



ОСОБЕННОСТИ ИНТЕГРАЦИИ МОБИЛЬНОЙ СЕТИ 5G НА ПРИМЕРЕ ПРОЕКТА SD-CORE И SD-FABRIC

С. М. Тураев*, В. С. Елагин

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: turaev_sodik@mail.ru

Аннотация—Мобильные сети движутся в неумолимом темпе, и они строятся вокруг двух стандартов: 4G и 5G. Действительно, 5G – это новый этап в развитии мобильных технологий, который обеспечит лучшую скорость и покрытие, чем нынешняя 4G. 5G работает с сигналом 5 ГГц и настроен на скорость до 1 Гбит/с для десятков пользователей. Кроме того, 5G использует новый частотный диапазон, наряду с другими новыми технологиями, которые используют гораздо более высокие радиочастоты (28 ГГц по сравнению с 2,5 ГГц для 4G) для передачи большего количества данных с более высокой скоростью, уменьшенной загрузкой и меньшей задержкой. Этот новый интерфейс, использующий миллиметровый спектр волн, позволяет использовать больше устройств в пределах одного кластера; 4G может поддерживать около 4 000 устройств на км², тогда как 5G будет поддерживать около миллиона. Это означает, что больше потоковых данных различных видеосервисов, голосовых вызовов и иных сервисов будут передаваться в мобильных сетях.

Стандарт мобильной связи пятого поколения (5G) – это новый этап развития технологий, который призван расширить возможности доступа в Интернет через сети радиодоступа.

Ключевые слова—частные сети 4G/5G, ядро мобильной связи 5G, SD-Core, SD-Fabric, API-интерфейс, 5G-Edge-Cloud-as-a-Service.

Информация о статье

УДК 004.725.4

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 08.04.2022, принята к печати 01.06.2022.

Для цитирования: Тураев С. М., Елагин В. С. Особенности интеграции мобильной сети 5G на примере проекта SD-Core и SD-Fabric // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Том 10. № 1. С. 45–56. DOI 10.31854/2307-1303-2022-10-1-45-56.



FEATURES OF 5G MOBILE NETWORK INTEGRATION ON THE EXAMPLE OF THE SD-CORE AND SD-FABRIC PROJECT

S. Turaev*, V. Elagin

The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

*Corresponding author: turaev_sodik@mail.ru

Abstract—Mobile networks move at a relentless pace, and they are built around two standards: 4G and 5G. Indeed, 5G is a new stage in the development of mobile technologies, which will provide better speed and coverage than the current 4G. 5G operates on a 5GHz signal and is tuned to speeds up to 1Gbps for dozens of users. In addition, 5G uses a new frequency band, along with other new technologies that use much higher radio frequencies (28 GHz compared to 4G's 2.5 GHz) to transfer more data at higher speeds, with reduced downloads and less delay. This new mmWave interface allows more devices to be used within the same cluster; 4G can support about 4,000 devices per km², while 5G will support about a million. This means that more streaming data from various video services, voice calls and other services will be transmitted on mobile networks.

The fifth generation mobile communication standard (5G) is a new stage in the development of technologies, which is designed to expand the possibilities of Internet access through radio access networks.

Keywords—4G/5G private networks, 5G mobile core, SD-Core, SD-Fabric, API, 5G-Edge-Cloud-as-a-Service.

Article info

Article in Russia.

Received 08.04.2022, accepted 01.06.2022.

For citation: Turaev S., Elagin V.: Features of 5G mobile network integration on the example of the SD-Core and SD-Fabric project // Telecom IT. 2022. Vol. 10. Iss. 1. pp. 45–56. DOI 10.31854/2307-1303-2022-10-1-45-56.



Введение

SD-Core, оптимизированный для развертывания гибридного облака, является идеальным двухрежимным мобильным основным решением производственного уровня с открытым исходным кодом, обеспечивающим предприятиям управляемые частные сервисы подключения 4G / 5G для поддержки Индустрии 4.0. SD-Core легко программируется с помощью богатого набора четко определенных API [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

SD-Fabric — это удобная для разработчиков управляемая облаком программируемая сетевая структура с полным стекком, которая позволяет создавать новые классы новых граничных приложений для Индустрии 4.0 на базе 5G.

