

621.396.41

**ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ ЛИНИИ СВЯЗИ МЕЖДУ
РАСПРЕДЕЛЕННЫМ МОДУЛЕМ И РАДИОМОДУЛЕМ БАЗОВОЙ
СТАНЦИИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ В СООТВЕТСТВИИ
С ПАРАДИГМОЙ Open RAN**

К.В. Савенко¹, Е.В. Рогожников¹, С.А. Новичков², Д.В. Лаконцев²

¹ *Томский государственный университет систем управления
и радиоэлектроники*

² *Сколковский институт науки и технологий*

В статье рассматриваются варианты решения проблемы увеличения требований к пропускной способности линии связи между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции пятого поколения. В разделе 1 представлено описание архитектуры базовой станции сетей 5G и основной концепции Open RAN. Описаны основные транспортные сегменты сети и опции разделения базовой станции. В разделе 2 описан транспортный сегмент сетей радиодоступа Fronthaul и варианты разделения между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции пятого поколения в соответствии со стандартами Open RAN. В разделе 3 производится расчет основных характеристик транспортного сегмента Fronthaul. Расчет пропускной способности производится для трех наиболее актуальных вариантов разделения, а также для нескольких типов трафика. В статье представлен сравнительный анализ требуемой пропускной способности линии связи между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции пятого поколения для распространенных вариантов разделения, стандартизированных Open RAN. В заключении статьи представлены выводы и рекомендации по результатам сравнения расчетов требуемой пропускной способности линии связи между распределенным модулем и радиомодулем для трех основных вариантов разделения.

Ключевые слова: сеть пятого поколения, сеть радиодоступа, Open RAN, радиомодуль, распределенный модуль, Fronthaul.

DOI: 10.17212/1727-2769-2022-1-59-69

Введение

Объемы трафика, передаваемого мобильными сетями, с каждым годом возрастают. Чтобы справиться с этой увеличенной нагрузкой на мобильные сети, операторы связи постепенно переходят от технологий четвертого поколения (4G) к сетям радиодоступа (RAN) пятого поколения (5G).

Ожидается, что увеличение количества трафика в 5G RAN будет происходить из-за увеличения количества базовых станций и уплотнения мобильной сети. Для поддержки повышенной плотности мобильной сети и достижения требуемой пропускной способности внедряются новые технологии радиоинтерфейса 5G, такие как координированная передача и прием (CoMP), агрегация несущих (CA) и технологии многоантенной передачи (Massive MIMO) [1]. Также сотовая сеть пятого поколения (5G) стандартизирована для передачи разнообразных типов трафика, таких как улучшенная широкополосная мобильная связь (eMBB), сверхнадежная связь с малой задержкой (uRLLC) и массовая межмашинная связь

Работа выполнена при финансовой поддержке Минцифры России и АО «РВК», а также Сколковского института науки и технологий, идентификатор соглашения предоставления субсидии 0000000007119P190002, №005/20 от 26.03.2020 г.

(mMTC). Существующей беспроводной архитектуре 4G не хватает гибкости для эффективного удовлетворения этих требований.

Говоря о сети радиодоступа (RAN), традиционно крупные поставщики оборудования внедряли свою продукцию проприетарным и, как правило, нестандартизированным образом, что значительно ограничивало операторов необходимостью выбора единственного поставщика оборудования для своих сетей. В результате эволюция в сторону от сетей 4G к сетям 5G потребовала архитектурных преобразований, необходимых для поддержки неоднородности услуг, координации технологий множественного подключения и развертывания сетей с различной конфигурацией. Открытая сеть радиодоступа (Open RAN) сделала возможным такое преобразование. Open RAN позволила стандартизировать интерфейсы между основными узлами сети радиодоступа [2].

1. Постановка задачи

В условиях развития сетей пятого поколения актуальной является задача повышения эффективности частотно-временного ресурса. Для разработки систем пятого поколения требуются, прежде всего, качественные математические модели, позволяющие оценить нагрузку на линии связи между различными модулями базовой станции. При этом наиболее требовательной к ресурсам является линия связи между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции.

В связи с этим была поставлена задача разработки модели расчета пропускной способности между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции пятого поколения.

