

## ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ANYHAUL СЕТЕЙ 5G RAN

*В. С. Тупаков, Т. А. Яковлев*

*Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация*

Рассмотрены актуальные проблемы внедрения 5G сетей в существующую инфраструктуру городских сетей. Приведен общий обзор вариантов развития транспортной сети операторов на различных участках передачи данных. Рассмотрены возможности применения новых стандартов и технологий для построения высокопроизводительных сетей пятого поколения. Повышенные требования к скоростным показателям новых транспортных сетей диктуют новые правила при проектировании линейно-кабельных сооружений и при выборе оборудования на промежуточных узлах связи. Большие инвестиции на начальном этапе запуска новой сети являются залогом успешной работы по обслуживанию тысяч новых абонентов и устройств интернета вещей.

**Ключевые слова:** базовая станция, мобильная связь, сети 5G, транспортная архитектура, синхронизация, транспорт.

**Для цитирования:** Тупаков В. С., Яковлев Т. А. Особенности построения Anyhaul сетей 5G RAN // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2020. № 1 (69). С. 38–43. DOI: 10.24143/1812-9498-2020-1-38-43.

### Введение

Все крупные операторы сотовой связи по всему миру готовятся к быстрому развертыванию сетей 5G [1]. Их целью является распространение современных услуг мобильного широкополосного доступа за счет снижения удельных затрат и повышения качества обслуживания абонентов, а также охват новых сегментов рынка с использованием новых возможностей стандарта 5G. Для достижения этой цели операторы работают над сетевыми архитектурами, которые будут легко масштабироваться в зависимости от плотности устройств и объема трафика, значительно превышающих текущие показатели сетей четвертого поколения и удовлетворяющих требованиям к задержке и надежности для новых, требовательных видов услуг. Это чрезвычайно важная подготовка к суперциклу 5G, которая позволит операторам расширить свою деятельность на различных рынках в течение следующих 10 лет.

Неотъемлемой частью новой архитектуры сотовых сетей является транспортная сеть, которая обеспечивает связь между базовыми станциями, периферийными центрами обработки данных, облачными приложениями и сервисами. В этой статье рассматривается новая транспортная архитектура и важная роль усовершенствованных IP-сетей, чувствительных ко времени, в обеспечении максимальной производительности, которая заявлена для абонентских терминалов и бизнес-решений. Поскольку сеть 5G будет внедряться в большие, хорошо отлаженные и коммерчески выгодные сети LTE, важна правильная последовательность действий по интеграции и постепенному обновлению существующих транспортных магистралей.

Строительство производительной транспортной сети радиодоступа пятого поколения для сотовых операторов – это инвестиции в крайне важные активы, которые дадут уникальные преимущества в том, как клиенты воспринимают услуги и взаимодействуют с ними. Это залог долгосрочного развития и предоставления качественных услуг 5G.

### Архитектура сетей радиодоступа 5G (5G RAN)

Новая структура сети радиодоступа 5G RAN, известная как NG-RAN, представляет новую терминологию, интерфейсы и функциональные модули. Сеть NG-RAN состоит из набора базовых радиостанций (gNB - Next Generation NodeB – базовая станция нового поколения), подключенных к базовой сети ядра 5G (5G Core NetWork) и друг к другу. Набор устройств базовой станции в соответствии с новым стандартом включает в себя три основных функциональных модуля: центральный блок (CU – Central Unit), распределенный блок (DU – Distributed Unit) и радиоблок (RU – Radio Unit), которые могут быть установлены в нескольких комбинациях [2].

Выбор между расщеплением нижнего и верхнего уровней доступа (-Front/MidHaul участков сети) является одним из самых важных решений на этапе проектирования архитектуры NG-RAN. Проблема состоит в том, что каждая из моделей несет в себе свои компромиссы, определяющие те или иные виды услуг, которые могут быть предоставлены абоненту в долгосрочной перспективе, и это затрудняет конечный выбор оператора в пользу той или иной модели построения транспортной сети [3].

Архитектура NG-RAN представляет собой логическую архитектуру, которая может быть реализована и развернута различными способами в соответствии с требованиями и предпочтениями оператора. Как показано на рис. 1, базовая станция может быть установлена как единый блок, как это принято в сотовых сетях второго-третьего поколения, или как распределенное решение в виде блоков CU, DU и RU.

