

O-RAN следующего поколения Тестирование на соответствие Fronthaul

Вперёд к Open RAN

При развёртывании сетей радиодоступа (RAN) для 4G и более ранних технологий использовалось совместно используемое частное сетевое оборудование от одного и того же поставщика или поставщиков. Традиционно в сети с оборудованием от нескольких поставщиков оборудование каждого из них было развёрнуто в отдельной части сети. Чаще всего в этой части сети оно не использовалось с оборудованием других поставщиков. Многие поставщики услуг называли это «участком» одного поставщика. В результате радиоблоки должны были быть того же производителя, что и блоки тракта модулирующего сигнала (BBU). Вместе эти устройства формировали то, что известно в LTE как базовая станция или eNodeB (eNB).

Под влиянием альянса O-RAN Alliance поставщики услуг по всему миру внедряют Open RAN для 5G. Альянс O-RAN определил архитектуру 5G RAN. То, что было раньше аппаратно-зависимой сетью с оборудованием от одного поставщика, теперь разбито на несколько секций. Интерфейсы между ними строго определяются стандартами совместимости.



O-RAN Alliance объединяет операторов мобильных сетей, производителей сетевого оборудования и абонентских устройств, а также поставщиков наборов микросхем с целью создания стандартов и рекомендаций для открытой сети радиодоступа (RAN). Построение более экономичной и гибкой сети требует открытости. Открытые интерфейсы необходимы для того, чтобы мелкие поставщики могли быстро внедрять свои собственные услуги. Открытые интерфейсы упрощают развертывание сетей с оборудованием от нескольких поставщиков и создают для них более конкурентоспособную экосистему.

В результате поставщики услуг могут совместно использовать компоненты от нескольких поставщиков, что дает следующие преимущества:

- **Виртуализация:** интерфейсы Fronthaul переходят от частного радиоинтерфейса CPRI к открытому Ethernet. Ethernet обеспечивает виртуализацию, позволяя трафику Fronthaul переключаться между физическими узлами с помощью стандартного сетевого оборудования. В результате трафик направляется на узлы с меньшей загруженностью и свободными блоками тракта модулирующего сигнала.
- **Цена:** конкуренция на рынке снижает цены.
- **Инновации:** ранее мелкие поставщики радиоборудования не могли получить доступ к сетям, потому их продукция была несовместима с действующими базовыми станциями eNB. Поставщики услуг не могли внедрить какие-либо прорывные технологии, предлагаемые мелким поставщиком, если они не использовали базовые станции этого поставщика. Мелким поставщикам не хватает ресурсов для создания полноценной сети радиодоступа. Открытые интерфейсы решают эту проблему.
- **Скорость инноваций:** малые компании развиваются быстрее крупных. Предоставляя этим компаниям возможность участия, операторы надеются ускорить внедрение инноваций.
- **Расширенное управление:** виртуализация новых сетевых элементов расширяет возможности индивидуальной настройки без использования частных интерфейсов.



Новая O-RAN для 5G, а во многих случаях и задним числом для LTE, состоит из следующих трёх компонентов:

- **Центральный блок O-RAN (O-CU)** – это централизованный и виртуализированный компонент RAN. Он отвечает за уровень протокола конвергенции пакетных данных (PDCP). Его северный интерфейс – это транспортная сеть к ядру; его южный интерфейс – это интерфейс F1.
- **Распределенный блок O-RAN (O-DU)** – это компонент, отвечающий за всю обработку данных в полосе модулирующих частот, планирование, управление радиоканалом (RLC), управление доступом к среде (MAC) и верхнюю часть физического уровня (PHY). F1 – северный интерфейс, а O-RAN Fronthaul – южный интерфейс. Виртуализация этого компонента не представляет проблем, но для неё требуются аппаратные ускорители в виде ПЛИС или графических процессоров (GPU).
- **Радиоблок O-RAN (O-RU)** – это компонент, отвечающий за обработку данных в нижней части уровня PHY (например, быстрое преобразование Фурье (БПФ)/ обратное быстрое преобразование Фурье (ОБПФ), формирование диаграммы направленности), включая аналоговые компоненты радиопередатчика и приемника. Существует возможность удалённой виртуализации O-RU; однако одна рабочая группа в O-RAN Alliance планирует реализацию радиоблока как «белого ящика» с использованием готовых компонентов. Это позволяет любому производителю сконструировать радиоблок без использования частных компонентов, которые отличаются от того, что есть в виртуализации.

На рис. 1 показана интеграция O-CU, O-DU и O-RU, которую 3GPP называет базовой станцией gNodeB (gNB).