С учетом постановки задачи могут быть сформулированы следующие вопросы:

- нужно описать архитектуру базовой станции пятого поколения;
- провести анализ опций разделения распределенного модуля и радиомодуля;
- произвести расчет пропускной способности линии связи между распределенным модулем и радиомодулем для разных вариантов разделения и типов трафика;
- представить результаты исследований путем сравнения пропускной способности линии связи между распределенным модулем для опции разделения 7.3, 7.2 и 8.

2. Архитектура базовой станции пятого поколения

Open RAN – концепция и набор спецификаций, описывающих взаимодействие элементов сети радиодоступа, для обеспечения совместимости элементов программного обеспечения и оборудования от различных поставщиков. Применяя эту концепцию, становится возможным объединение и совместное использование оборудования сети радиодоступа от разных поставщиков. Также благодаря используемой в Open RAN «виртуализации» операторы будут иметь возможность запускать программные сетевые функции на стандартных серверах. Более открытые интерфейсы позволят им использовать радиомодули одного поставщика с распределенными модулями другого, что в настоящее время невозможно с традиционными решениями [2].

В Open RAN все функции сети разделяются на основные группы с открытыми интерфейсами между ними.

Радиомодуль (RU) – это радиоустройство, которое обрабатывает цифровой интерфейс и часть физического уровня (PHY), а также выполняет функции цифрового формирования луча [3].

Распределенный модуль (DU) – это распределенный блок, который запускает уровень управления радиосвязью (RLC), управления доступом к среде (MAC) и часть физического уровня (PHY). Этот логический узел включает в себя подмножество различных функций базовой станции, в зависимости от варианта функционального разделения. Его работа контролируется централизованным модулем.

Централизованный модуль (CU) – это централизованный блок, который обрабатывает уровень контроля радиоресурсов (RRC) и протоколы конвергенции пакетных данных (PDCP). Это логический узел, который включает в себя такие функции базовой станции, как передача пользовательских данных, управление мобильностью, совместное использование сетей радиодоступа, позиционирование, управление сеансом и т. д. [3].

Централизованный модуль и соответствующее программное обеспечение могут быть размещены вместе с распределенным модулем или размещены в региональном облачном центре обработки данных.

При разделении сетей радиодоступа выделяют три основных транспортных сегмента: Fronthaul, Midhaul и Backhaul, как показано на рис. 1.

Фактическое разделение функций базовой станции между централизованным модулем, распределенным модулем и радиомодулем может отличаться в зависимости от конкретного варианта использования и реализации. Для этого предусмотрено разделение вышеописанных групп на «опции разделения». Каждая опция соответствует определенному уровню обработки и преобразования данных в сети радиодоступа. В Open RAN предусмотрено 8 таких опций. На рис. 2 представлена схема разделения функций сети в Open RAN [2].

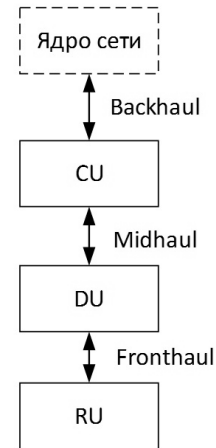


Рис. 1 – Транспортные сегменты сети 5G

Fig. 1 – 5G Transport network segments

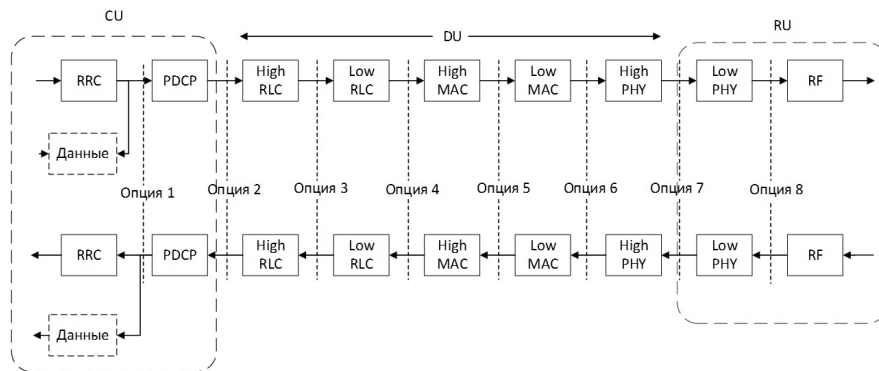


Рис. 2 – Опции разделения функций базовой станции

Fig. 2 – Base station division options

В опции 1 уровень RRC находится в централизованном модуле, а протоколы PDCP, RLC, MAC и PHY находятся в распределенном модуле. Таким образом, в распределенном модуле находится вся пользовательская плоскость.