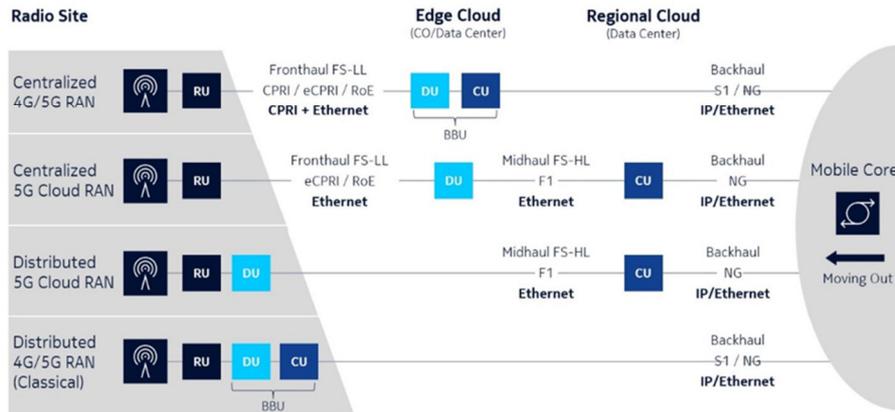


Рис. 1. Различные комбинации установки блоков базовой станции сети радиодоступа пятого поколения

Интерфейс CU-DU представляет собой разделение верхнего уровня (HLS), которое не так чувствительно к задержкам передачи данных. Интерфейс DU-RU представляет собой разделение нижнего уровня (LLS), которое более чувствительно к задержке и ширине канала. Блоки CU, DU и RU могут быть смонтированы в таких местах, как сайты базовых станций (включая башни связи, крыши зданий и прочие регулярные места установки базовых станций), площадки агрегации транспортной сети и «пограничные узлы» (например, аппаратные связи или центры обработки данных) [4].

Кроме того, имеет смысл использовать разные модели для разных видов застройки, например крупные сектора в сельской местности и множество емких секторов в городе. Как показано на рис. 2, привычный Ethernet 10/25 Gbe возможен только на отрезке Fronthaul, участки передачи данных Midhaul и Backhaul – это огромное поле для применения CWDM и DWDM оптических сетей или для развертывания работы так называемого Dark Fiber (темного волокна) [5].

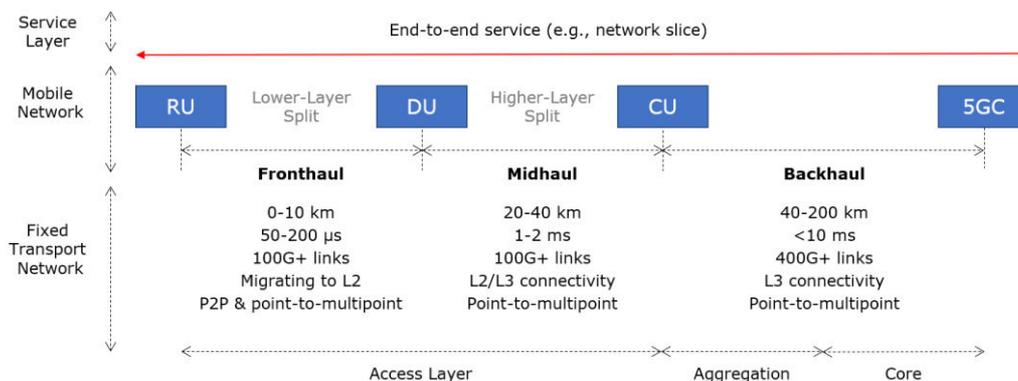


Рис. 2. Структура AnyHaul транспортной сети 5G

Сюда добавляются разные варианты эксплуатации сети, например, для сети автоматизации производства со сверхнизкой задержкой потребуется DU/CU, близкий или интегрированный с RU [6].

Time Sensitive Network (сеть, чувствительная ко времени, TSN) и, в частности, ее возможности строгой приоритизации трафика и «вытеснения» фреймов из непрерывного потока поступающих пакетов, являются основополагающим фактором для построения производительных сетей X-haul, поскольку они обеспечивают более низкие задержки и позволяют выделять трафик eCPRI, поступающий от базовых станций. На деле это выглядит как остановка передачи кадра с низким приоритетом, который уже начал передачу, в момент появления в очереди кадра с более высоким приоритетом от пользователя, что подкрепляется заложенными в стандарте интерфейсами 10 GbE и 25 GbE на «последней миле». Обычное Ethernet-оборудование принимает решение о том, какой кадр следует передавать следующим, только после того, как полностью завершит передачу текущего кадра. Стандарт TSN позволяет устройству коммутировать и агрегировать трафик Ethernet и eCPRI вместе, что дает возможность операторам развертывать сети X-haul, способные поддерживать параллельный трафик в промежуточном, прямом и обратном направлениях [7].