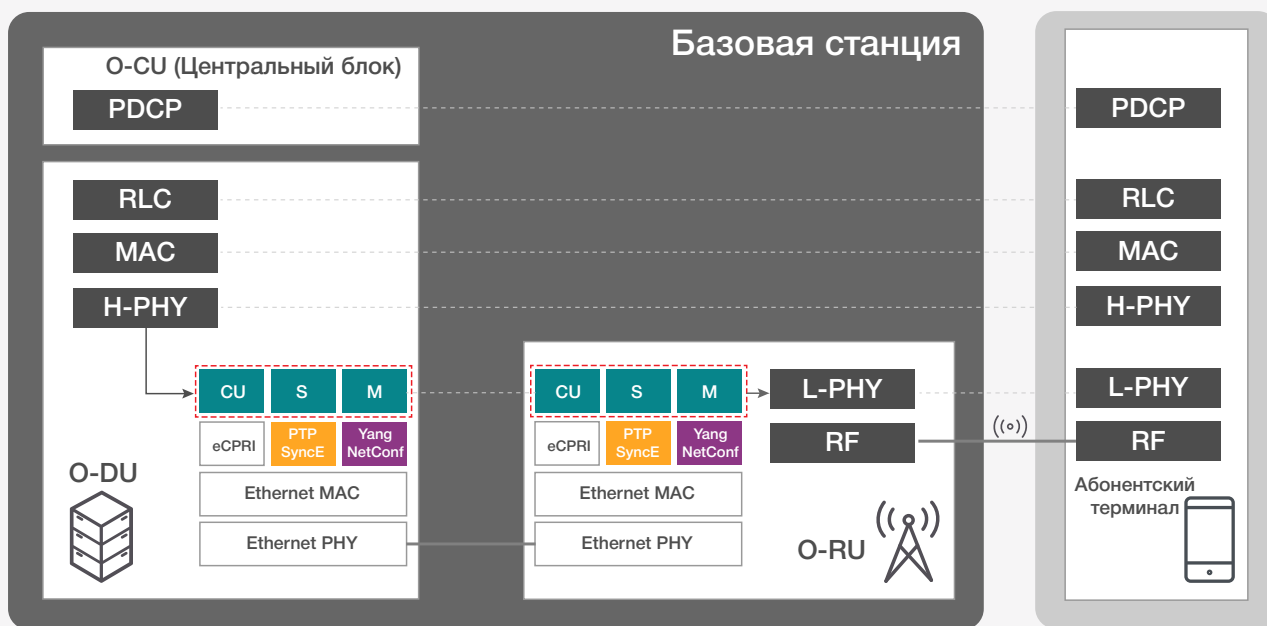


Рисунок 1. Стек протоколов в базовой станции gNB

Тестирование на соответствие стандарту и проверка функциональной совместимости

Чтобы новая открытая сеть RAN заработала, необходимо соблюсти строгие требования к её тестированию. В прошлом было достаточно тестирования eNB как целостной структуры в соответствии с требованиями 3GPP. Необходимые контрольные точки тестирования были сосредоточены на интерфейсах АО и транспортной сети. С введением открытой RAN и распределенной RAN теперь необходимо тестировать на соответствие стандартам отдельно каждый компонент. Также важно протестировать компоненты на совместимость в комбинациях.

Для решения любых проблем, связанных с производительностью, необходимы и тестирование на соответствие стандартам, и проверка функциональной совместимости. Обычно сначала выполняют тестирование на соответствие стандартам, чтобы убедиться, что каждый элемент соответствует требуемым спецификациям интерфейса. Затем выполняют проверку функциональной совместимости, чтобы удостовериться в том, что все элементы могут работать вместе. Не выполнять тестирование на соответствие стандартам и полагаться только на проверку функциональной совместимости равносильно тому, как если бы производитель автомобилей собирал машину из непроверенных деталей и только проверял, заводится ли и работает двигатель.

Тестированию на соответствие стандартам подлежит каждый компонент по отдельности. Тестирование по отдельности требует, чтобы тестовое оборудование эмулировало окружающую сетевую обстановку для проверки всех возможностей протокола. Этот подход имеет свои преимущества, недостижимые только при проверке функциональной совместимости. Такие тесты уменьшают риски, связанные с размещением оборудования в открытой RAN.

Преимущества тестирования на соответствие стандартам

- Испытание тестируемого устройства (ТУ) на пределе его заявленных возможностей.
- Использование функций протокола для проверки того, что тестируемые интерфейсы и функции работают так, как ожидается.
- Обеспечение правильного функционирования вашего приложения путем проведения регрессивного тестирования, что невозможно при проверке функциональной совместимости.

Проблемы тестирования

Тестирование на соответствие Fronthaul

Методика проверки функциональной совместимости минимально изменилась при переходе от 4G к 5G O-RAN. При проверке функциональной совместимости вы просто тестируете комбинацию оборудования базовой станции gNB, подобно тестированию базовой станции eNB в 4G. Тестирование на соответствие стандартам для O-RAN происходит по другому.

Тестирование на соответствие стандартам для O-DU

Ведущим узлом для протокола O-RAN Fronthaul является O-DU. В южном интерфейсе O-DU сообщения протокола управления и плоскости пользователя поступают от O-DU к O-RU, за исключением данных от доступа при помощи лицензируемой полосы (LAA) и данных плоскости пользователя в восходящем канале. O-RU не подтверждает эти сообщения; он просто выполняет их наилучшим возможным способом.

Северный интерфейс F1 – это поток данных, отправляемых по радио на один или несколько экземпляров UEs. Интерфейс F1 не имеет механизма, позволяющего приказывать O-DU форматировать данные или указывать, какие элементы протокола использовать или как отправлять данные вовремя. Этот тип управления необходим для проверки O-DU на соответствие требованиям O-RAN, но доступен только через специальный порт. Например, если вам нужно протестировать распределение несмежных ресурсных блоков (шестое расширение секции), потому что это поддерживает радиоблок поставщика, то невозможно заставить O-DU включать это расширение секции в свои сообщения С-плоскости. По этой причине в спецификации тестирования на соответствие O-RAN решено отложить тестирование O-DU на более поздний срок.