В опции 2 протоколы RRC, PDCP находятся в централизованном модуле. RLC, MAC, PHY находятся в распределенном модуле.

Опция 3 подразумевает разделение централизованного модуля и распределенного модуля между уровнями High-RLC и Low-RLC [3].

В опции 4 протоколы RRC, PDCP и RLC находятся в централизованном модуле. MAC, PHY и RF находятся в распределенном модуле.

Опция 5 разделяет уровни формирования радиочастот (RF), PHY и Low-MAC, которые находятся в распределенном модуле, и High-MAC, RLC и PDCP, которые находятся в централизованном модуле [3].

В опции 6 MAC и верхние уровни находятся в распределенном модуле. Уровни PHY и RF находятся в радиомодуле. Интерфейс между распределенным модулем и радиомодулем переносит данные, конфигурацию и информацию, относящуюся к планированию.

Опция 7 подразумевает разделение радиомодуля и распределенного модуля между уровнями High-PHY и Low-PHY [3].

Опция 8 разделяет уровни RF и PHY. При данном разделении только RF находится в радиомодуле, остальные уровни расположены в распределенном модуле и централизованном модуле [2].

3. Линия связи между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции пятого поколения

Особый интерес для производителей транспортного оборудования представляет Fronthaul. Данный сегмент сети радиодоступа соединяет удаленные радиомодули и распределенные модули. Его проектирование всегда предполагает жесткие требования к оборудованию и пропускной способности канала связи. Необходимость использования Fronthaul возникла еще в сетях 4G, в которых было решено размещать радиомодули непосредственно рядом с приемопередающими антеннами. Распределенный модуль и радиомодуль связывались, как правило, оптоволоконной сетью.

Для передачи данных по этому каналу связи использовался стандартизированный протокол Common Public Radio Interface (CPRI). Расположение интерфейса CPRI, как правило, соответствует опции разделения 8, которая представлена на рис. 2. CPRI представляет собой протокол синхронной передачи данных, обеспечивающий высокую пропускную способность при фиксированной конфигурации оборудования. Но требование к пропускной способности канала при использовании такого протокола для опции разделения 8 обратно пропорционально зависит от количества используемых антенн [4]. В связи с этим интерфейс CPRI уже недостаточен для требований сетей 5G. Использование большего количества антенн из-за применения Massive MIMO увеличивает требуемую полосу пропускания и делает ее чрезмерно большой для существующего интерфейса CPRI.

Одной из наиболее востребованных опций для разделения распределенного модуля и радиомодуля является опция 7 [5–7]. Для стандартизации соответствующего разделения функций сети 5G было предложено использовать расширенный интерфейс CPRI (eCPRI). В интерфейсе eCPRI предлагается использовать технологию Ethernet в качестве транспортного интерфейса. Ethernet обеспечивает коммутацию на основе пакетов, что позволяет использовать уже существующие решения для контроля и управления пропускной способностью, мультиплексирования нескольких соединений радиомодуля и синхронизации, снижая при этом стоимость развертывания линии связи между радиомодулем и распределенным модулем. Это решение позволяет использовать большее количество приемопередающих антенн, способствует координации при использовании нескольких радиомодулей и передаче разных типов трафика [8].

Предусмотрено несколько вариантов разделения функционала, выполняемого в распределенном модуле и радиомодуле. Они представлены на рис. 3.

