (LLS-M, Low-Layer Split Management-Plane), что облегчает инициализацию, настройку и управление RU. В рамках поиска альтернативы для обеих задач группа xRAN выбрала одну точку разделения (split point) – Split point 7-2x, но допускает вариации, при которых функция предварительного кодирования может располагаться "выше" интерфейса Fronthaul в узле CU либо "ниже" интерфейса Fronthaul в узле RU. Цели группы O-RAN Alliance были определены как разработка технологий RAN на основе документов 3GPP и деагрегированного программного обеспечения, а также составление схем проверок (test cases) для сетевого оборудования в рабочей группе O-RAN WG [18].

Перед O-RAN Alliance были поставлены задачи достижения высокого уровня:

- открытости, с тем чтобы можно было обеспечить гибкость предоставления услуг и достичь экономических показателей, свойственных облачным сетям. Только тогда многочисленные поставщики услуг и операторы сетей смогут предлагать собственные услуги или настраивать сеть в соответствии со своими конкретными потребностями. Открытые интерфейсы позволят развертывать решения на АП и ПО/ОС от нескольких производителей, создавая более конкурентоспособную и динамичную экосистему поставщиков. Решения по АП и ПО/ОС с открытым исходным кодом обеспечивают более быстрое и демократичное внедрение инноваций;
- автоматизации на все более сложных сетях, с тем чтобы можно было упростить их эксплуатацию, техническое обслуживание и тем самым снизить эксплуатационные расходы. В сочетании со стандартизированными южными интерфейсами SBI станет достижимой полная автоматизация и оптимизация процессов с прицелом на AI/ИИ, что откроет новую эру сетевых операций.

Сокращения:

- SBI (Southbound interface) – южный интерфейс – это программный интерфейс, с помощью которого приложение обращается к нижестоящему в архитектуре системы приложению;
- NBI (Northbound interface) – северный интерфейс – это программный интерфейс, с помощью которого приложение представляет низкоуровневые детали вышестоящему в архитектуре системы приложению;
- AI (Artificial Intelligence) или искусственный интеллект (ИИ) – искусственные интеллектуальные системы выполняют творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека. Искусственный интеллект связан также с задачей использования компьютеров для понимания человеческого интеллекта.

Эволюция решений от традиционного (legacy или distributed, non-virtualized радиодоступа RAN) к открытому радиодоступу (Open RAN / O-RAN Alliance) представлена на рис.3 [19, рис.1].

СТАНДАРТИЗАЦИЯ ОТКРЫТЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ РАДИОДОСТУПА (OPEN RAN)

Международные сообщества, проектные группы и организации по стандартизации открытых решений для радиодоступа отражены на рис.4 [19, рис.2] и прокомментированы ниже.

Представлены некоторые термины и определения, важные для понимания направлений стандартизации решений для сетей радиодоступа (RAN) [21, 22].

- 3GPP (3rd Generation Partnership Project): консорциум, разрабатывающий спецификации для мобильной телефонии (создан в 1998 году). Консорциум определяет стандарт 5G, включая архитектуру, радиоинтерфейс, радиодоступ RAN, UE (User Equipment, оборудование пользователя), ядро (Core) сети. В этом контексте к открытому радиодоступу Open RAN относятся вопросы, связанные с функциональностью CU (Centralized Unit), DU (Distributed Unit), управлением и оркестрацией (MANO), а также с открытыми интерфейсами. Суть идеи O-RAN (Open RAN, сеть открытого радиодоступа) состоит в том, чтобы позволить операторам