SD-Fabric поддерживает создание настраиваемых периферийных облаков, предоставляя полностью программируемые сетевые ресурсы через API-интерфейсы SaaS, которые позволяют программистам создавать расширенные приложения, снижая при этом вычислительную мощность ЦП (*central processing unit*), необходимую для ориентированных на периферию приложений. Предоставляя полную программируемую сетевую фабрику P4, SD-Fabric дает программистам возможность внедрять индивидуальную обработку пакетов глубоко в сетевые элементы. Функциональность приложений может быть ускорена с помощью функций P4, работающих в сетевых коммутаторах и, в конечном итоге, в программируемых сетевых адаптерах серверов P4 и программных коммутаторах, тем самым повышая производительность при одновременном снижении затрат и занимаемой площади.

ONF запускает SD-Core и SD-Fabric для частных сетей 4G/5G

Open Networking Foundation (ONF) запустил два проекта, которые способствуют движению открытого исходного кода для сетей 5G операторов и частных предприятий с функциональностью, привязанной к публичным облакам¹.

SD-Core, проект с открытым исходным кодом для создания деагрегированного мобильного ядра 5G/4G, оптимизированного для новых частных и корпоративных вариантов использования 5G, начинается с предварительно интегрированной двухрежимной плоскости управления (рис. 1). Плоскость управления SD-Core одновременно поддерживает автономное развертывание 5G (SA), неавтономное развертывание 5G (NSA) и 4G/LTE, оптимизируя тем самым гибкость и готовность сетей к будущему².

Он использует компоненты проектов free5GC и ONF OMEC и опирается на них с помощью рефакторинга, чтобы добавить облачные возможности для горизонтального масштабирования, отказоустойчивости, гибкости в нескольких облаках и API-интерфейсов развертывания SaaS. SD-Core дополнительно структурирован таким образом, чтобы одна плоскость управления могла работать со многими экземплярами пользовательской плоскости, оптимизируя таким образом развертывание пограничного облака и предоставляя корпоративную частную сеть 5G из общего ядра, работающего в общедоступном облаке³.

¹ <https://www.convergedigest.com/2021/06/onf-launches-sd-core-and-sd-fabric-for.html>

² Там же.

³ <https://www.convergedigest.com/2021/06/onf-launches-sd-core-and-sd-fabric-for.html>

