

УДК 621.396.41

Я.В. Крюков, Д.А. Покаместов, Е.В. Рогожников, С.А. Новичков, Д.В. Лаконцев

Анализ вычислительной сложности и времени выполнения стека протоколов в сетях 5G New Radio

В настоящее время идет активное развертывание сетей радиодоступа мобильных систем связи 5G New Radio. Активно развивается архитектура сетей, в которых существенная часть функций выполняется в виртуальном облачном пространстве на персональных компьютерах. Вычислительной мощности персонального компьютера должно быть достаточно для выполнения сетевых протоколов в реальном времени. Для удешевления стоимости развертывания сетей 5G NR комплектация каждого удаленного вычислителя должна быть оптимально подобрана под масштабы конкретной сети. Поэтому актуальным направлением исследований является оценка времени выполнения стека протоколов 5G NR на различных конфигурациях вычислительных машин и разработка математической модели для анализа данных, аппроксимации зависимостей и выработки рекомендаций. В этой работе мы осуществляем обзор основных сетевых архитектур, а также описание методов и инструментов, с помощью которых можно оценить вычислительную сложность стека протоколов 5G NR. В заключительном разделе приведен анализ вычислительной сложности выполнения стека протоколов, полученный в ходе экспериментов зарубежными коллегами.

Ключевые слова: 5G NR, RAN, O-RAN, вычислительная сложность, OAI.

doi: 10.21293/1818-0442-2020-23-3-31-37

Мобильные системы связи пятого поколения 5G New Radio (NR) находятся на стадии внедрения. Планируется, что в 2021 г. начнется массовый ввод в эксплуатацию коммерческих сетей, а на рынок поступят первые мобильные телефоны с сигнальным процессором 5G NR. Сегодня операторам сотовых сетей приходится обеспечивать отдельным вычислительным центром каждую базовую станцию и производить обработку «на месте», что приводит к удорожанию развертывания новых сетей. Дополнительной проблемой является неравномерное распределение абонентов и лавинообразный рост нагрузки на сеть радиодоступа: в густонаселенных районах нагрузкакратно выше, чем в сельских, а в бизнес-районах в рабочее время происходит существенное увеличение нагрузки. Для решения этой проблемы предлагают использовать 2 подхода: развертывание дополнительных сетей радиодоступа RAN (Radio Access Network) или оптимизация существующей архитектуры RAN. Первый подход является дорогостоящим и приводит к увеличению капитальных CAPEX (Capital Expense) и операционных OPEX (Operating Expense) расходов поставщиков услуг мобильной связи, однако может быть применен уже сегодня. Второй подход требует более глубокого изучения и экспериментальных исследований новых архитектур RAN.

Также проблемой является то, что современная политика производителей телекоммуникационных устройств не позволяет развертывание сети с помощью продукции от разных поставщиков. Вместо этого операторы сотовой связи вынуждены покупать оборудование и программное обеспечение (ПО) у одного поставщика. Новую концепцию организации архитектуры сети предложили разработчики из альянса Open-RAN (O-RAN). Основная концепция O-RAN заключается в открытости радиоинтерфейсов и программного исходного кода. Этот подход

позволяет не только комбинировать технологическую продукцию разных поставщиков, но и разрабатывать собственные решения. Альянсом O-RAN предложена концепция «белого ящика», согласно которой на рынок будет выпущено открытое сетевое оборудование с возможностью свободной модернизации. Согласно прогнозам аналитиков, эта концепция позволит кратно сократить CAPEX и OPEX и ускорить развертывание сетей 5G NR.

Стек протоколов 5G NR включает в себя 3 уровня:

- Layer 1 (L1) – физический;
- Layer 2 (L2) – MAC, RLC, PDCP;
- Layer 3 (L3) – RRC.

В сетях 4G LTE этот стек выполнялся в специализированном оборудовании. Архитектура сети O-RAN предлагает возможность полного (или частичного) выполнения стека протоколов в удаленном вычислительном центре, реализованном на персональном компьютере (ПК), за счет чего реализуется концепция облачной C-RAN (Cloud RAN). Поэтому сегодня существует острая необходимость провести комплексные исследования различных реализаций O-RAN, в том числе для оценки и анализа факторов, влияющих на вычислительную сложность процедур в O-RAN.

Наша работа посвящена обзору сетей радиодоступа на базе O-RAN и анализу факторов, влияющих на вычислительную сложность выполнения стека протоколов в различных программно-аппаратных платформах.