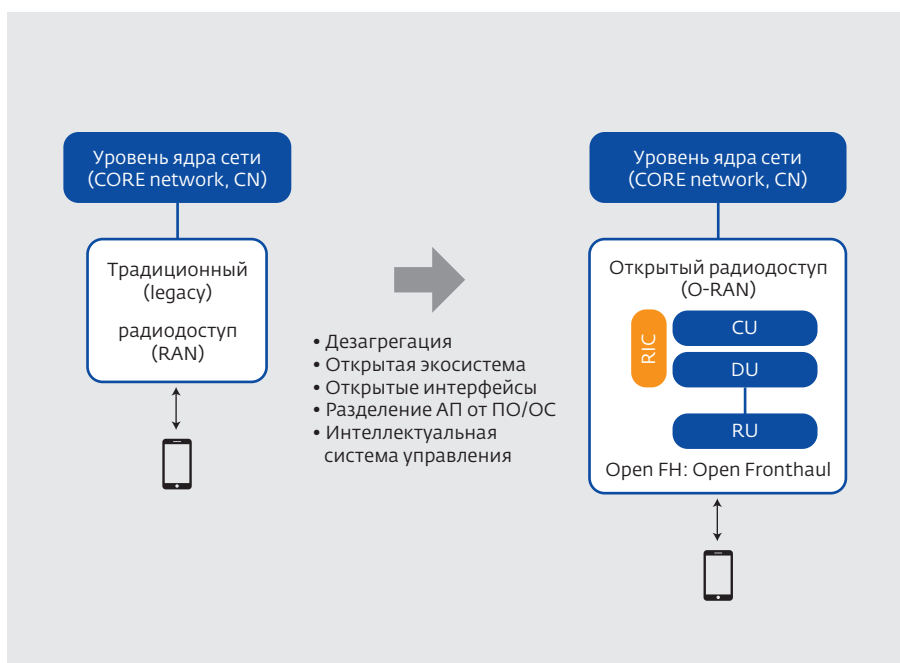


Рис.3. Эволюция решений от традиционного (legacy RAN) к открытому радиодоступу (Open RAN / O-RAN Alliance)