Тестирование на соответствие стандартам для O-RU

O-RU выполняет команды S-плоскости без отправки подтверждения обратно в O-DU. Эти сообщения передаются с чрезвычайно высокой скоростью и очень жёстким допуском по времени. Вы можете проанализировать радиочастотный ответ O-RU, чтобы определить, понял ли он и правильно ли выполнил команды O-DU. Кроме того, для тестирования O-RU необходим эмулятор для моделирования O-DU, векторный анализатор сигналов для приема радиочастотного сигнала, излучаемого O-RU, и источник для генерации сигнала восходящего канала к O-RU, который то будет обрабатывать. Вам потребуется дополнительное оборудование, такое как безэховая камера и система позиционирования, если речь идет о тестировании по радиоэффиру (OTA).

O-RU также требует сигнала в формате 5G или LTE, поскольку O-RU распознаёт ресурсные элементы и ресурсные блоки. O-RU должен заполнить нулями неиспользуемые ресурсные блоки, не отправленные O-DU. O-RU должен знать размещение ресурсных блоков в символе и где их заполнять нулями. В результате невозможно протестировать O-RU ни в восходящем, ни в нисходящем каналах с сигналом с одной несущей, как в 4G. Как показано на рис. 1, O-RU не осведомлен о таких уровнях протокола, как уровни MAC, RLC и PDCP. Тестирование RU с помощью сложного эмулятора АО и эмулятора полного стека DU, имитирующего такие функции, как мобильность АО, хэндоверы и процедуры присоединения АО, было бы не более чем как использованием тестового оборудования для тестирования тестового оборудования.

Из-за жёстких временных допусков O-RU (TU), эмулятор O-DU, анализатор сигналов и источник сигналов требуют синхронизации с общим тактовым генератором. Обычно O-RU ожидает получать синхронизацию от синхронного Ethernet-соединения, а также сообщений S-плоскости от эмулятора O-DU. Синхронизация эмулятора O-DU и O-RU обеспечивает согласованность во всей системе. Также важно, чтобы эмулятор O-DU запускал генератор сигналов в соответствующее время для отправки своего РЧ сигнала на O-RU.

Все тесты на соответствие в спецификации тестов на соответствие O-RAN Frontaul начинаются с проверки M-плоскости и синхронизации через S-плоскость перед началом любого тестирования CU-плоскости. Эти функции требуют тестирования перед началом любых тестов CU-плоскости.



Схема тестирования на соответствие стандартам для O-RU

Решение тестирования на соответствие стандартам для O-RU включает эмулятор O-DU, векторный анализатор сигналов и источник сигналов. Вы можете использовать систему автоматического запуска тестов для автоматизации тестирования, поскольку набор тестов на соответствие состоит из сотен тестов. На рис. 2 показана схема тестирования радиооборудования (TER) в спецификации испытаний на соответствие O-RAN.

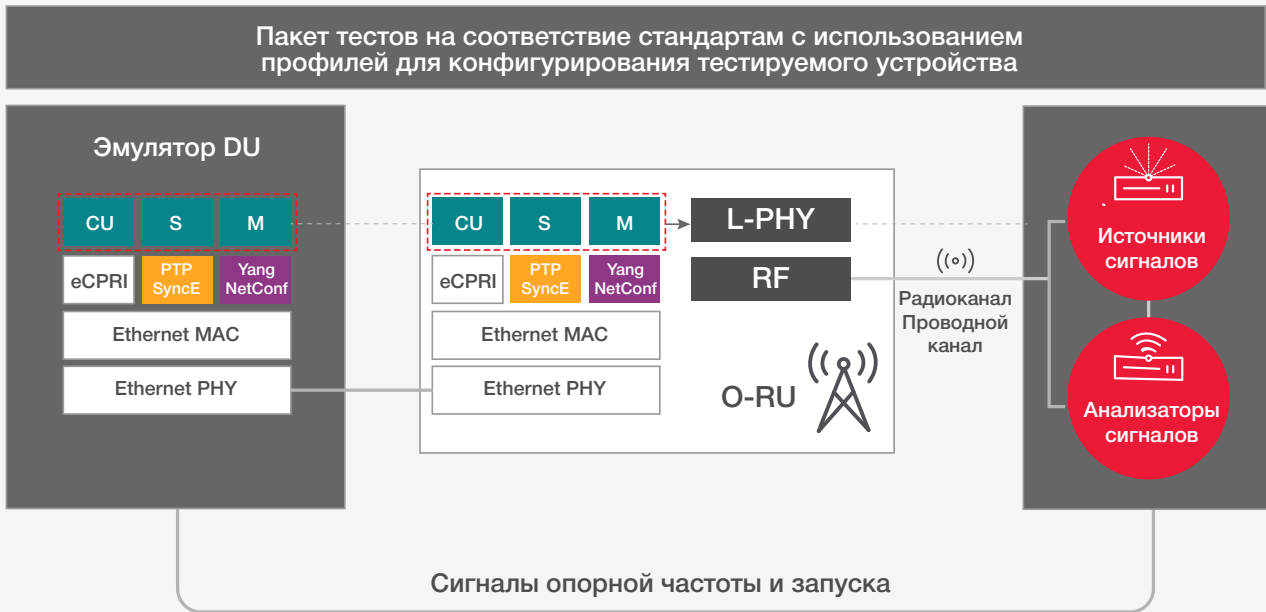


Рисунок 2. Схема тестирования радиооборудования (TER)

Соображения по поводу тестирования по кабелям

Как правило, радиоблоки FR1 имеют тестовые порты, доступные изначально или открываемые производителем. Тестовые порты обеспечивают простое и экономичное тестирование. Проблема возникает при использовании больших антенных решеток на радиоблоках FR1. В этом случае иметь анализатор на каждом порту дорого. Однако, чтобы измерить формирование диаграммы направленности, вы измеряете порты, по крайней мере, попарно, потому что для измерения разности фаз и амплитуд требуется как минимум два сигнала.