Сеть радиодоступа в 5G NR

RAN, построенная в соответствии с 5G NR (на основе Релиза 15 3GPP [1–3]) на базе O-RAN, может реализовать концепцию C-RAN [4–7]. При традиционном подходе, на котором строились мобильные сети прошлых поколений (2G, 3G, LTE и пр.), основу сети составляет распределенный по зоне покрытия

массив базовых станций (БС). Каждая БС выполняет функции приема и обработки физических сигналов и пакетов данных на физическом, канальном, сетевом и других уровнях (рис. 1, а). БС подключены к ядру сети, основной частью которого является блок EPC (Evolved Packet Core). Таким образом, кроме радиомодуля RF (Radio Frequency) каждая БС должна обладать и мощным вычислительным модулем, что неизбежно ведет к увеличению CAPEX и OPEX.

Принципиальным отличием концепции Cloud RAN является упрощение структуры БС. При полностью централизованной C-RAN [7] функции БС сводятся к приему, фильтрации и аналогово-цифровому преобразованию сигналов, что обеспечивает блок RRH (Remote Radio Head) (рис. 1, б). Необработанный цифровой сигнал передается в вычислительный центр по интерфейсу S1 или N2. Вычислительный центр представляет собой пул виртуальных БС-BBU (Base Band Unit), каждая из которых обслуживает свой RRH. Кроме полностью централизованной возможна реализация частично централизованной C-RAN, в этом случае операции и протоколы могут делиться между центральным узлом и БС на различном уровне [3, 5].

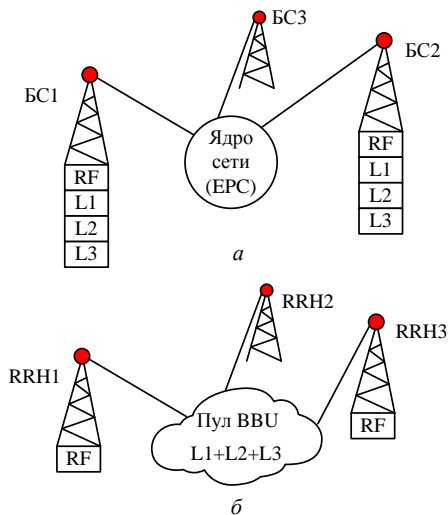


Рис. 1. Структура RAN: а – классическая концепция RAN, б – Cloud RAN

Такая облачная структура RAN обладает рядом преимуществ:

1. Уменьшение требуемых вычислительных мощностей. Объем передаваемого трафика в течение дня динамично меняется между спальными (утром и вечером) и деловыми (днем) районами. Это приводит к тому, что все БС в зоне покрытия должны обладать вычислительными мощностями, достаточными для обработки всего трафика, однако в течение дня определенные БС будут недогруженными, а определенные – перегруженными. В C-RAN все вычислительные мощности сконцентрированы в одном месте и динамически перераспределяются для обработки сигналов RRH, испытывающих большую сетевую нагрузку. Таким образом, для C-RAN необходим меньший объем вычислительных мощностей

для поддержания того же уровня производительности [4, 8].

2. Низкое энергопотребление C-RAN. За счет уменьшения вычислительной нагрузки снижается и потребление электроэнергии каждой БС, в то время как энергопотребление вычислительного центра достаточно легко оптимизировать. Как показано в [7], величина выигрыша в энергоэффективности может достигать 46%.

3. Себестоимость. Главным преимуществом C-RAN является снижение стоимости развертывания такой сети за счет использования более простых и дешевых БС. Стоимость создания вычислительного центра меньше, поскольку обработка сигналов и пакетов может проводиться на мощных ПК. Вычислительный центр находится в отдельном помещении, поэтому к устройствам обработки данных (в отличие от вычислителей БС) не предъявляются особые конструктивных требований по влагозащите, температурному режиму, теплоотводу и т.д. [4].

4. Надежность, гибкость и удобство администрирования. За счет того, что все BBU сосредоточены в одном месте, вероятность поломки БС снижается и сводится к вероятности поломки RRH. Также существенно упрощается обслуживание, устранение неисправностей и обновление пула BBU [7, 9].

5. Снижение частотной интерференции. В классической архитектуре сотовой связи перемещение абонента между БС способно вызывать интерференцию сигналов и динамическое изменение зоны покрытия. В случае C-RAN соседними RRH может управлять один BBU, что исключает возможность интерференции [7].