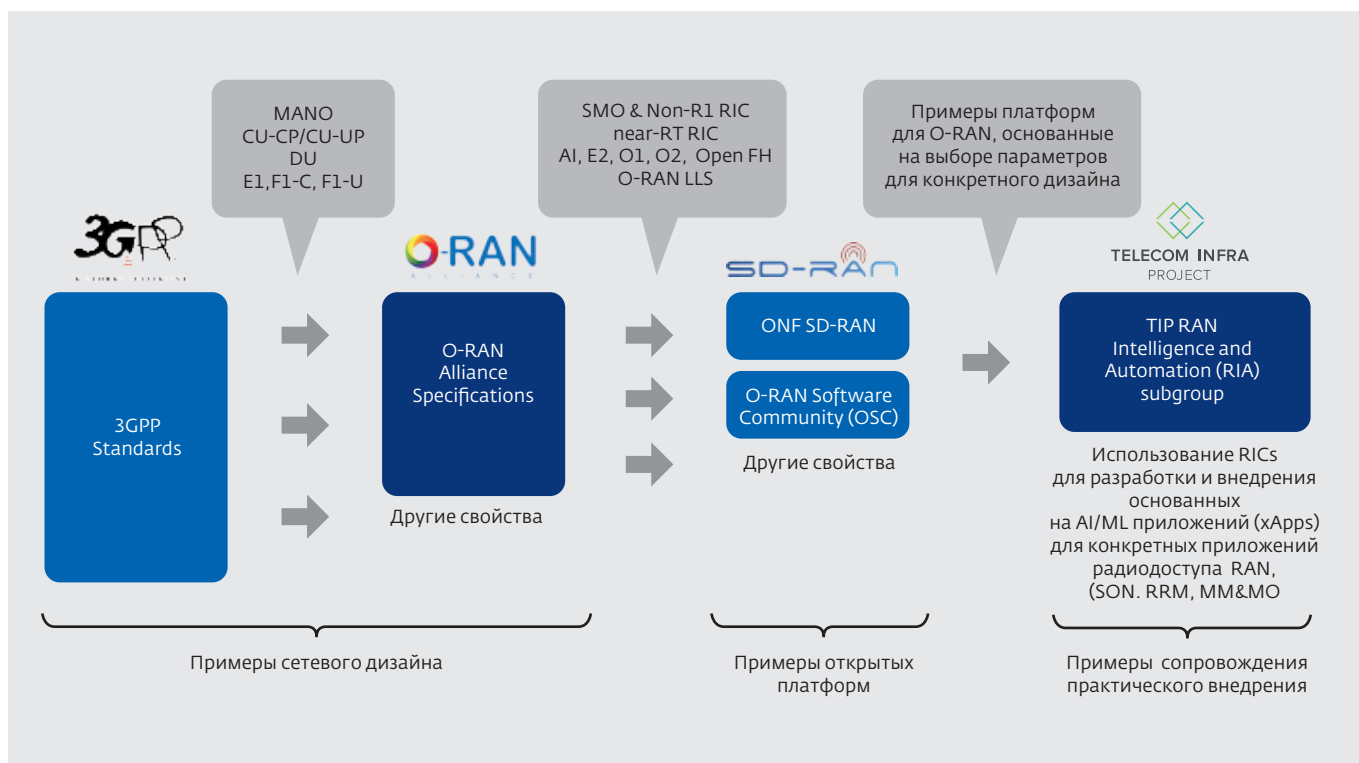


Рис.4. Стандартизация решений для открытого радиодоступа Open RAN / O-RAN Alliance

использовать оборудование разных производителей на уровне радиодоступа;

- ONF (Open Networking Foundation): это некоммерческий консорциум, возглавляемый операторами. Он ориентирован на использование бизнес-модели с открытым исходным кодом (Open Source business model), направленной на реализацию концепции программно-определяемых сетей (SDN), а также стандартизацию протокола OpenFlow и связанных технологий. Группа по стандартизации и продвижению концепции SDN была сформирована в ONF, поскольку облачные вычисления постепенно стирают различия между компьютерными и телекоммуникационными сетями. В ONF подготавливаются программно-определяемые (Software Defined, SD) решения, включая SD RAN (Software-Defined RAN). В документах ONF SD-RAN учтены некоторые технические требования (спецификации), подготовленные в O-RAN Alliance;
- C-RAN (centralized and virtualized RANs): наименование C-RAN получено из четырех C – Clean, Centralized processing, Collaborative radio, real-time Cloud Radio Access Network (облачная сеть радиодоступа, работающая

в реальном времени с централизованной обработкой и совместимой системой радиосвязи). C-RAN – это централизованная архитектура облачных вычислений, разработанная для сетей радиодоступа (RAN), которые поддерживают все поколения мобильных сетей, включая 2G, 3G, 4G и особенно 5G. Такая архитектура RAN обеспечивает консолидацию функций электронной обработки ВВН во всей мобильной сети на меньшем количестве сайтов. Следует отметить, что если блок ВВН централизован, то его можно виртуализировать. Таким образом возникла идея создания виртуального радиодоступа vRAN. Виртуализация радиодоступа позволяет использовать аппаратные/программные компоненты от разных поставщиков (открытая система), поскольку программное обеспечение отделено от аппаратных средств;

- Open RAN (открытый радиодоступ): отраслевое наименование сетевой архитектуры открытого радиодоступа, которое подразумевает использование открытых интерфейсов взаимодействия, виртуализацию аппаратной платформы, обработку больших объемов данных (big data) и поддержку ИИ (AI-enabled