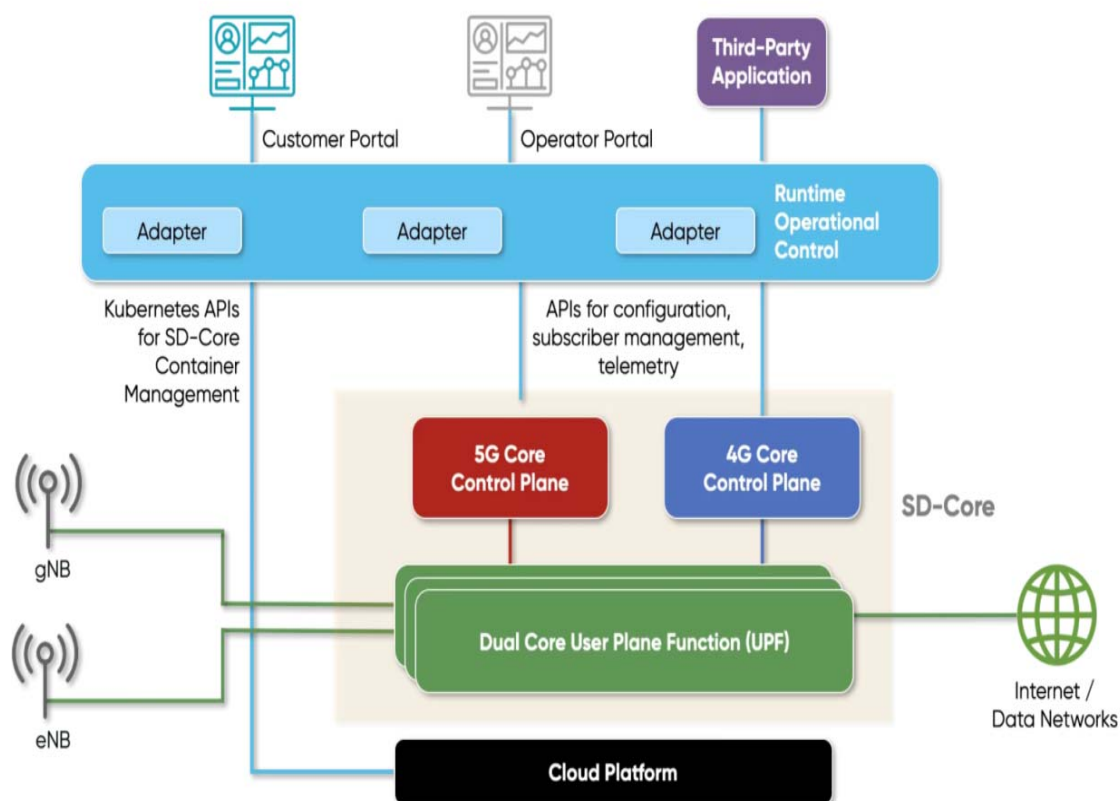


Рис. 1. Архитектура SD-Core высокого уровня

SD-Fabric, программируемая на P4 гибридная облачная сетевая фабрика с открытым исходным кодом, способная внедрять настраиваемую обработку пакетов глубоко в сетевые элементы (рис. 2). Можно представить о SD-Fabric как об облачной программируемой сетевой фабрике с полным стекком для периферийных приложений для Индустрии 4.0 на базе 5G. SD-Fabric может быть развернут как услуга и предоставляет северные API-интерфейсы, позволяющие разработчикам запрашивать расширенные возможности сети, такие как балансировка нагрузки, внутриволновая телеметрия, обработка настраиваемых протоколов и т. д. SD-Fabric предоставляет полный набор классические функции подключения (такие как L2, L3, многоадресная рассылка и ACL). Хосты и приложения не требуют модификации для работы на SD-Fabric, но сеть спроектирована и управляется приложениями SDN, работающими в пограничном облаке ONOS, а не встроенным программным обеспечением, работающим на всех отдельных коммутаторах в сети⁴.

⁴ <https://www.convergedigest.com/2021/06/onf-launches-sd-core-and-sd-fabric-for.html>

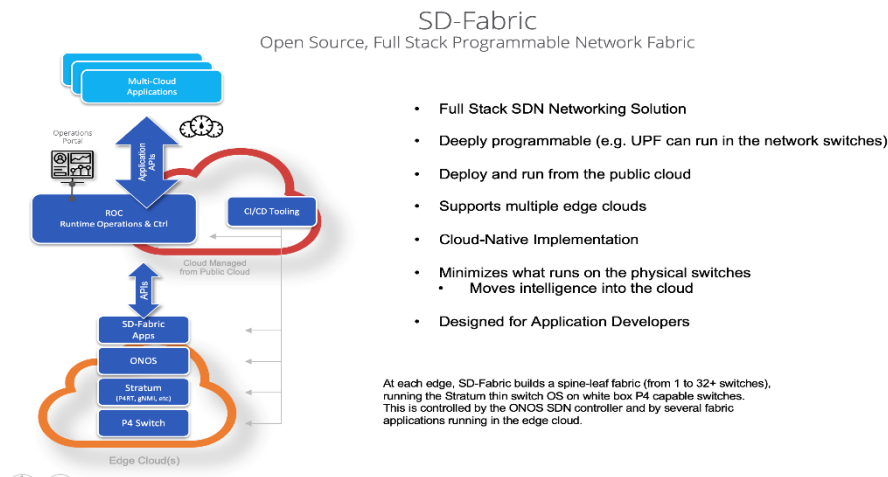


Рис. 2. Архитектура SD-Fabric

Поддержки проекта SD-Core частным сетям 5G

Фонд Open Network Foundation (ONF) рассчитывает, что его проект SD-Core предоставит решения как для 4G, так и для 5G. Его усилия направлены на создание деагрегированного мобильного ядра 4G/5G с открытым исходным кодом для обеспечения работы частных сетей 5G и использования сетей для предприятий. «Это многоядерное решение», — сказал вице-президент ONF по стандартам и членству Тимон Слоан. ONF разрабатывает SD-Core как платформу для подключения в качестве услуги для беспрепятственного распределения подключения из облака. Для его предложений 5G поддерживаются как неавтономные (NSA), так и автономные (SA)»⁵.

Члены платформы ONF утверждают, что SD-Core включает в себя несколько функций уровня пользователя (UPF), используемых для преобразования трафика в IP-трафик. UPF помогают воплотить в жизнь некоторые интересные результаты, включая дополненную реальность (AR) и завод в синхронизирующих роботов, но для их правильной работы UPF должны быть размещены рядом с периферийными приложениями для обеспечения максимальной производительности. Работая вместе, UPF продолжают расширять возможности 5G⁶.

Частные сети 5G сейчас в моде и продолжают представлять интерес для провайдеров, которые ищут индивидуальные беспроводные решения. Основным фактором роста интереса к частным сетям 5G является то, что в прошлом году или около того в Соединенных Штатах стал доступен спектр Citizens Broadband Radio Service (CBRS). Этот спектр дает гораздо более широкому кругу участников, некоторые из которых нетрадиционны для индустрии беспроводной связи, возможность создавать свои собственные приватизированные сети 5G без необходимости наличия лицензированного оператора для достижения этой цели⁷.