Рассмотрим общую архитектуру, определенную спецификацией 3GPP TS 38.300 [1] (рис. 2). Основу сети составляет набор распределенных по территории базовых станций (с возможностью поддержки концепции C-RAN) четвертого ng-eNB и пятого gNB поколений. Базовые станции соединены друг с другом с помощью интерфейса Xn и с блоками функций AMF (Access and Mobility Management Function, функция управления доступом и мобильностью) и UPF (User Plane Function, функция плоскости пользователя), входящими в состав ядра сети 5GC (5G Core).

Базовые станции gNB или ng-eNB выполняют следующие основные функции управления каналами соединения с мобильными станциями и обработки пакетов: управление радиоресурсами RRM (Radio Resource Management), управление радиоканалом RBC (Radio Bearer Control), контроль мобильности подключений, контроль радиодоступа, измерение параметров канала, динамическое распределение ресурса связи (Scheduler) и др. Ядро сети состоит из трех основных блоков функций: AMF, UPF и SMF (Session Management function, функция управления сессиями).

На рис. 3 приведены основные функции сети и их распределение между NG RAN и 5GC.

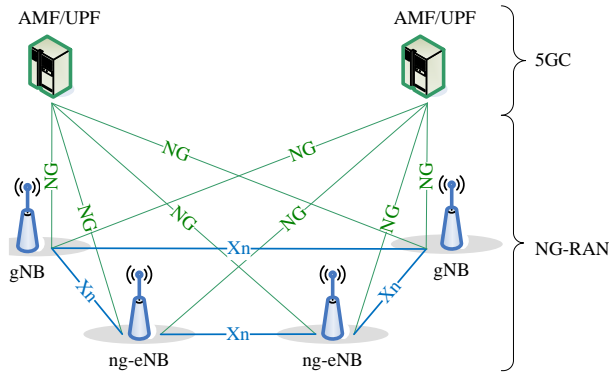


Рис. 2. Архитектура сети NG-RAN

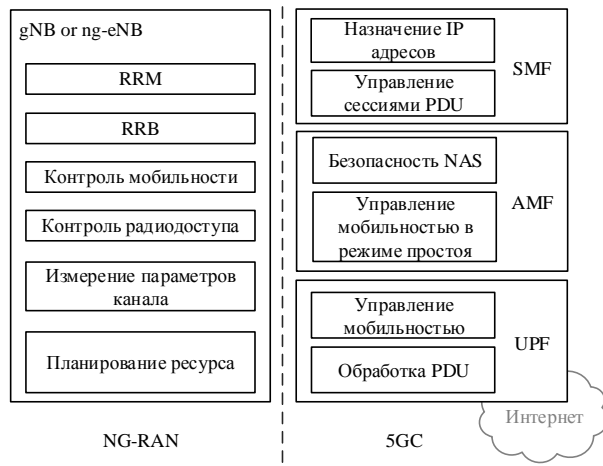


Рис. 3. Распределение основных функций между блоками сети NG RAN

Блок AMF включает в себя функции взаимодействия и безопасности трафика, не относящегося к радиосоединению NAS (Non Access Stratum), управлению мобильностью в режиме простоя, аутентификацию, авторизацию доступа, в том числе в роуминге, контроль и разделение сетей, управление зоной регистрации и др. Блок SMF обеспечивает управление сессиями PDU (Protocol Data Unit), в том числе назначение абонентским устройствам IP-адресов, управление качеством обслуживания QoS (Quality of Service), уведомление о данных по нисходящему каналу связи и т.д.

Весь стек используемых в RAN протоколов делится на две плоскости: UP (User Plane, плоскость пользовательского трафика) и CP (Control Plane, плоскость управления). Стек протоколов UP реализует процесс передачи данных между пользователем (UE) и базовой станцией (gNB) (рис. 4). Стек протоколов CP реализует управление сеансами подключения UE и общей сетью, различные аспекты управления сети (рис. 5).

Опишем функции уровни протоколов, изображенных на рис. 4 и 5. NAS служит для управления установлением сеансов связи. RRC (Radio Resource Control) – протокол управления радиоресурсами, служит для передачи системной информации, управляет измерениями в сети и пр. PDCP (Packet Data Convergence Protocol) обрабатывает RRC сооб-

щения в плоскости управления и IP-пакеты в пользовательской плоскости. MAC (Medium Access Control) отвечает за адресацию и управление доступом к каналам. PHY (Physical Layer) отвечает за низкоруровневые процедуры формирования и обработки сигналов и битов.