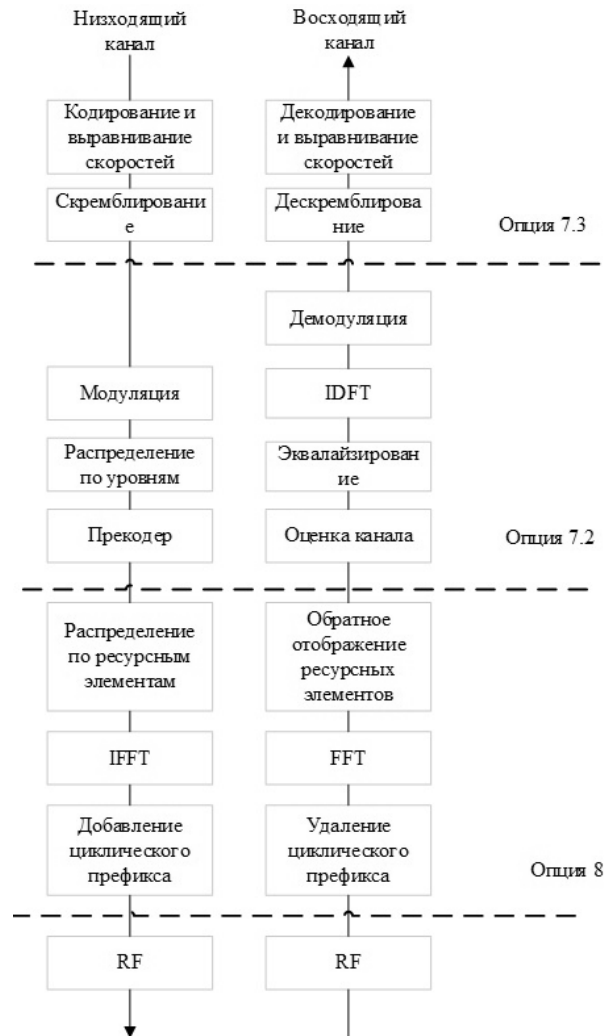


Рис. 3 – Варианты разделения распределенного модуля и радиомодуля

Fig. 3 – Distributed module and radio module division options

При разделении 7.2 в распределенном модуле битовая последовательность, приходящая от уровня MAC, кодируется и скремблируется. Затем производится модуляция. Далее последовательность битов распределяется по необходимым ресурсным элементам и подвергается обратному преобразованию Фурье уже в радиомодуле, в результате которого получается сигнал OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) во временной области. После этого последовательность преобразуется в аналоговый сигнал.

В восходящем канале принятый аналоговый сигнал OFDM во временной области преобразуется в цифровой сигнал и подвергается преобразованию Фурье в радиомодуле, в результате получается последовательность выборок синфазного

и квадратурного (IQ) сигналов OFDM в частотной области. Затем в распределенном модуле происходит извлечение информации из соответствующего ресурсного элемента, производится обратное дискретное преобразование Фурье и оценка канала. После этого выполняются демодуляция, дескремблирование и декодирование. Полученная последовательность битов отправляется на уровень MAC.

Вариант разделения на основе опции 7.1 не сильно отличается по характеристикам от опции 7.2. Отличием данного разделения является перенос функции распределения битовой последовательности по необходимым ресурсным элементам в распределенном модуле. Тем самым происходит увеличение требований к полосе пропускания канала за счет добавления защитных интервалов в частотной области.

При разделении на основе опции 7.3 битовая последовательность, приходящая от уровня MAC, кодируется и скремблируется в распределенном модуле. Модуляция же происходит уже в радиомодуле. Это позволяет значительно снизить требования к пропускной способности канала связи между радиомодулем и распределенным модулем, так как передаются не выборки модулированного сигнала, а биты до модуляции, количество которых значительно меньше. Но данное разделение планируется применять только в нисходящем канале, так как в восходящем канале при этом будет необходимо располагать демодулятор, эквалайзер, выполнять обратное дискретное преобразование Фурье и проводить оценку канала в радиомодуле, что значительно увеличивает сложность и стоимость радиомодуля.

При разделении на основе опции 8 в радиомодуле происходит только формирование аналогового сигнала. Такой вариант разделения требует большой пропускной способности по сравнению с вышеописанными опциями разделения. При этом данные требования кратно возрастают при использовании большого количества приемопередающих антенн. Но при этом стоимость радиомодуля максимально снижается по сравнению с вариантами разделения на основе опции 7.