Можно использовать РЧ матричный коммутатор и с его помощью подключать порты к выходам и входам приборов, однако это требует много времени. Другое решение – использовать эмулятор канала с возможностями пространственной фильтрации или формирования диаграммы направленности для одновременного подключения ко всем портам. В результате анализатор сигналов и источник сигналов перемещаются в цифровом виде для измерения уровня сигнала в луче в разных точках.

Тестирование ОТА (по радиоэффиру)

Тестирование ОТА в диапазоне FR1 является достаточно дорогостоящим из-за больших размеров безэховой камеры. Поэтому для FR1 лучше проводить тестирование по кабелям.

Большинство радиоблоков диапазона FR2 требуют тестирования ОТА, поскольку они не имеют портов для тестирования по кабелям. Хорошо то, что безэховые камеры для FR2 меньше и дешевле, чем для FR1.

За исключением отсутствия физического соединения со стороны РЧ тракта радиоблока, схема тестирования ОТА не отличается от схемы тестирования по кабелям.

Как выбрать подходящий тест

Спецификация тестирования на соответствие стандарту содержит большие разделы, посвященные тестированию M-плоскости, S-плоскости и CU-плоскости. Существует множество категорий тестов, и поэтому можно задать следующие вопросы, чтобы определить лучший тест для вашей конкретной цели:

- **Общий:** выполняет ли O-RU основные задачи распределения ресурсов с использованием команд увеличения номера символа (symInc), ресурсных блоков (RB) или несмежных распределений RB?
- **Формирование диаграммы направленности:** будет ли O-RU поддерживать базовые методы формирования диаграммы направленности на основе индексов и расширенные методы формирования диаграммы направленности?
- **Компрессия:** может ли O-RU правильно сжимать и распаковывать данные IQ?
- **Управление задержкой:** правильно ли работает O-RU в пределах своих окон задержки?
- **LTE:** если это радиоблок 4G LTE, то будет ли он поддерживать все возможности?
- **LAA:** может ли радиоблок соответствовать критериям, если он поддерживает LAA?

Эмулятор O-DU

Эмулятор O-DU требует, чтобы инженер-испытатель создал реальный сигнал 5G с одним или несколькими кадрами. Возможность генерации сигналов определяется наличием соответствующих программных пакетов, используемых во многих генераторах для создания тестовых сигналов. Это позволяет создавать сигналы, включающие все функции кадра 5G. Эти сигналы включают в себя синхросигналы, многоуровневый множественный ввод-вывод (MIMO), опорный сигнал демодуляции (DMRS), физический канал управления «вниз» (PDCCH) и физический канал для передачи информации «вниз» с разделением пользователей (PDSCH). Эмулятор также имеет функциональные возможности для управления уровнями мощности, формирования сигналов восходящего и нисходящего каналов, и возможность автоматически создавать кадры, соответствующие стандарту 3GPP, поскольку в спецификации тестирования на соответствие O-RAN они используются в качестве тестовых сигналов. Возможность генерации сигналов также позволяет генерировать данные IQ в частотной области.

По завершении эмулятор O-DU берет созданный сигнал и автоматически разбивает на соответствующие типы секций. Затем инженеру-испытателю нужно настроить специальные параметры O-RAN, такие как тип и метод компрессии. Например, следует ли использовать статическую или динамическую компрессию, блок с плавающей запятой, идентификацию луча или веса. Этот процесс включает настройки дополнительных типов секций, такие как тип секции 0, значения расширенного набора данных для одного элемента антенны (eAxC), смешанных видов разнесения поднесущих и любое масштабирование мощности IQ сигнала.

Эмулятор O-DU должен распознавать сигналы нисходящего канала и создавать сообщения U-плоскости и C-плоскости. Он также должен распознавать сигналы восходящего канала и создавать только правильные сообщения C-плоскости. Эмулятор O-DU позволяет указать временные ограничения для проверки границ окон задержки радиоблока.

Когда этот процесс завершен, эмулятор O-DU сохраняет сообщения C- и U-плоскости нисходящего канала и сообщения C-плоскости восходящего канала как единый тест. Когда вы начинаете тест, эмулятор O-DU отправляет предварительные пакеты O-RAN в O-RU в соответствии с временными ограничениями, установленными во время создания сигнала. Он также будет корректировать номера кадров и подкадров, а также проверять суммы в режиме реального времени.

Одновременно эмулятор O-DU запускает источник сигнала для отправки РЧ сигнала по восходящему каналу после соответствующей задержки. Задержка позволяет O-RU декодировать и интерпретировать только что полученные сообщения C-плоскости восходящего канала, прежде чем распознавать какие-либо РЧ сигналы. При необходимости он также может запустить анализатор сигналов, чтобы начать анализ РЧ сигналов нисходящего канала; эмулятор O-DU координирует весь тест.

Запуск важен для тестирования радиоблока с дуплексным режимом с временным разделением каналов (TDD). В TDD восходящий и нисходящий каналы находятся в одной полосе частот и разделены во времени. Необходима координация между эмулятором O-DU и остальным оборудованием, используемым в тесте.