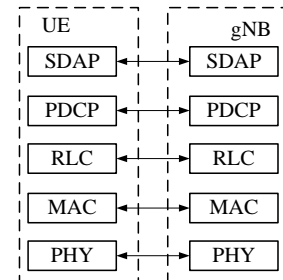


Рис. 4. Стек протоколов UP

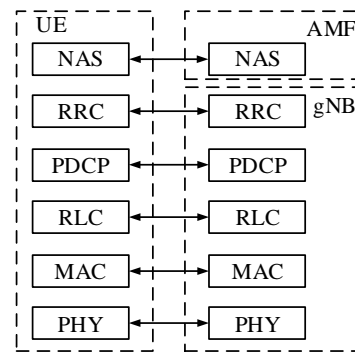


Рис. 5. Стек протоколов CP

Для реализации C-RAN базовая станция gNB состоит из центрального модуля gNB-CU (gNB Central Unit), включающего функции BBU, и одного или нескольких распределенных модулей gNB-DU, включающего функции RRH. Рекомендацией 3GPP TR 38.801 V14.0.0 [3] определены возможные уровни разделения функций между gNB-CU и gNB-DU (рис. 6).

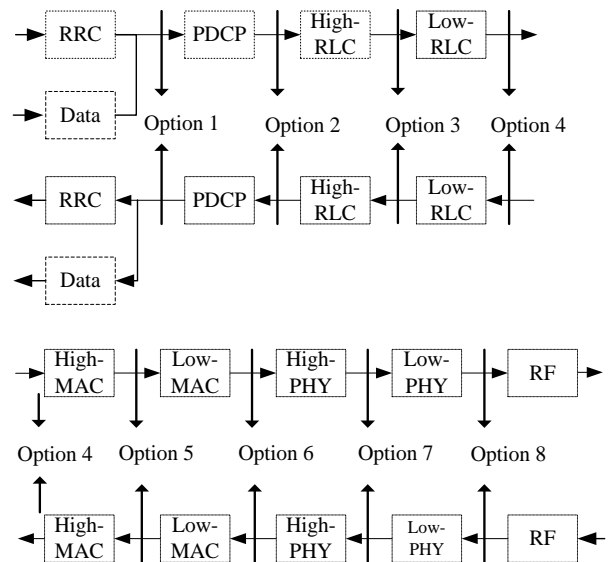


Рис. 6. Разделение функций между gNB-CU и gNB-DU

Методы экспериментальной оценки вычислительной сложности стека протоколов 5G NR

Экспериментальная оценка вычислительной сложности выполнения стека протоколов RAN производится на специальных экспериментальных стендах, включающих в себя аппаратную и программную части. Как правило, в рамках такого стенда развертывается локальная или виртуальная сеть радиодоступа, включающая одну или несколько узловых станций gNB вместе с абонентским оборудованием UE.

В локальной сети обработка физического сигнала в прямом (downlink) и обратном (uplink) направлении выполняется в программируемом радио SDR (Software-Defined Radio), чаще всего с помощью SDR USRP от компании National Instruments. При этом данные между gNB и UE могут передаваться как по радиоканалу, так и по высокоскоростному проводному интерфейсу. В виртуальной сети физический уровень реализован виртуально с помощью математической модели формирования, обработки и передачи сигналов.

И в локальной, и в виртуальной имплементациях ПО для выполнения стека L2/L3 уровней осуществляется на одном или нескольких ПК. Чаще всего для этого используется открытое ПО, разработанное участниками проекта Open Air Interface (OAI). Преимущество OAI заключается в открытости исходного кода, что позволяет гибкую настройку и оптимизацию ПО для себя.

OAI – это проект с открытым исходным кодом, в котором реализован стек протоколов 3GPP для вычислительного оборудования на процессорах x86 и SDR. С помощью OAI можно развернуть полноценную сеть 4G/5G, используя USRP и ПК с операционной системой Linux на процессоре x86. Открытость исходного кода позволяет модернизацию и гибкую конфигурацию сети. Именно поэтому OAI часто используется для экспериментальных исследований RAN.

Реализация ключевых функциональных узлов сети радиодоступа с помощью OAI и вычисление их на ПК позволяет виртуальное разделение доступных вычислительных ресурсов между узлами и точный расчет времени выполнения каждой сетевой процедуры. Как правило, в экспериментальных исследованиях искусственно ограничивают доступный системе вычислительный ресурс (снижение тактовой частоты центрального процессора (ЦП), исключение физических или логических ядер ЦП, ограничение оперативной памяти RAM и т.д.) и производят расчет времени выполнения полного стека протоколов (или набора протоколов), варьируя конфигурацией RAN (например, количество активных абонентов).