Несмотря на то, что у предприятий будет больше свободы для создания собственных частных сетей 5G, это не означает, что провайдеры и поставщики беспроводной связи не находят для этого возможности. AT&T уже демонстрирует

⁵ <https://5ginsider.com/uncategorized/sd-core-project-to-help-private-5g-networks/>

⁶ Там же.

⁷ Там же.



свои возможности в кампусах колледжей, как и в случае сотрудничества с UConn. Ericsson демонстрирует свои возможности в области частной сети 5G, снабжая электроэнергией свой Техасе. Решение Verizon On Site 5G продвигается успешно, и новичок DISH Wireless продолжает настаивать на своих собственных частных 5G-амбициях, предоставляя эти сквозные сети с использованием сегментации сети с некоторой помощью Oracle⁸.

ONF также выпустила свой проект SD-Fabric Project с открытым исходным кодом. Описанный как предоставление «полной программируемой гибридной облачной сетевой структуры P4», программисты смогут перемещать обработку пользовательских пакетов глубже в сетевые элементы. «Это действительно превращает сеть из своего рода черного ящика, который просто перемещает пакеты между серверами, в объект, управляемый облаком, — согласно словам членов проекта SD-Core, — именно такие возможности и функциональность необходимы для некоторых из этих новых приложений»⁹.

Работая вместе с Корнельским университетом, Принстонским университетом и Стэнфордским университетом, ONF сотрудничает в финансируемом DARPA проекте стоимостью 30 миллионов долларов, известном как Project Pronto. Здесь используются усилия ONF SD-Core и SD-Fabric, а также Aether ONF, который представляет собой частную платформу 4G/5G Connected-Edge-Cloud как услугу с открытым исходным кодом. Цель исследования Project Pronto – сосредоточиться на «создании сквозного периферийного облака 5G с открытым исходным кодом в виде программируемой, поддающейся проверке сети с замкнутым контуром управления, позволяющей проводить исследования и демонстрацию новых концепций»¹⁰.

ONF объявляет о новом облачном программно-определяемом проекте SD-Core, ориентированном на ядро мобильной связи 5G

SD-Core, оптимизированный для частных проектов 5G и Industry 4.0, обеспечивает предоставление услуг «Подключение как услуга» в стиле SaaS¹¹. Продолжая движение за открытый исходный код для сетей 5G операторов связи и частных предприятий, Open Networking Foundation (ONF) сегодня объявила о запуске проекта SD-Core™ по созданию деагрегированного 5G/4G с открытым исходным кодом. Мобильное ядро, оптимизированное для новых случаев частного и корпоративного использования 5G¹².

Гибридные развертывания, сочетающие общедоступные и пограничные облака, быстро становятся доминирующей моделью для построения гипермасштабируемых, телекоммуникационных и корпоративных сетей. Владельцы сетей и разработчики приложений требуют гибкости для размещения приложений там, где они лучше всего подходят: в общедоступном облаке для масштабирования

⁸ <https://5ginsider.com/uncategorized/sd-core-project-to-help-private-5g-networks/>

⁹ Там же.

¹⁰ Там же.

¹¹ <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/onf-announces-new-cloud-native-software-defined-sd-core-project-addressing-5g-mobile-core/>

¹² Там же.



и эффективности или на периферии для обеспечения производительности и суверенитета. Имея это в виду, SD-Core применила новый подход к созданию облачного решения, оптимизированного для работы в нескольких облаках, поддерживающего самый широкий спектр вариантов использования пограничного облака и предназначенного для предоставления как услуга¹³.

Двухрежимная плоскость управления

SD-Core предназначена для поддержки новейших возможностей 5G, а также для перехода с 4G на 5G, и все начинается с предварительно интегрированной двухрежимной плоскости управления. Плоскость управления SD-Core одновременно поддерживает автономное развертывание 5G (SA), неавтономное развертывание 5G (NSA) и 4G/LTE, оптимизируя тем самым гибкость и готовность сетей к будущему (рис. 3)¹⁴.