Эмулятор O-DU захватывает сообщения U-плоскости восходящего канала, чтобы извлечь из них данные IQ частотной области. Он будет анализировать данные IQ с помощью программного векторного анализатора сигналов для оценки данных, содержащихся в ресурсных блоках, чтобы определить, соответствуют ли они запросу из сообщений C-плоскости.

Источник сигналов

Источник сигналов генерирует РЧ сигнал восходящего канала, который должен точно соответствовать сообщениям С-плоскости восходящего канала, генерируемым в эмуляторе O-DU. Например, сообщения С-плоскости, созданные в эмуляторе O-DU, программируются в генераторе сигналов для обеспечения точного согласования данных плоскости пользователя (U-плоскости) с ресурсными блоками его РЧ сигнала. В идеале эмулятор O-DU и программное обеспечение источника сигнала будут обмениваться этой информацией. Без совместного использования настройка источника сигналов выполняется вручную. Также важно убедиться, что во всех используемых ресурсных блоках отображаются правильные данные. Этот процесс помогает определить, является ли декодированный O-RU правильным ресурсным блоком в соответствии с командами С-плоскости.

Другой важной характеристикой источника сигналов является возможность задержки подачи сигнала с его РЧ выхода на заданное время от начального сигнала запуска. Эта функция тестирует границы окон задержки для проверки поведения радиоблока при регулировке задержки от последнего сообщения С-плоскости до начала передачи радиосообщения.

Анализатор сигналов

Анализатор сигналов принимает РЧ сигнал, генерируемый ТУ в нисходящем канале. Анализатор декодирует и демодулирует его, чтобы предоставить вам доступ к данным в сигнале нисходящего канала. Эта возможность очень важна, поскольку многие тесты требуют размещения определенных данных в указанных ресурсных блоках. Анализатор проверяет, точно ли радиоблок считывает и понимает команды С-плоскости для размещения данных U-плоскости в нужной области.

Как и в случае с источником сигнала, анализатор сигналов использует данные конфигурации совместно с эмулятором O-DU, чтобы минимизировать объем ручной настройки. При проведении сотен тестов ручная настройка оборудования для тестирования отнимает много времени.

Система автоматического запуска тестов

Система автоматического запуска тестов автоматизирует выполнение сотен тестов на соответствие O-RAN. Эта система может осуществлять управление и координацию работы эмулятора O-DU, источника сигналов и анализатора сигналов через свои интерфейсы прикладного программирования (API). Она также собирает результаты тестов от всех компонентов. На рис. 3 показана полная платформа автоматизированного тестирования для 5G NR.