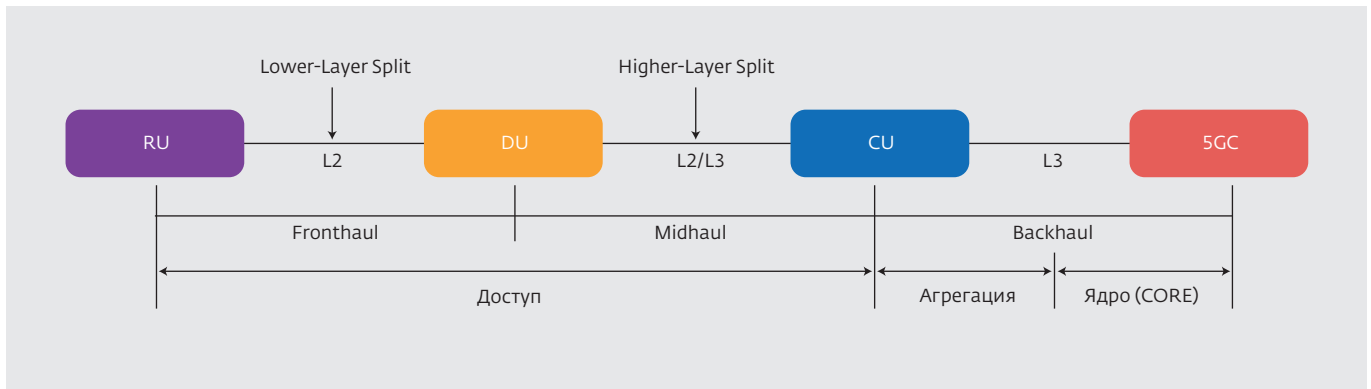


Рис.5. RAN LLS & HLS

RAN). Концепция Open RAN – это основа для построения виртуального радиодоступа, развернутого на открытой аппаратной платформе облачной сетевой инфраструктуры. Использование принципов и технологий облачной виртуализации (vRAN) позволило компенсировать отсутствие необходимой функциональности и гибкости у существующей сетевой инфраструктуры. На такой основе сетевые инженеры смогут комбинировать на уровне радиодоступа аппаратные средства и ПО от разных производителей, поскольку эти компоненты (аппаратные средства, программное обеспечение, а также облачная инфраструктура с виртуализацией компонент) становятся совместимыми и можно выбирать, какое устройство (функционал) следует развертывать (выбирать) для реализации определенной функциональности сети. Можно размещать виртуализированные сетевые функции NFV (Virtual Network Functions) между различными сетевыми компонентами по маршруту, организованному для пользователя соединения. Хотя функциональное разделение компонент на уровне радиодоступа было введено в 5G NR, его также можно применять к предыдущим поколениям сетей мобильной связи, таким как 2G, 3G и 4G;

- Cloud RAN (облачный радиодоступ): виртуализированная сеть радиодоступа, построенная на перспективной облачной сетевой инфраструктуре и включающая такие ключевые элементы, как микросервисы и контейнеризация ПО;
- vRAN (виртуализированный радиодоступ): термин связан с эволюцией сетей 5G к программно-определяемым (SDN) решениям,

обеспечивает сетевой архитектуре RAN гармоничное решение при большей простоте и гибкости;

- O-RAN Alliance – на основе отмеченных в документах 3GPP элементов сети радиодоступа RAN (Radio Access Network) определяет:
 - ▶ общую открытую архитектуру сети открытого радиодоступа O-RAN (Open RAN, сеть открытого радиодоступа) с разделением аппаратного и программного обеспечения и деагрегацией (декомпозицией) нижнего уровня LLS (Low-Layer Split),
 - ▶ оркестрацию системы управления сетью и порядка предоставления услуг,
 - ▶ RIC (RAN Intelligent Controller): программно-определяемый компонент архитектуры сети открытого радиодоступа (O-RAN Alliance), который отвечает за контроль и оптимизацию функций сети радиодоступа,
 - ▶ открытые интерфейсы между ними, включая E2, A1, O1, O2 и т. д.

На рис.5 представлено разделение аппаратного и программного обеспечения с деагрегацией (декомпозицией) нижнего LLS (Low-Layer Split) и верхнего HLS (Higher-Layer Split) уровней сети радиодоступа [20].