Описанная выше базовая концепция экспериментального стенда используется в подавляющем большинстве исследований, посвященных этому направлению. В следующем разделе приведены основные результаты анализа вычислительной сложности выполнения стека протоколов 5G NR, полученные в ходе экспериментальных исследований в различных коллективах.

Анализ вычислительной сложности выполнения стека протоколов 5G NR

В работе [10] авторы проводят оценку времени обработки одного пользовательского канала RAN в облачном вычислительном центре. Для этого используются ПК с операционной системой Linux на базе ЦП Intel Core i7-4790 @ 3,60 ГГц и 16 GB RAM, которая позволяет напрямую с каждого процессорного ядра получать точную оценку времени выполнения заданных операций. Стек протоколов реализован с помощью OAI. В своем эксперименте авторы изменяют тактовую частоту ЦП и оценивают время выполнения каждой процедуры на физическом уровне (L1) для различного количества абонентских ресурсных блоков (количество трафика). На основании экспериментальных данных была получена полиномиальная функция для расчета времени выполнения τ_p операции p в прямом и обратном каналах:

$$\tau_p = \frac{N_{\text{PRB}}}{f^2} \sum_{i=0}^2 \alpha_i i^{\text{MCS}}, \quad (1)$$

где N_{PRB} – количество ресурсных блоков пользователя; f – частота центрального процессора; i – индекс сигнально-кодовой конструкции пользователя; α_i – полиномиальные коэффициенты, которые получены эмпирическим путем [10].

Из (1) видно, что общее время (и сложность) выполнения всех операций имеет $\sum \tau_p \sim 1/f^2$ и линейно зависит от количества ресурсных блоков абонента и типа сигнально-кодовой конструкции.

В работе [11] косвенно подтверждается результат, полученный в [10]. Здесь авторы проводят оценку времени обработки сигнала в зависимости от ширины частотной полосы и количества абонентов. Экспериментальный стенд состоит из трех ПК с четырехъядерным ЦП на частоте 4 ГГц, которые отвечают за EPC, FR-C и FR-A соответственно. Программная часть стенда основана также на OAI с использованием FlexRAN интерфейсов. При максимальной нагрузке пользовательского канала с данными PDSCH удалось получить линейную зависимость времени выполнения стека протоколов от параметра N_{PRB} . При $N_{\text{PRB}} = 50$ и трех активных абонентах общее время выполнения всех операций составляет 175 нс.

Оценку влияния количества абонентов на нагрузку RAN проводят авторы в работе [12]. Для этого разработан стенд, в котором полный цикл обработки сигнала происходит на ПК, а блок RRH реализован на USRP. Результат исследований сфокусирован на ключевых показателях RAN: нагрузка на ЦП и использованный объем RAM.

Анализируя результаты исследования влияния активных абонентов на потребление ресурсов RAM при обработке канала SISO шириной 5 МГц, представленные в [12], можно сделать вывод о линейной зависимости потребления RAM от количества активных абонентов. При этом каждый следующий абонентский канал потребляет всего лишь $\sim 0,25$ МБ RAM. Так же в [12] представлена зависимость за-

действующих физических ядер ЦП (при 95% нагрузке каждого ядра) от количества абонентов при обработке прямого и обратного каналов в той же конфигурации системы. Из полученных результатов видно, что при девяти активных абонентах используются ресурсы $\sim 1,3$ ядра ЦП, а увеличение количества абонентов несущественно увеличивает нагрузку на ЦП.

Коллектив авторов работы [13] предложил гибкую архитектуру сети и исследовал вычислительную сложность выполнения протоколов PDCP/RLC. Использовалась сложная конфигурация, состоящая из нескольких сот и 24 абонентских устройств. В результате эксперимента получены важные и неочевидные выводы, которые могут быть полезны при развертывании RAN:

1. Время выполнения стека протоколов может быть существенно снижено с помощью оптимизации алгоритмов.

2. Концепция RAN позволяет более гибко распределять вычислительный ресурс между виртуальными блоками обработки. Однако это приводит к дополнительной нагрузке на интерфейсы, соединяющие эти блоки, и к существенному увеличению нагрузки на ЦП.