4. Расчет пропускной способности линии связи между распределенным модулем и радиомодулем (Fronthaul)

В данном разделе представлен расчет пропускной способности сегмента Fronthaul для опций 7.2, 7.3 и 8. Выбор именно этих опций для расчета пропускной способности связан с тем, что они на сегодняшний день являются наиболее востребованными у разработчиков оборудования сетей радиодоступа [5–7].

Пропускная способность – это характеристика, показывающая предельное значение количества информации в единицу времени через канал связи. Требования к пропускной способности канала связи для различных типов разделения будут разными. Так как при разделении 8 передаются цифровые отсчеты сигнала во временной области, то пропускная способность будет зависеть от разрядности отсчетов сигнала, частоты дискретизации и количества антенн MIMO и может быть рассчитана по формуле

$$FHBW_8 = f_s 2n_{IQB}n_A, \quad (1)$$

где f_s – частота дискретизации. В спецификации CPRI указаны требования к частоте дискретизации для различных конфигураций канала. Например, полосе пропускания 20 МГц соответствует частота дискретизации 30.72 МГц [9]; n_{IQB} – разрядность IQ составляющих; n_A – количество антенн.

Первым шагом к снижению нагрузки на полосу пропускания при разделении 7.2 является переход в частотную область. Циклический префикс при этом можно удалить. При таком разделении данные декодируются после преобразования Фурье и защитные поднесущие больше не используются. Требуемая пропускная способность при этом разделении зависит от количества используемых ресурсных блоков. Следовательно, пропускную способность между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции 5G для разделении 7.2 можно рассчитать по следующей формуле:

$$FHBW_{7.2} = \frac{n_{PRB} n_{RERB} n_S n_{SPS} \cdot 10^3 n_{IQB} n_L (1 + OH_{FH})}{10^6}, \quad (2)$$

где n_{PRB} – количество физических ресурсных блоков; n_L – количество уровней (слоев); n_{RERB} – количество ресурсных элементов на ресурсный блок; n_{SPS} – количество символов на слот; n_S – количество слотов в 1мс (при умножении на 1000 переменные n_{SPS} и n_S будут соответствовать символьной скорости OFDM); n_{IQB} – разрядность IQ составляющих; OH_{FH} (Overhead for Fronthaul) – коэффициент служебных данных Fronthaul-сети.

При разделении 7.3 функции модуляции и демодуляции переносятся в радиомодуль. Поэтому при расчете пропускной способности нужно учитывать не разрядность IQ составляющих, а индекс модуляции. В соответствии с этим пропускную способность между распределенным модулем и радиомодулем базовой станции 5G для разделении 7.3 можно рассчитать по следующей формуле:

$$FHBW_{7.3} = \frac{n_{PRB} n_{RERB} n_S n_{SPS} \cdot 10^3 o_m n_L (1 + OH_{FH})}{10^6}. \quad (3)$$

Для формирования диаграммы направленности в MIMO необходимо передавать векторы антенных коэффициентов между пользователем и базовой станцией, соответственно вся эта информация также передается между распределенным модулем и радиомодулем. Размер передаваемой информации будет зависеть от количества антенн, используемых в MIMO, количества слоев MIMO и разрядности IQ составляющих антенных коэффициентов. Формула для расчета пропускной способности между радиомодулем и распределенным модулем базовой станции 5G для передачи данных для формирования диаграммы направленности примет следующий вид:

$$FHBW_{BFW} = \frac{n_{PRB} 1000 n_{BWIQB} n_L n_A n_S}{10^6}, \quad (4)$$

где n_L – количество уровней (слоев); n_S – количество слотов в одной миллисекунде; n_{PRB} – количество физических ресурсных блоков; n_{BWIQB} – разрядность весовых коэффициентов формирования диаграммы направленности; n_A – количество антенн.

Распределение ресурсов в системах 5G является сложной задачей. Для этого нужно разделить передаваемый трафик как по частоте, так и по времени. Данную задачу в сетях 5G выполняет планировщик (Scheduler). Планировщик делит весь частотно-временной ресурс на базовые единицы планирования и распределяет их

между пользователями, нисходящим и восходящим трафиком, различными типами трафика и т. д. Для разделения частотно-временного ресурса планировщиком применяются базовые единицы планирования. Базовой единицей измерения для планировщика является ресурсный элемент. Из набора ресурсных элементов образуются ресурсные блоки.