### Преимущества Time Sensitive Network для Fronthaul

Транспорт, основанный на TSN, должен обеспечивать задержки на уровне Fronthaul от 50 до 100 мкс (или <50 мкс для uRLLC сетей) на расстоянии 5–20 км между оборудованием и низкое энергопотребление, компактность, мультипротокольность с CRPI и eCPRI, обеспечивая совместный доступ десятков тысяч соединений к C- и D-RAN, а также корпоративных сетей. Согласно стандарту, синхронизация производится по частоте, времени и фазе. Типичные скоростные показатели – 10–25 Gbe на один радиоблок [8]. Исходя из этого требуются детерминистские сетевые взаимодействия с обеспечением ограничений на задержки в сети:

$$t_{e2e} = \sum t_{Processing} + \sum t_{Queuing} + \sum t_{Transmission} + \sum t_{Propogation} < 100 \text{ мкс} . \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что основными факторами, влияющими на производительность сети, являются:

- задержка из-за обработки в узле (Nodal Processing Delay) – количество времени, используемое для обработки заголовков пакетов, проверки битовых ошибок и определения хоста назначения в сетевых устройствах;

- задержка из-за очередей (Queuing Delay) – количество времени, которое пакет ожидает в очереди (буфере), прежде чем может быть обработан;

- задержка при передаче (Transmission Delay) из-за размещения сигналов в оптической транспортной среде с прямой коррекцией ошибок, когерентной WDM передачи, усилителей и т. д.;

- задержка при распространении (Propagation Delay) – количество времени, необходимое для прохождения сигнала от отправителя к получателю по оптоволокну или медному кабелю.

Стандарт сетей, чувствительных ко времени, разработанных рабочей группой IEEE 802.1, которая управляет связью на основе Ethernet, позволяет соблюдать жесткие требования к задержкам, необходимые приложениям, работающим в режиме реального времени (приложения умного транспорта, телемедицина, автоматизация производства). Сеть TSN реализовывается на втором уровне модели OSI, что делает ее рекомендованным протоколом для разработанных технологий, базирующихся на технологии Ethernet. В настоящее время Cisco, Nokia и Huawei уже представили свои решения с поддержкой нового стандарта. Он предусматривает полную совместимость оборудования разных вендоров, что исключает проблемы при интеграции различных участков сетей. Это особенно актуально, т. к. несмотря на все большее распространение оптических сетей связи воздушные беспроводные каналы связи продолжают доминировать в условиях плотной городской застройки, и нет никаких предпосылок к тому, что эта ситуация изменится в ближайшие годы [9].

Все эти факторы подводят нас к тому, что для корректной работы сетей пятого поколения в соответствии с заявленными в стандартах характеристиками необходимо новое поколение аппаратного обеспечения на уровне ядра и ниже. Разработано огромное число стандартов и спецификаций, выполнение которых обеспечит нам тот заявленный пользовательский опыт, которого мы все так ждем от сетей пятого поколения. Некоторые из них изображены на рис. 3.