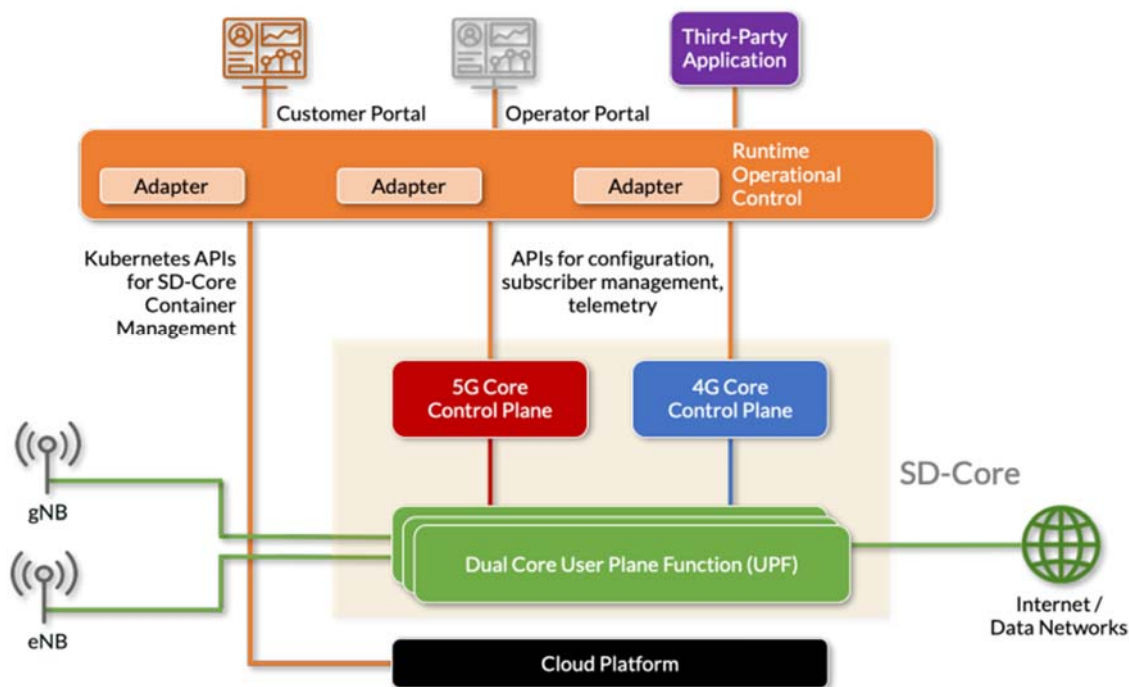


Рис. 3. Архитектура SD-Core высокого уровня

Плоскость управления SD-Core использует компоненты проектов free5GC и ONF OMEC и опирается на них с рефакторингом, чтобы добавить собственные облачные возможности для горизонтального масштабирования, отказоустойчивости, многооблачной гибкости и API-интерфейсов развертывания SaaS. SD-Core дополнительно структурирован таким образом, чтобы одна плоскость управления могла работать со многими экземплярами пользовательской плоскости, оптими-

¹³ <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/onf-announces-new-cloud-native-software-defined-sd-core-project-addressing-5g-mobile-core/>

¹⁴ Там же.



зируя таким образом развертывание пограничного облака и предоставляя корпоративную частную сеть 5G из общего ядра, работающего в общедоступном облаке¹⁵.

SD-Core также оснащен API-интерфейсами северного направления для поддержки моделей развертывания как услуги и сквозного контроля над разделением и оптимизацией приложений/сервисов. Кроме того, API-интерфейсы позволяют изолировать частное предприятие, предоставляя многопользовательское мобильное базовое решение для предоставления частного предприятия 5G как услуги¹⁶.

Несколько распределенных пользовательских плоскостей

В дополнение к обширным и модульным возможностям плоскости управления SD-Core включает деагрегированные компоненты пользовательской плоскости для удовлетворения потребностей самого разнообразного набора сценариев развертывания. User Plane Function (UPF) – это мобильная базовая подсистема, которая обрабатывает нагрузку трафика приложений, поэтому ее необходимо размещать в непосредственной близости от периферийных приложений, чтобы соответствовать жестким требованиям к производительности в новых сценариях использования, таких как дополненная реальность и синхронизированная промышленная робототехника.

SD-Core применяет новый подход к внедрению специализированных UPF, каждый из которых оптимизирован для определенных классов приложений и каждый из которых использует преимущества различных вариантов аппаратного ускорения. Развертывания могут смешивать варианты UPF, развертывая каждый из которых лучше всего подходит для оптимизации общих решений, чтобы удовлетворить весь спектр требований периферийных приложений. Набор SD-Core UPF включает в себя¹⁷:

- Максимальная производительность¹⁸:
P4-UPF — аппаратный двухрежимный 4G/5G UPF, реализованный на языке P4, оптимизированный для приложений с высокой пропускной способностью и малой задержкой, с ускоренной обработкой пакетов UPF с помощью программируемых микросхем Intel® Tofino™ P4 для коммутации Ethernet.
- Высокая пропускная способность на серверах Intel:
DPDK-UPF — программный двухрежимный UPF 4G/5G, оптимизированный для Intel® Xeon® с использованием DPDK, поддерживающий любой вариант ввода-вывода (SR-IOV, AF_PACKET, AF_XDP) и масштабируемый до 100 Гбит/с на сетевом адаптере Intel Ethernet E810 с динамической персонализацией устройств (DDP).