И так как тип трафика и разделение динамически изменяются, то возникает необходимость передачи информации об этих изменениях. Для этого передаются карты ресурсных элементов (RB Map), карты ресурсных блоков (RE Map), в которых передается информация о назначении каждой единицы планирования.

Формула для расчета пропускной способности между радиомодулем и распределенным модулем базовой станции 5G для служебных данных планировщика примет следующий вид:

$$FHBW_{Sched} = \frac{n_{RERB} n_{Sym} \cdot 8 \cdot 1000}{10^6} + \frac{n_{PRB} \cdot 1000}{10^6}, \quad (5)$$

где n_{RERB} – количество ресурсных элементов на ресурсный блок; n_{PRB} – количество физических ресурсных блоков; n_{Sym} – количество OFDM символов в подкадре.

5. Обсуждение результатов

В таблице показано сравнение требуемой пропускной способности линии связи между распределенным модулем и радиомодулем (Fronthaul) при разделении 7.2, 7.3 и 8 для различной полосы пропускания канала. Пропускная способность была рассчитана с использованием формул 1, 2 и 3, приведенных в данной статье.

Требуемая пропускная способность линии связи между распределенным модулем и радиомодулем

The required bandwidth of the communication line between the distributed module and the radio module

Полоса пропускания канала (МГц)	Пропускная способность при разделении 7.2 (Мбит/с)	Пропускная способность при разделении 8 (Мбит/с)	Пропускная способность при разделении 7.3 (Мбит/с)
5	515	922	69
10	1071	1843	143
15	1627	2765	217
20	2183	3686	365

При этом были использованы следующие параметры системы: 4×4 MIMO (4 антенны, 4 потока); разрядность IQ составляющих – 15 бит для каждой составляющей; индекс модуляции – 4; количество ресурсных элементов на ресурсный блок – 12; количество символов на слот – 13; накладные расходы (OH) – 0.1; длительность слота 0.5 мс.

Как видно из таблицы, при использовании разделения 7.2 требуемая пропускная способность линии связи между распределенным модулем и радиомодулем уменьшается в 1.7 раза по сравнению с первоначальным решением на основе разделения 8. При использовании разделения 7.3 требуемая пропускная способность уменьшается уже до 8 раз.

Заключение

В этой статье было представлено описание транспортного сегмента Fronthaul сетей пятого поколения и приведены расчеты его основных характеристик. Как показал обзор документации, транспортный сегмент Fronthaul для сетей 5G предъявляет более высокие требования к пропускной способности канала для поддержки Massive MIMO, модуляции более высокого порядка и поддержки разных типов трафика.

В статье приведены расчеты требуемой пропускной способности канала связи между распределенным модулем и радиомодулем для различных типов трафика, таких как пользовательские данные, данные формирования диаграммы направленности, служебные данные планировщика.

Также в статье проведено сравнение требуемой пропускной способности канала связи между распределенным модулем и радиомодулем для трех вариантов разделения, предусмотренных в Open RAN. Как показали расчеты, наименее требовательным к пропускной способности является вариант разделения 7.3. Он показывает результаты до 8 раз лучше разделения 8. Но этот вариант имеет свои недостатки. При таком разделении для функций восходящего канала радиомодуль становится более сложным и дорогим в изготовлении, так как происходит перенос функций демодуляции, эквалайзирования и оценки канала в радиомодуль. Поэтому такой вариант разделения целесообразно использовать только в нисходящем канале связи.

Одним из решений данной проблемы является использование разделения на основе опции 7.2. Как показали результаты расчетов, требования к пропускной способности канала при использовании разделения на основе опции 7.2 уменьшаются в среднем в 1.7 раза по сравнению с использованием разделения на основе опции 8. При этом в радиомодуль дополнительно переносятся только операции преобразования Фурье, что позволяет сделать радиомодуль более экономически эффективным.