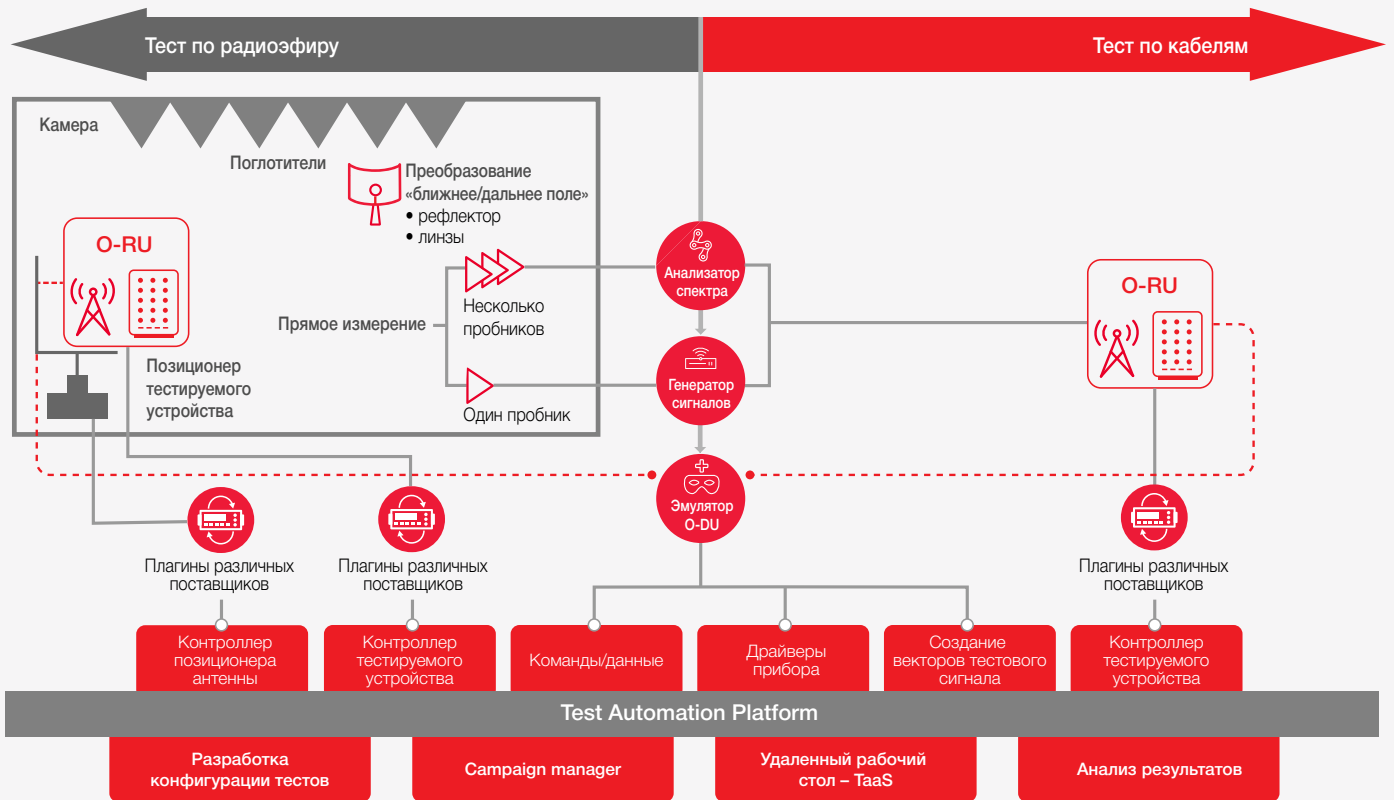


Рис. 3. Пример платформы автоматизированного тестирования, управляющей с помощью драйверов всей системой тестирования ОТА (слева) или по кабелям (справа)

Связь с тестированием по спецификациям 3GPP

Для проведения тестов, указанных в спецификациях 3GPP 38.141-1 и 38.141-2, требуется полная базовая станция gNB, поскольку спецификация 3GPP не описывает открытую архитектуру O-RAN. Спецификация 3GPP не отделяет радиоблок от блока обработки данных в полосе модулирующих частот, как того требует O-RAN. Однако можно использовать тесты передатчика и приемника из спецификации 3GPP 38.141-1/2 (главы 6 и 7) при проверке O-RAN Fronthaul. Все тестовые сигналы, указанные в спецификации тестирования на соответствие стандартам O-RAN, используются и в тестах 3GPP. Единственным отличием являются данные полезной нагрузки. Обычно это псевдослучайная последовательность, а не заполнение нулями, как указано в спецификации 3GPP. Ненулевое заполнение обеспечивает миграцию корректных данных в нужные блоки ресурсов. На рис. 4 и 5 показаны тестовые последовательности 3GPP для восходящего и нисходящего каналов.