¹⁵ <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/onf-announces-new-cloud-native-software-defined-sd-core-project-addressing-5g-mobile-core/>

¹⁶ Там же.

¹⁷ Там же.

¹⁸ Там же.



- Максимальная гибкость для работы в любом облаке:
Flex-UPF — программная двухрежимная реализация UPF 4G/5G для кампуса и мультиоблака, реализованная с помощью eBPF и оптимизированная с помощью AF_XDP, чтобы сделать ее пригодной для работы на любом типе ЦП (центральный процессор).

Обеспечение разнообразия решений 5G

Операторы, поставщики решений и интеграторы могут частично или полностью комбинировать SD-Core для создания комплексных решений 5G. SD-Core можно развернуть в сочетании с любым коммерчески доступным готовым продуктом RAN (взаимодействие через интерфейс 3GPP S1). В этом сценарии SD-Core предоставляет полное мобильное базовое решение, взаимодействующее с выбранными интегратором продуктами RAN¹⁹.

Для тех, кто хочет использовать компоненты SD-Core в сочетании с другим проприетарным или коммерческим мобильным ядром, SD-Core также предоставляет стандартные интерфейсы 3GPP во всех внутренних и внешних модулях. Кроме того, SD-Core представляет северные API-интерфейсы для поддержки развертывания в качестве облачного решения «мобильное ядро как услуга» (эти API-интерфейсы используются платформой Aether), а SD-Core оснащен полной разработкой CI / CD. среда, поддерживающая передовые методы гибкой облачной разработки. Это делает SD-Core идеальной платформой для дополнения любого решения 5G, поддерживая миграцию с 4G на 5G, корпоративные частные сети 5G/4G/CBRS, фиксированный доступ, виртуальных операторов мобильной связи (MVNO) и классические варианты использования операторов мобильной связи²⁰.

Aether — предварительно интегрированная сквозная платформа 5G

SD-Core можно использовать (полностью или частично) в качестве мобильной базовой платформы, но SD-Core также доступен предварительно интегрированным в полноценную сквозную платформу. завершить частное решение 5G. SD-Core является неотъемлемой частью Aether, платформы ONF Enterprise 5G-Edge-Cloud-as-a-Service. Aether упрощает развертывание частных сетей 5G «под ключ» для предприятий, упрощая использование и развертывание 5G в качестве услуги, управляемой облаком. Операционный контроллер времени выполнения Aether (ROC) включает в себя адаптеры для управления SD-Core совместно со сквозной платформой Aether, тем самым объединяя RAN, коммутационную сеть и мобильное ядро в комплексное предложение (рис. 4)²¹.

Таким образом, SD-Core можно быстро развернуть предварительно интегрированным (с *Aether*), в качестве автономного мобильного ядра 5G/4G или в качестве компонентов управления и плоскости данных (UPF), интегрированных в специально разработанные решения. Этот диапазон универсальности делает

¹⁹ <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/onf-announces-new-cloud-native-software-defined-sd-core-project-addressing-5g-mobile-core/>

²⁰ Там же.

²¹ Там же.



платформу SD-Core с открытым исходным кодом идеально подходящей для самого широкого диапазона вариантов использования и сценариев развертывания²².