Перенос транспортного сегмента Fronthaul на опцию 7 позволит повысить плотность мобильной сети, внедрить новые технологии радиоинтерфейса 5G и достигнуть требуемой скорости передачи данных для сетей пятого поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Ahmadi S.** 5G NR: Architecture, technology, implementation, and operation of 3GPP new radio standards. – Academic Press, 2019. – 1004 p.
2. Open RAN functional splits, explained. WP-001-03-21-RevA. – Parallel Wireless, 2021.
3. 3GPP TR 38.801 V14.0. Technical specification group radio access network. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces. – March, 2017.
4. CPRI Industry Forum (Ericsson, Huawei, NEC, and Nokia). CPRI Specification 7.0. 2015. – URL: <http://www.cpri.info/spec.html> (accessed: 03.03.2022).
5. O-RAN Alliance. Operator defined next generation RAN architecture and interfaces. – URL: <https://www.o-ran.org/> (accessed 12.02.2020).
6. **Venkatraman S.** xRAN fronthaul working group white paper. WP v01.00. – xRAN Forum, Apr. 2018.
7. Low-latency high-efficiency mobile fronthaul with TDM-PON (mobile-PON) / S. Zhou, X. Liu, F. Effenberger, J. Chao // Journal of Optical Communications and Networking. – 2018. – Vol. 10, N 1. – P. A20–A26.
8. Enabling flexible link capacity for eCPRI-based fronthaul with load-adaptive quantization resolution / L. Li, M. Bi, H. Xin, Y. Zhang, Y. Fu, X. Miao, A.M. Mikaeil, W. Hu // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 102174–102185.
9. Common Public Radio Interface (CPRI). Interface Specification V7.0 (2015-10-09).

BANDWIDTH OF THE COMMUNICATION LINE BETWEEN THE DISTRIBUTED MODULE AND THE RADIO MODULE OF THE FIFTH GENERATION BASE STATION IN ACCORDANCE WITH THE OPEN RAN PARADIGM

Savenko K.V.¹, Rogozhnikov E.V.¹, Novichkov S.A.², Lakontsev D.V.²

¹ Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

² Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

The 5G network is a problem of lack of bandwidth between some modules of the base station. The article discusses the options for solving this problem for the link between the distribution module and radio module. Section 1 describes the architecture of a base station 5G networks. This section describes the concept of Open RAN. Section 2 describes the transport segment of the Fronthaul radio access networks. In this segment, there are basic options separation between the distributed module and the radio module in accordance with the Open RAN standard. Section 3 presents the calculation of the required capacity of the Fronthaul transport segment. This section also analyzes the required link bandwidth between the distributed module and the radio module for common partitioning options. These options are standardized by Open RAN. In the conclusion of the article, the results of comparing the calculations of the required bandwidth of the communication line between the distributed module and the radio module for the three main separation options are presented.

Keywords: Fifth Generation Network, Radio Access Network, Open RAN, Radio Module, Distributed Module, Fronthaul.

DOI: 10.17212/1727-2769-2022-1-59-69

REFERENCES

1. Ahmadi S. *5G NR: Architecture, technology, implementation, and operation of 3GPP new radio standards*. Academic Press, 2019. 1004 p.
2. *Open RAN functional splits, explained*. WP-001-03-21-RevA. Parallel Wireless, 2021.
3. 3GPP TR 38.801 V14.0. *Technical specification group radio access network. Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces*. March, 2017.
4. CPRI Industry Forum (Ericsson, Huawei, NEC, and Nokia). CPRI Specification 7.0. 2015. Available at: <http://www.cpri.info/spec.html> (accessed 03.03.2022).
5. O-RAN Alliance. Operator defined next generation RAN architecture and interfaces. Available at: <https://www.o-ran.org/> (accessed 12.02.2020).
6. Venkatraman S. *xRAN fronthaul working group white paper*. WP v01.00. xRAN Forum, Apr. 2018.
7. Zhou S., Liu X., Effenberger F., Chao J. Low-latency high-efficiency mobile fronthaul with TDM-PON (mobile-PON). *Journal of Optical Communications and Networking*, 2018, vol. 10, no. 1, pp. A20–A26.
8. Li L., Bi M., Xin H., Zhang Y., Fu Y., Miao X., Mikaeil A.M., Hu W. Enabling flexible link capacity for eCPRI-based fronthaul with load-adaptive quantization resolution. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 102174–102185.
9. Common Public Radio Interface (CPRI). Interface Specification V7.0 (2015-10-09).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