Следует отметить, что концепция O-RAN Alliance отличается от Open vRAN (Open V-RAN) или vRAN (V-RAN). Так, в соответствии с документами O-RAN Alliance сеть радиодоступа может быть и не полностью виртуализирована. Например, в качестве радиоблоков могут использоваться стандартные аппаратные продукты. Но варианты Open vRAN и vRAN связаны с виртуализацией, притом что один из них является полностью открытой системой, а другой – нет.

- OpenRAN – термин относится к инициативам, исходящим от TTP’s OpenRAN Project Group;
- O-RAN software community (OSC) – сотрудничает с O-RAN Alliance и Linux Foundation в целях разработки доступного для всех программного обеспечения с открытым исходным кодом OS (Open Source) для открытой и интеллектуальной сети радиодоступа 5G. Решения должны соответствовать архитектуре и техническим требованиям (спецификации), согласованным в O-RAN Alliance.

Обозначения:

- OS (Open Source) – это программное обеспечение, распространяемое с открытым исходным кодом. Такое приложение можно доработать (изменить, дополнить) под свои задачи без нарушения авторских прав разработчиков, а также изучить на наличие уязвимостей, использовать для разработки других программ и т. д. Само понятие Open Source возникло как альтернатива проприетарному ПО, когда коммерческие компании закрывали доступ к исходному коду. Большинство продуктов Open Source совместимы с разными семействами операционных систем, то есть они кросс-платформенные. Open Source приложение можно доработать под свои задачи без нарушения авторских прав разработчиков исходного ПО;
- TTP (Telecom Infra Project): сформированная в 2016 году организация была ориентирована на инженерные разработки на основе согласованной методологии создания и развертывания глобальной сетевой инфраструктуры с целью обеспечения глобального доступа для всех. Объединяет более 500 компаний в мире для развития экосистемы телеком-оборудования на принципах открытой и стандартизированной архитектуры. Российский оператор МТС – член данной организации. В совет директоров входят представители компаний Deutsche Telekom, Facebook, Intel, Telefonica, Nokia, Vodafone и BT. Операторы связи, не удовлетворенные темпами инноваций и зависимостью от традиционных производителей оборудования мобильной связи, видят в TTP новые для себя возможности внедрения инноваций и контроля затрат. В рамках работы сообщества сформированы проектные группы по направлениям:
 - ▶ радиодоступа: выявление и создание инновационных инфраструктурных решений, технологий и методологий,

облегчающих подключение людей к интернету. Работы в области доступа сосредоточены, в частности, на удалении некоторых функциональных блокировщиков, которые могут затруднить подключение к конечному пользователю,

- ▶ транспорта: решение вопросов масштабируемости, простоты настройки и расширяемости для оптоволоконной (OTN/DWDM) и беспроводной (РРЛ/MW) сети на уровне backhaul,
- ▶ пакетного ядра и предоставления услуг: решение вопросов упрощения архитектуры сети, повышения ее эффективности и гибкости при одновременном снижении текущих затрат, связанных с поддержанием сети в рабочем состоянии.

В рамках TTP организовано две проектные группы по радиодоступу:

- Open RAN, которая занимается решениями для радиодоступа 2G, 3G и 4G на основе аппаратных и программно-определяемых технологий общего назначения;
- Open-RAN 5G NR, которая специализируется на решениях для открытого радиодоступа 5G NR.