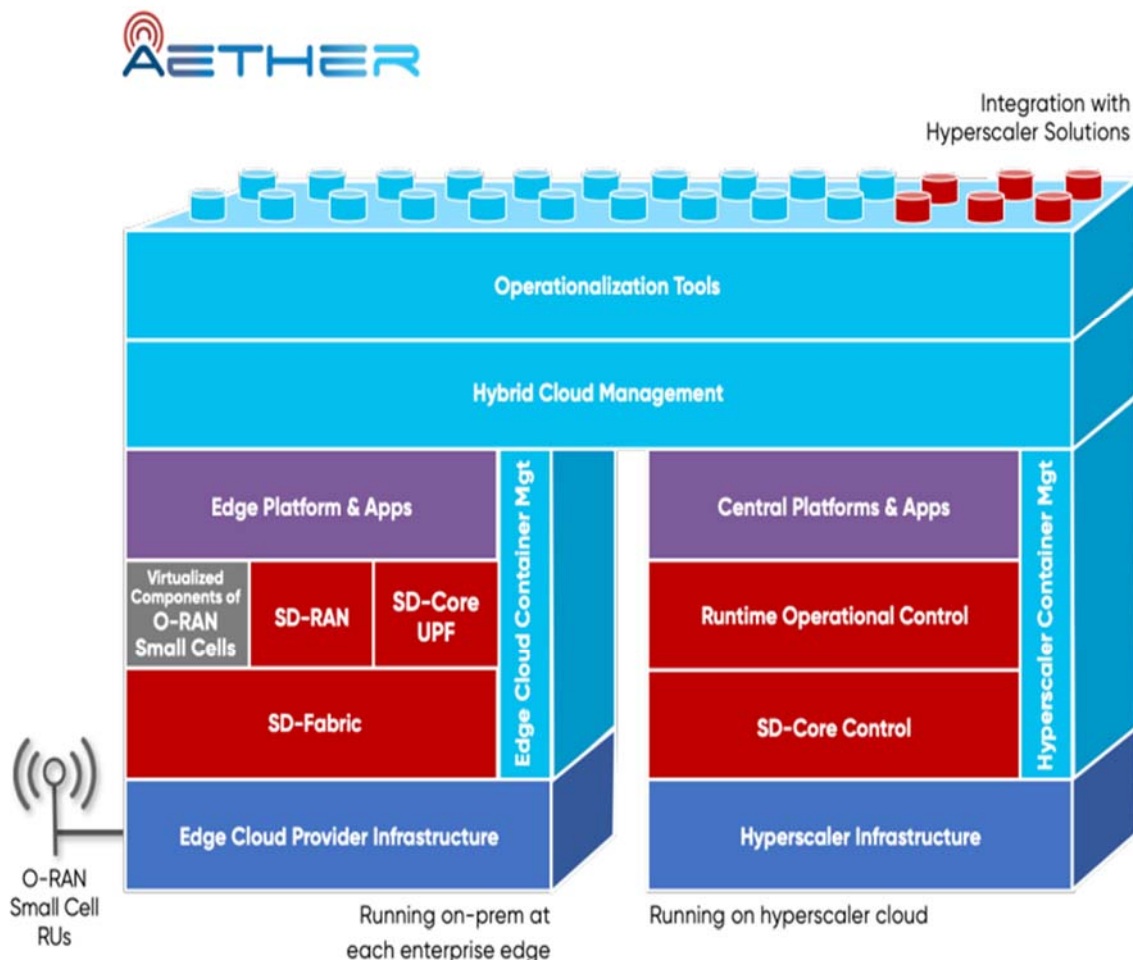


Рис. 4. Aether

«Intel является движущей силой, ключевым участником и поставщиком технологий для проекта SD-Core. Корпорация Intel предоставляет возможности, которые используют масштабируемые процессоры Intel® Xeon® и расширения Intel® Software Guard Extensions (Intel SGX) для защиты данных и функциональности плоскости управления. Реализации уровня пользователя также оптимизируются с помощью комплекта разработки уровня данных (DPDK) с использованием Intel® Ethernet серии 800 с динамической персонализацией устройств (DDP) для поддержки 100 Гбит/с на каждую сетевую карту. Кроме того, Intel также совместно работает с ONF над разработкой функций пользовательской плоскости на микросхемах Intel® Tofino™ P4-программируемых Ethernet-коммутаторов ASIC

²² <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/onf-announces-new-cloud-native-software-defined-sd-core-project-addressing-5g-mobile-core/>



для обслуживания целого ряда сценариев использования операторами и частными операторами 5G»²³.

Заключение

Проект SD-Core представляет собой деагрегированное мобильное ядро 4G/5G, оптимизированное для развертывания общедоступного облака в сочетании с распределенными пограничными облаками и идеально подходящее для сетей 5G операторов связи и частных предприятий. Он предоставляет стандартные интерфейсы 3GPP, позволяющие использовать SD-Core в качестве обычного мобильного ядра. Он также доступен предварительно интегрированным с адаптером (часть подсистемы Aether ROC) для тех, кто развертывает его как мобильное ядро как услугу.

SD-Core является неотъемлемым компонентом Aether, платформы ONF Connected Edge 5G для частных мобильных подключений и пограничных облачных сервисов. Его можно быстро развернуть предварительно интегрированным с Aether, в качестве автономного мобильного ядра 5G/4G или в качестве компонентов управления и плоскости данных (UPF), интегрированных в специально разработанные решения. Этот диапазон универсальности делает платформу SD-Core с открытым исходным кодом идеально подходящей для самого широкого диапазона вариантов использования и сценариев развертывания.