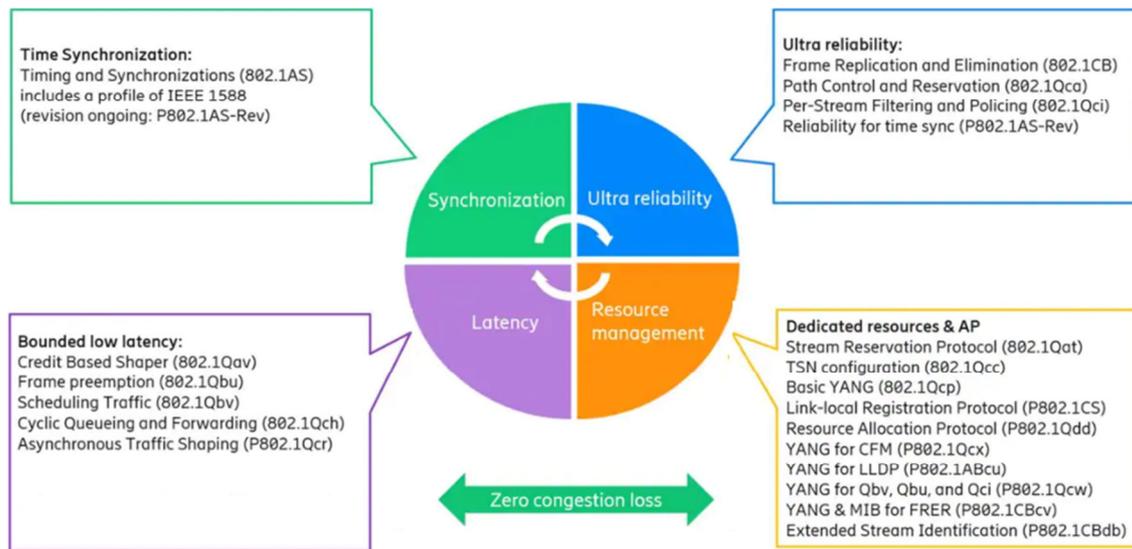


Рис. 3. Стандарты, регламентирующие отказоустойчивость, задержку, синхронизацию и выделение ресурсов в транспортных сетях пятого поколения

Но наличие большого количества участков (сегментов) сети с различной операционной парадигмой неизбежно приводит к сложности в обеспечении качественных межсетевых взаимодействий для оператора. Синхронизация работы сети по частоте, времени и фазе – это еще один шаг к устранению данной проблемы. Новое оборудование должно обеспечивать преємственность в предоставлении услуг оператора мобильной связи максимальному числу абонентов. Это означает унификацию и минимальные накладные расходы на обслуживание, но требует значительных инвестиционных расходов. Каждый оператор в настоящее время разрабатывает долгосрочный план по обновлению своей транспортной сети, и в рамках стандарта 5G у них есть множество вариантов, как провести это мероприятие максимально незаметно для пользователей и своего бюджета.

### Заключение

Все крупные операторы сотовой связи по всему миру готовятся к быстрому развертыванию сетей 5G. Неотъемлемой частью новой архитектуры сотовых сетей является транспортная сеть, которая обеспечивает связь между базовыми станциями, периферийными центрами обработки данных, облачными приложениями и сервисами. Рассмотрена новая транспортная архитектура и важная роль усовершенствованных IP-сетей, чувствительных ко времени, в обеспечении максимальной производительности, которая заявлена для абонентских терминалов и бизнес-решений. Архитектура NG-RAN представляет собой новую логическую архитектуру, которая может быть реализована и развернута различными способами в соответствии с требованиями и предпочтениями оператора. Стандарт TSN позволяет устройству коммутировать и агрегировать трафик Ethernet и eCPRI вместе, что дает возможность операторам развертывать сети X-haul, способные поддерживать параллельный трафик в промежуточном, прямом и обратном направлениях. В настоящее время Cisco, Nokia и Huawei уже представили свои решения с поддержкой нового стандарта. Он предусматривает полную совместимость оборудования разных вендоров, что исключает проблемы при интеграции различных участков сетей. Уже в скором времени беспроводные технологии пятого поколения начнут преобразовывать мир вокруг нас, и, возможно, на пике развития 5G мы наконец сможем избавиться от окружающих нас проводов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Nokia 5G CEO presentation*. URL: [https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Pres-ence/ArabStates/Documents/events/2018/RDF/Workshop%20Presentations/Session1/Nokia\\_5G\\_ITU%20Workshop%20Alger%2014%20Feb%202018%20NC.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Pres-ence/ArabStates/Documents/events/2018/RDF/Workshop%20Presentations/Session1/Nokia_5G_ITU%20Workshop%20Alger%2014%20Feb%202018%20NC.pdf) (дата обращения: 12.02.2020).
2. *Vaezi M. Cloud Mobile Networks: From RAN to EPC (Wireless Networks)*. М.: Springer, 2017. 117 p.