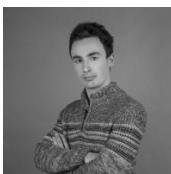
Савенко Кирилл Валерьевич – родился в 1994 году, ассистент, кафедра ТОР, ТУСУР. Область научных интересов: 5G, Интернет вещей. Опубликовано 5 научных работ. (Адрес: 634034, Россия, Томск, Вершинина, 47. E-mail: kirill.savenko@tusur.ru).

Savenko Kirill Valerievich (b. 1994) – Assistant, Department of Telecommunications and Fundamentals of Radio Engineering, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. His research interests are currently focused on 5G, Internet of Things. He is author of 5 scientific papers. (Address: 47, Vershinina, Tomsk, 634034, Russia. E-mail: kirill.savenko@tusur.ru).



Рогожников Евгений Васильевич – родился в 1989 году, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. ТОР, ТУСУР. Область научных интересов: телекоммуникации, системы беспроводной связи, Интернет вещей. Опубликовано 50 научных работ. (Адрес: 634045, Россия, Томск, улица Вершинина, дом 47. E-mail: evgenii.v.rogozhnikov@tusur.ru).

Rogozhnikov Eugeny Vasilievich (b. 1989) – Candidate of Sciences (Eng.), assistant professor, head of department, telecommunication, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics. His research interests are currently focused on Telecommunication, wireless communication systems and IoT. He is author of 50 scientific papers. (Address: 47, Vershinina, Tomsk, 634034, Russia. Email: evgenii.v.rogozhnikov@tusur.ru).



Новичков Серафим Алексеевич – родился в 1993 году, главный конструктор ЛИЦ «Сеть радиодоступа 5G с открытой архитектурой», Сколтех. Область научных интересов: телекоммуникации, системы беспроводной связи, Интернет вещей. Опубликовано 10 научных работ. (Адрес: 121205, Россия, Москва, Большой бульвар, дом 30. E-mail: s.novichkov@skoltech.ru).

Novichkov Serafim Alexeevich (b. 1993) – Lead Engineer of LRC «5G Radio Access Network with Open Architecture», Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech). His research interests are currently focused on Telecommunication, wireless communication systems and IoT, He is author of 10 scientific papers. (Address: 30, Bolshoy Boulevard, Moscow, Russia, 121205, Russia. E-mail: s.novichkov@skoltech.ru).



Лаконцев Дмитрий Владимирович – родился в 1980 году, канд. техн. наук, доцент, рук. ЦК НТИ «Технологии беспроводной связи и интернета вещей», Сколтех. Область научных интересов: телекоммуникации, системы беспроводной связи, Интернет вещей. Опубликовано 30 научных работ. (Адрес: 121205, Россия, Москва, Большой бульвар, дом 30. E-mail: s.novichkov@skoltech.ru).

Lakontsev Dmitry Vladimirovich (b. 1980) – Candidate of Sciences (Eng.), Head of the NTI CC «Technologies of Wireless Communication and the Internet of Things», Skoltech, Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech). His research interests are currently focused on Telecommunication, wireless communication systems and IoT, He is author of 30 scientific papers. (Address: 30, Bolshoy Boulevard, Moscow, Russia, 121205, Russia. E-mail: s.novichkov@skoltech.ru).

Статья поступила 08 сентября 2021 г.
Received September 08, 2021

To Reference:

Savenko K.V., Rogozhnikov E.V., Novichkov S.A., Lakontsev D.V. Propusknaya sposobnost' linii svyazi mezhdru raspredelennym modulem i radiomodulem bazovoi stantsii pyatogo pokoleniya v sootvetstvii s paradigmoi OPEN RAN [Bandwidth of the communication line between the distributed module and the radio module of the fifth generation base station in accordance with the Open RAN paradigm]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2022, no. 1 (54), pp. 59–69. DOI: 10.17212/1727-2769-2022-1-59-69.