Тестовый сигнал с частотным разделением каналов

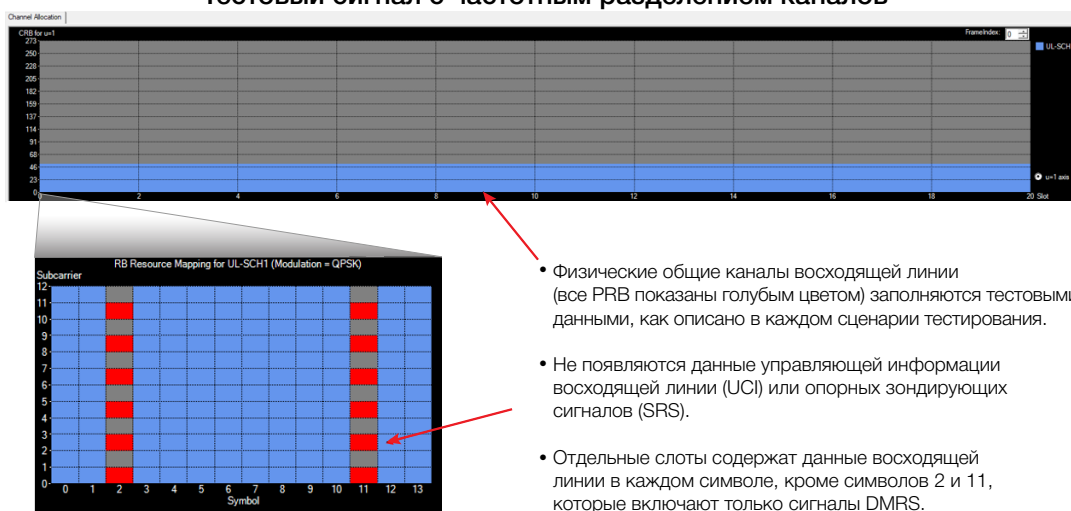


Рис. 4. Тестовый сигнал восходящего канала

Тестовый сигнал 3GPP NR-FR1-TM1.1 FDD

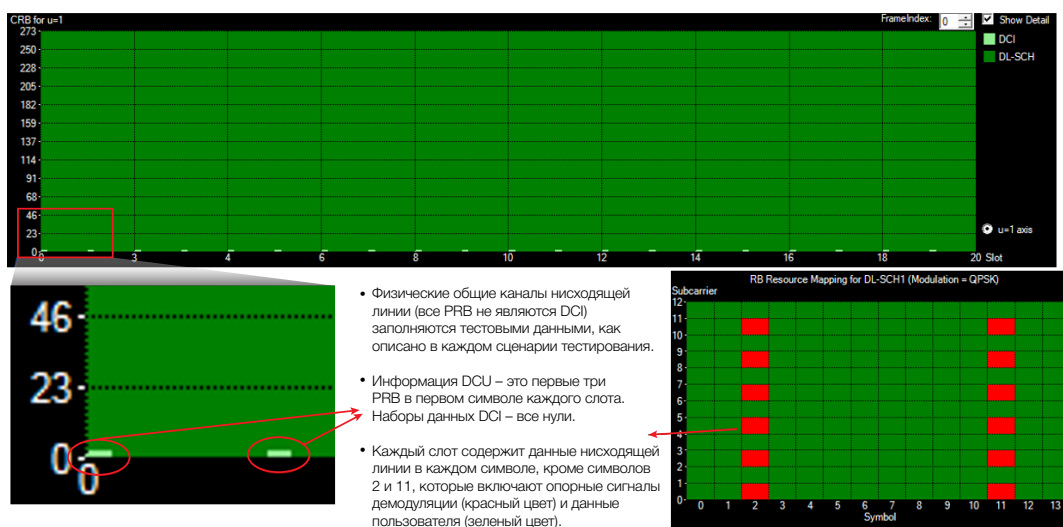


Рис. 5. Тестовый сигнал нисходящего канала

Спецификация тестирования на соответствие O-RAN рабочей группы 4 обеспечивает соответствие O-RU стандартам O-RAN Fronthaul. Схема измерений позволяет тестировать радиоблок для проверки характеристик приёмника и передатчика по спецификации 3GPP, и соответствие стандарту O-RAN. Единственное отличие заключается в том, что тестирование по спецификации 3GPP выполняется на базовой станции gNB, находящейся в режиме «Тест». По спецификации O-RAN тестирование радиоблока выполняется с помощью эмулятора O-DU, не требуя перехода в режим «Тест». Выполнить тестирование на соответствие согласно Главы 8 спецификации 3GPP с помощью эмулятора O-DU невозможно, поскольку это требует обработки данных на уровне MAC, что недоступно в эмуляторе O-DU.

Решение

Решение компании Keysight для тестирования O-RAN Fronthaul предлагает полнофункциональную систему тестирования O-RU и сертификации на соответствие стандартам. Аппаратное решение включает один или несколько трансиверов Keysight VXT-II в формате PXI для генерации и приёма РЧ сигналов от ТУ. В шасси PXI можно установить дополнительные трансиверы для многопортового тестирования. Для тестирования ОТА (по радиоэффиру) в диапазоне FR2 имеются повышающие преобразователи частоты. Плеер ПЛИС эмуляции O-DU обеспечивает синхронизацию с O-RU для запуска сигнала с частотой импульс в секунду (PPS) для подачи на трансиверы.

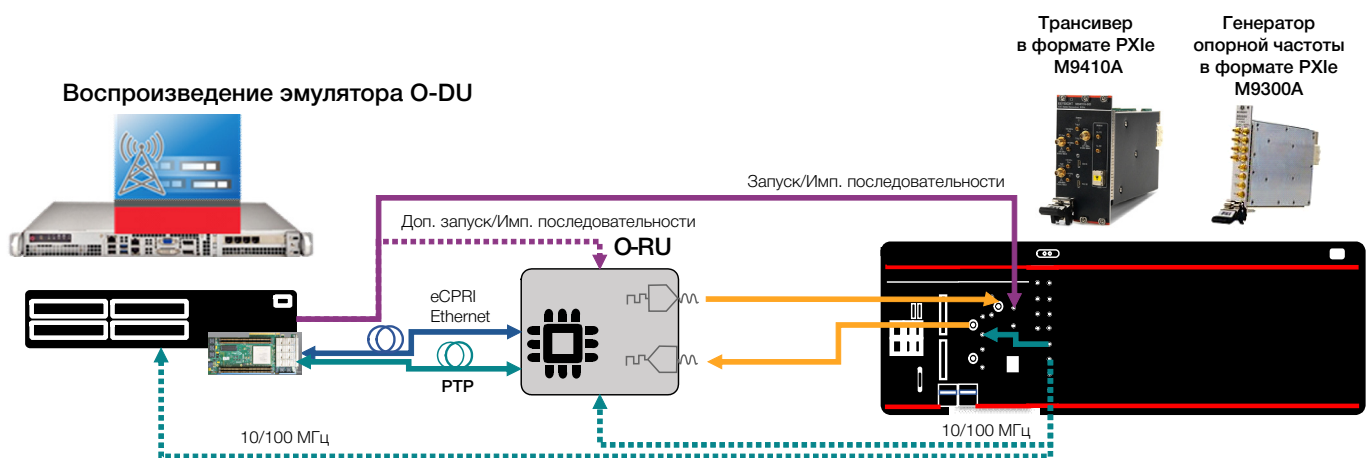


Рис. 6. Решение Keysight для тестирования O-RU



Рисунок 7. Модульная трансиверная платформа Keysight для тестирования O-RU

В решение входят ПО генерации сигналов [PathWave Signal Generation для 5G NR](#), [ПО Open RAN Studio](#), [ПО векторного анализа сигналов 89600 VSA для 5G NR](#) и [платформа автоматизации тестирования KS8400](#) компании Keysight. ПО PathWave Signal Generation создаёт сигналы 5G для ПО Open RAN Studio и для передачи векторным трансивером Keysight M9410A.

Автоматические конфигурации создают сообщения C-плоскости для восходящего канала, в то время как векторный трансивер VXT M9410A в формате PXIe использует ту же самую конфигурацию из PathWave Signal Generation для генерации РЧ сигнала восходящего канала. Захваченные IQ данные восходящего канала извлекаются из сообщений O-RAN и передаются на векторный анализатор сигналов для анализа. Необходимые настройки параметров на векторном анализаторе сигналов автоматически устанавливаются из файла конфигурации ПО PathWave Signal Generation. Анализатор измеряет характерные РЧ параметры, такие как модуль вектора ошибок (EVM). Он также декодирует и демодулирует сигнал, чтобы определить, соответствуют ли данные U-плоскости данным векторного трансивера VXT.

В нисходящем канале ПО PathWave Signal Generation создает сигналы 5G NR, сформированные ПО Open RAN Studio Builder компании Keysight. ПО Open RAN Studio Builder добавляет специальные параметры O-RAN к тестовым пакетам перед тем, как ПО Open RAN Studio Player передаст пакеты на ТУ. ПО PathWave Signal Generation автоматически создает файлы конфигурации для работающего векторного анализатора сигналов, конфигурируя векторный трансивер VXT нисходящего канала.