3. Rommer S., Hedman P., Olsson M., Frid L., Sultana Sh., Mulligan C. *5G Core Networks: Powering Digitalization*. M.: Academic Press, 2019. 502 p.
4. Dahlman E. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. M.: Academic Press, 2018. 466 p.
5. Stavdas A. *Core and Metro Networks Guide*. M.: Wiley, 2010. 212 p.
6. Hartpence B. *Packet Guide to Core Network Protocols*. M.: O'Reilly Media, 2011. 200 p.
7. Cisco Ultra 5G Packet Core Solution. URL: [https://www.cisco.com/c/m/en\\_us/network-intelligence/service-provider/digital-transformation/ultra-5g-packet-core-solution.html](https://www.cisco.com/c/m/en_us/network-intelligence/service-provider/digital-transformation/ultra-5g-packet-core-solution.html) (дата обращения: 12.02.2020).
8. Johnson Ch. *5G New Radio in Bullets*. Independently published, 2019. 519 p.
9. Ahmadi S. *5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards*. M.: Academic Press, 2019. 960 p.

Статья поступила в редакцию 24.03.2020

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Типаков Василий Сергеевич** – Россия, 194064, Санкт-Петербург; Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного; оператор научной роты; outn9h6rzn@gmail.com.

**Яковлев Тимур Александрович** – Россия, 194064, Санкт-Петербург; Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного; оператор научной роты; mx-m16@mail.ru.



### CHARACTERISTICS OF BUILDING ANYHAUL 5G RAN

**V. S. Tipakov, T. A. Yakovlev**

*Military Telecommunications Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S. M., Saint-Petersburg, Russian Federation*

**Abstract.** The article discusses the current problems of implementing 5G networks in the existing infrastructure of urban networks. A general overview of development options for the transport network operators in various data transmission areas has been given. The possibilities of applying new standards and technologies for building high-performance fifth-generation networks have been considered. The increased requirements for speed performance of new transport networks dictate new rules for the design of linear-cable structures and the choice of equipment at intermediate communication nodes. Greater investments at the initial stage of launching a new network are the key to successful servicing thousands of new subscribers and IoT devices.

**Key words:** base station, mobile communications, 5G networks, transport architecture, synchronization, transport.

**For citation:** Tipakov V. S., Yakovlev T. A. Characteristics of building Anyhaul 5G RAN. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2020;1(69):38-43. (In Russ.) DOI: 10.24143/1812-9498-2020-1-38-43.

### REFERENCES

1. *Nokia 5G CEO presentation*. Available at: [https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Pres-ence/ArabStates/Documents/events/2018/RDF/Workshop%20Presentations/Session1/Nokia\\_5G\\_ITU%20Workshop%20Alger%2014%20Feb%202018%20NC.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Regional-Pres-ence/ArabStates/Documents/events/2018/RDF/Workshop%20Presentations/Session1/Nokia_5G_ITU%20Workshop%20Alger%2014%20Feb%202018%20NC.pdf) (accessed: 12.02.2020).
2. Vaezi M. *Cloud Mobile Networks: From RAN to EPC (Wireless Networks)*. Moscow, Springer, 2017. 117 p.
3. Rommer S., Hedman P., Olsson M., Frid L., Sultana Sh., Mulligan C. *5G Core Networks: Powering Digitalization*. Moscow, Academic Press, 2019. 502 p.

4. Dahlman E. *5G NR: The Next Generation Wireless Access Technology*. Moscow, Academic Press, 2018. 466 p.
5. Stavdas A. *Core and Metro Networks Guide*. Moscow, Wiley, 2010. 212 p.
6. Hartpence B. *Packet Guide to Core Network Protocols*. Moscow, O'Reilly Media, 2011. 200 p.
7. *Cisco Ultra 5G Packet Core Solution*. Available at: [https://www.cisco.com/c/m/en\\_us/network-intelligence/service-provider/digital-transformation/ultra-5g-packet-core-solution.html](https://www.cisco.com/c/m/en_us/network-intelligence/service-provider/digital-transformation/ultra-5g-packet-core-solution.html) (accessed: 12.02.2020).
8. Johnson Ch. *5G New Radio in Bullets*. Independently published, 2019. 519 p.
9. Ahmadi S. *5G NR: Architecture, Technology, Implementation, and Operation of 3GPP New Radio Standards*. Moscow, Academic Press, 2019. 960 p.

The article submitted to the editors 24.03.2020

### **INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

**Tipakov Vasily Sergeevich** – Russia, 194064, Saint-Petersburg; Military Telecommunications Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S. M.; Scientific Company Operator; outn9h6rzn@gmail.com.

**Yakovlev Timur Aleksandrovich** – Russia, 194064, Saint-Petersburg; Military Telecommunications Academy named after the Soviet Union Marshal Budienny S. M.; Scientific Company Operator; mx-m16@mail.ru.