ЛИТЕРАТУРА

1. Telefonica. Telefonica Strategy tods Open and Disaggregated Networks, ONF Berlin Meetup Meeting, 2022. [Электронный ресурс]. URL: https://open-networking.org/wp-content/uploads/2022/05/Telefonica-ONF-Broadband_v1.1_20220520_Berlin_TEF.pdf (дата обращения 07.04.2023).
2. Росконгресс. Доклад о цифровой экономике в 2021 году (Юнктад) [Электронный ресурс]. URL: <https://roscongress.org/materials/doklad-otsifrovoy-ekonomike-v-2021-godu/> (дата обращения 09.04.2023).
3. Росконгресс. Виртуализация мобильных сетей [Электронный ресурс]. URL: <https://roscongress.org/materials/virtualizatsiya-mobilnykh-setey-serebryanaya-pulya-dlya-operatorov-v-osvoenii-5g/> (дата обращения 17.04.2023).
4. **Marcus K. Weldon**. The Future X Network (and its critical role in new value creation). 2017. [Электронный ресурс]. URL: https://na.eventscloud.com/file_uploads/92fc_10b48925c_74e9183eaf28aa87128_1_The_FutureXNetwork_Weldon.pdf (дата обращения 27.04.2023).
5. Raisecom. Стандартизация сетей [Электронный ресурс]. URL: <https://www.raisecom.ru/articles/45899/> (дата обращения 07.05.2023).

6. 12 лучших преимуществ облачных вычислений для бизнеса [Электронный ресурс]. URL: <https://clarusapex.com/ru/top-12-benefits-cloud-computing-businesses/> (дата обращения 07.04.2023).
7. Прохоров А., Рахматуллин С. Центры обработки данных. Анализ, тренды, мировой опыт. Корпоративное издание. [Электронный ресурс]. URL: <https://data.atomcloud.ru/books/data-center-book.pdf> (дата обращения 04.05.2023).
8. ГОСТ Р 58811-2020. Центры обработки данных, инженерная инфраструктура. Стадии создания. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200171331> (дата обращения 25.04.2023).
9. ГОСТ Р 70139-2022. Центры обработки данных. Инженерная инфраструктура. Классификация. [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ГОСТ_Р_70139-2022_Центры_обработки_данных._Инженерная_инфраструктура._Классификация (дата обращения 17.04.2023).
10. ГОСТ Р 56938-2016. Защита информации. Защита информации при использовании технологий виртуализации. Общие положения. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200135524?ysclid=lc0l7177cx892232516> (дата обращения 19.04.2023).
11. Роде О. Контейнеризация приложений: что это такое и когда стоит использовать. [Электронный ресурс]. URL: <https://mcs.mail.ru/blog/chto-takoe-kontejnerizacija-prilozhenij> (дата обращения 07.04.2023).
12. We need both OpenFlow and NETCONF. [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.ipSPACE.net/2012/06/we-need-both-openflow-and-netconf.html> (дата обращения 07.05.2023).
13. Telcomо. Введение с NETCONF/YANG. [Электронный ресурс]. URL: [https://telecomо.ru/company/news/29237.html#:~:text=YANG%20\(Yet%20Another%20Next%20Geneeration,кодирования%2C%20например%20XML%20или%20JSON](https://telecomо.ru/company/news/29237.html#:~:text=YANG%20(Yet%20Another%20Next%20Geneeration,кодирования%2C%20например%20XML%20или%20JSON) (дата обращения 07.04.2023).
14. Yang для чайников. [Электронный ресурс]. URL: <https://xh4l3.readthedocs.io/ru/latest/translate/yang/> (дата обращения 12.04.2023).
15. Vodafone implements multivendor SDN in global transport network. [Электронный ресурс]. URL: <https://rethinkresearch.biz/articles/vodafone-implements-multivendor-sdn-in-global-transport-network/> (дата обращения 13.04.2023).
16. Основные положения Концепции создания и развития сетей 5G/IMT-2020 в Российской Федерации. ФГУП НИИР 2019. [Электронный ресурс]. URL: https://niir.ru/wp-content/uploads/2019/02/ДевяткинЕЕ_Презентация-5G.pdf (дата обращения 09.04.2023).
17. Parallel wireless eBook. Everything you need to know about Open RAN. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.parallelwireless.com/wp-content/uploads/Parallel-Wireless-e-Book-Everything-You-Need-to-Know-about-Open-RAN.pdf> (дата обращения 03.05.2023).
18. Технология xRAN. [Электронный ресурс]. URL: <https://itechinfo.ru/content/технология-xran> (дата обращения 26.04.2023).
19. Введение в O-RAN. [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/549954/> (дата обращения 17.04.2023).
20. What is an Open Radio Access Network (O-RAN)? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.metaswitch.com/knowledge-center/reference/what-is-an-open-radio-access-network-o-ran> (дата обращения 03.05.2023).
21. Ericsson. Open RAN explained: openness, innovation and flexibility. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ericsson.com/en/openness-innovation/open-ran-explained> (дата обращения 14.04.2023).
22. Lanner. White box solutions. Open RAN vs Virtual RAN: Explained. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.whiteboxsolution.com/blog/open-ran-vs-virtual-ran-explained/> (дата обращения 21.04.2023).
23. Parallel wireless eBook. Everything you need to know about Open RAN. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.parallelwireless.com/wp-content/uploads/Parallel-Wireless-e-Book-Everything-You-Need-to-Know-about-Open-RAN.pdf> (дата обращения 07.04.2023).
24. Juniper. What is Open RAN? [Электронный ресурс]. URL: <https://www.juniper.net/us/en/research-topics/what-is-open-ran.html> (дата обращения 10.05.2023).
25. Rakuten Mobile. [Электронный ресурс]. URL: <https://symphony.rakuten.com/open-ran/network-transformation> (дата обращения 07.04.2023).
26. Skoltech. NTI Center of Excellence in wireless & IoT (Skoltech NTI CoE). [Электронный ресурс]. URL: <https://iot.skoltech.ru/2022/06/30/open-ran-5g-standart/> (дата обращения 13.04.2023).