ПО Open RAN Studio Explorer проверяет пакеты O-RAN, захваченные во время теста. Оно имеет полную возможность декодирования и позволяет пользователю видеть пакетные данные, а также синхросигналы. Оно также отображает данные IQ в частотной области и сигнальные созвездия.

ПО Open RAN Studio Builder позволяет управлять плеером, пока он отправляет пакеты. Поскольку плеер ставит метки времени для всех полученных и переданных пакетов в захваченном файле, вы можете проверить границы временных окон. Оно также позволяет вам указать, когда отправлять сигналы запуска на VXT для передачи по восходящему каналу. VXT может задавать задержки отправки своего сигнала после получения сигналов запуска.

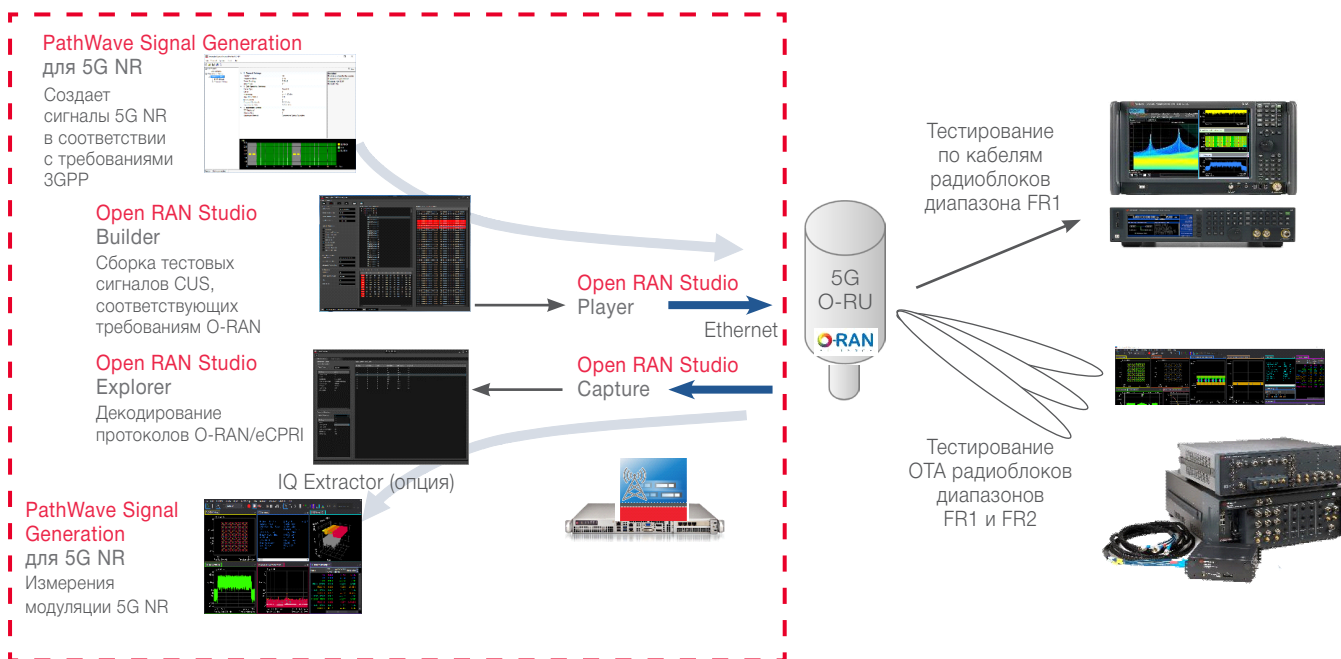


Рисунок 8. Автоматизированное тестирование с ПО Open RAN Studio для проверки O-RU

Заключение

Чтобы обеспечить правильную работу сетей RAN с оборудованием различных поставщиков, требуется нечто большее, чем просто разместить вместе несколько приборов и выполнить несколько вызовов по сети. Для O-RU особенно важно испытать каждый участок сети по отдельности на пределе возможностей. Правильно подобранные средства тестирования обеспечивают тщательную проверку радиоблока. При тестировании радиоблоков, совместимых с O-RAN, необходимо выйти за рамки протокола тестирования, поскольку радиоблок не подаёт никаких сообщений о своём состоянии. Легко симулируйте радиоблок с помощью правильных протокольных сообщений, содержащих действительные сигналы 5G. Затем измерьте и скоординируйте то, что происходит на РЧ стороне радиоблока, с тем, что происходит на стороне протокола. Надлежащее тестирование гарантирует, что вы правильно выберете сетевое оборудование, соответствующее вашим требованиям.

Для получения дополнительной информации об открытой RAN и 5G, пожалуйста, изучите следующие информационные ресурсы:

- [Решения Keysight по технологии 5G – онлайн](#)
- [U504BSCA Open RAN Studio – онлайн](#)
- [Open RAN Studio – техническое описание](#)
- [Программные решения для 5G O-RAN – онлайн](#)

Более подробная информация приведена на сайте:
www.keysight.com

Для получения дополнительной информации о продукции Keysight, прикладном программном обеспечении и предоставляемых услугах обращайтесь в Российское представительство компании Keysight Technologies. Полный перечень представительств приведен на сайте: www.keysight.com/find/contactus