Литература

1. Елагин В. С., Ермолаев Е. Е., Помогалова А. В., Федотов И.О. Анализ возможности применения блокчейн-платформы TON для ПКС // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Юбилейная X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст.: в 4-х т., Санкт-Петербург, 24–25 февраля 2021 года. СПбГУТ, 2021. Т. 1. С. 338-341.
2. Дмитриева Ю. С., Елагин В. С. Подходы к моделированию ресурсов SDN // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. Юбилейная X Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст.: в 4-х т., Санкт-Петербург, 24–25 февраля 2021 года. СПбГУТ, 2021. Т. 1. С. 305-309.
3. Елагин В. С., Врублевский Г. М., Мирзоев Э. И., Эктова А. И. Обзор основных направлений услуг сетей 5g и их интеграция с функцией анализа сетевых данных // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Т. 9. № 2. С. 30-39. DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-30-39.
4. Елагин В. С., Дмитриева Ю. С. Моделирование сетевого ресурса в программно-конфигурируемых сетях // Вестник связи. 2020. № 6. С. 35-40.
5. Елагин В. С., Белозерцев И. А., Онуфриенко А. В. Модели обеспечения QOS для OTT сервисов в сетях 5G // Модернизация информационной инфраструктуры для сетей 5G/IMT 2020 и для других перспективных технологий в интересах трансформации регионов РОСИНФОКОМ-2019: сб. науч. ст., Санкт-Петербург, 09 октября 2019 года. СПбГУТ, 2019. С. 51-62.
6. Гребенщикова А. А., Елагин В. С. Моделирование трафика данных для оценки слайсинга в умной системе 5G на восходящей линии связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Т. 8. № 2. С. 44-54. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-44-54.
7. Гребенщикова А.А., Елагин В.С. Обзор современной архитектуры 5g на основе концепции слайсинга // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст.: в 4-х т., Санкт-Петербург, 27–28 февраля 2019 года. СПбГУТ, 2019. Т. 1. С. 365-370.

²³ <https://opennetworking.org/news-and-events/press-releases/onf-announces-new-cloud-native-software-defined-sd-core-project-addressing-5g-mobile-core/>



References

1. Elagin V., Ermolaev E., Pomogalova A., Fedotov I. Analysis of the possibility of using the TON blockchain platform for PCS // 10th International Conference on Advanced Infotelecommunications (ICAIT 2021), Sankt-Peterburg, February 24–25, 2021. T. 1. pp. 338-341 (in Russian).
2. Dmitrieva Y., Elagin V. Approaches to modeling SDN resources // 10th International Conference on Advanced Infotelecommunications (ICAIT 2021), Sankt-Peterburg, February 24–25, 2021. T. 1. pp. 305-309 (in Russian).
3. Elagin V., Vrublevskiy G., Mirzoev E., Ektova A.: Review of 5G network services and their integration with the network data analytic function // Telecom IT. 2021. Vol. 9. Iss. 2. pp. 30–39 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2021-9-2-30-39.
4. Elagin Vasilii S., Dmitrieva Yuliya S. The modeling of network resources in software-defined networks // Vestnik sviazy. 2020. № 6. pp. 35-40.
5. Elagin V. S., Belozertsev I. A., Spirkina A. V. Models of QOS ensuring for OTT services in 5G network // Modernizaciya informacionnoj infrastruktury dlya setej 5G/IMT 2020 i dlya drugih perspektivnyh tekhnologij v interesah transformacii regionov ROSINFOKOM-2019: sbornik nauchnyh statej, Sankt-Peterburg, 09 oktyabrya 2019 goda. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij im. prof. M.A. Bonch-Bruevicha, 2019. S. 51-62.
6. Grebenshchikova A., Elagin V.: Data Traffic Based on Slicing in a 5G Smart Uplink System // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 2. pp. 44–54 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-2-44-54.
7. Grebenshchikova A., Elagin V. Architecture of network-slicing-based 5g system // 10th International Conference on Advanced Infotelecommunications (ICAIT 2019), Sankt-Peterburg, February 27–28, 2019. T. 1. pp. 365-370.

Елагин Василий Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, v.elagin@spbgut.ru

Elagin Vasilii S.

Candidate of Engineering Sciences, Docent, Associate Professor at the Department, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, v.elagin@spbgut.ru

Тураев Содикдjon Муродович

студент Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, s.turaev_sodik@mail.ru

Turaev Sodikjon M.

student, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, turaev_sodik@mail.ru