Окончание части 2 "Стандартизация решений для открытой сетевой инфраструктуры и радиодоступа 5G" будет опубликовано в следующем номере журнала.



**ПРИГЛАШАЕМ
К УЧАСТИЮ**

Место проведения:
площадка у ТЦ «Мой Порт»,
ул. Кирова, 146, мобильный павильон

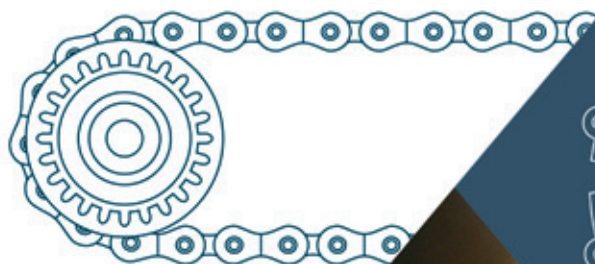
ПРОМЫШЛЕННЫЙ ФОРУМ 19-21 СЕНТЯБРЯ

БОЛЕЕ 28 ЛЕТ ВЫСТАВКАМ • 7000 ПОСЕТИТЕЛЕЙ-СПЕЦИАЛИСТОВ

Ижевск' 2023

ТЕМАТИКА:

- Metalloobrabatывающее оборудование. Инструмент. Metalloпродукция
- Комплектующие изделия и материалы
- Оборудование для термообработки
- Электрические машины и оборудование
- Подъемно-транспортное и складское оборудование
- Литейное оборудование
- Сварочное оборудование
- Контрольно-измерительные приборы и средства автоматизации процессов
- Добыча, переработка, сбыт нефти и газа
- Техника и технологии для добычи нефти и газа, нефтепереработки и нефтехимии. Транспортировка и хранение нефти, нефтепродуктов и газа
- Нефтегазопромысловая геология и геофизика
- Энергетическое и электротехническое оборудование
- Охрана труда, безопасность на производстве. СИЗ
- Ресурсосберегающие технологии
- Сырье, химические материалы, применяемые в нефтегазовой и нефтехимической промышленности
- Средства пожарной безопасности, системы охраны, промышленной безопасности



18+