Исследование зависимости времени обработки подкадра от тактовой частоты ЦП приведено в [14]. В работе использована экспериментальная установка с применением USRP B210 в качестве аппаратной части для обработки физического сигнала, а обработка сигнала на верхних уровнях реализована на ПК с помощью ОАИ. Полученный результат приведен на рис. 7 для различной системной полосы частот.

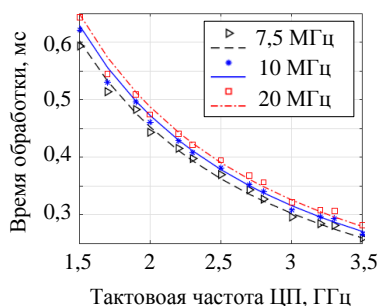


Рис. 7. Зависимость времени обработки подкадра от тактовой частоты ЦП в ПК с виртуальной RAN

Основываясь на экспериментальных результатах, с помощью аппроксимации получена формула для расчета времени обработки подкадра:

$$T_{\text{sub}}[\text{мкс}] = \frac{\alpha_{\text{PRB}}}{f} + \beta_{\text{MCS}} + 2,508, \quad (2)$$

где α_{PRB} – параметр, зависящий от ширины системной полосы; β_{MCS} – параметр, зависящий от типа сигнально-кодированной конструкции; f – тактовая частота процессора. Вышеперечисленные параметры приведены в [14, табл. 2].

Формула (2) может быть использована при виртуальном распределении вычислительного ресурса ПК для RAN.

В той же работе экспериментальным путем получена зависимость нагрузки на ЦП от пропускной способности системы. Эта зависимость является линейной на участке от 20 до 100 Мбит/с, поэтому можно предположить, что вне этого диапазона зависимость останется линейной или квазилинейной.

Заключение

В первой части работы представлен обзор основных архитектур RAN для 5G NR. В отличие от архитектуры LTE, в NR предложен ряд новых подходов для удешевления развертывания сетей. В частности, предложена открытая архитектура RAN с частичной или полной удаленной обработкой сигналов в виртуальном облачном пространстве. Благодаря этому подходу для выполнения стека протоколов можно использовать ПК с открытым ПО. Эта возможность предоставила новые направления для исследований, связанные с виртуализацией RAN, разделением на виртуальные слои и динамическим распределением вычислительного ресурса между функциональными блоками.

Во второй части описаны основные методы и инструменты для оценки вычислительной сложности выполнения стека протоколов RAN 5G NR. Программная часть RAN чаще всего основана на ОАИ. Обработка физического сигнала, в основном, реализуется на платформе SDR, а верхние уровни протокола выполняются на ПК. Поэтому удается виртуально управлять доступными вычислительными ресурсами ПК и проводить оценку времени выполнения уровней L2/L3 в зависимости от конфигурации RAN.

В заключительном разделе приведен анализ вычислительной сложности выполнения стека протоколов, полученный в ходе экспериментов зарубежными коллегами. В рамках эмпирического подхода получен ряд математических выражений, с помощью которых можно рассчитать время выполнения некоторых операций в зависимости от частоты центрального процессора, ширины полосы пропускания системы и от сложности сигнально-кодированной конструкции. Это может быть использовано при подборе конфигурации ПК для развертывания сети радиодоступа сетей беспроводного широкополосного доступа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минкомсвязи России и АО «РВК», а также Сколковского института науки и технологий, идентификатор соглашения о предоставлении субсидии – 000000007119P190002, № 005/20/7744 от 26.03.2020.

Литература

- 3GPP TS 38.300, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (Release 16) v.16.3.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3191>, свободный (дата обращения: 23.10.2020).
- 3GPP TS 38.401 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NG-

RAN; Architecture description (Release 16) v.16.3.0 0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3219>, свободный (дата обращения: 23.10.2020).

3. 3GPP TR 38.801 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces (Release 14) v.14.0.0 0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3056>, свободный (дата обращения: 23.10.2020).

4. Cloud RAN for Mobile Networks-A Technology Overview / A. Checko., H.L Christiansen., Y. Yan, L. Scolari, G. Kardaras, M.S. Berger, L. Dittmann // IEEE Communications surveys & tutorials. – 2015. – Vol. 17. – P. 405–426.

5. Salman T. Cloud RAN: Basics, advances and challenges [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-16/ftp/cloudran.pdf>, свободный (дата обращения: 06.11.2020).

6. Resource sharing in heterogeneous cloud radio access networks / M.A. Marotta, N. Kaminski, I. Gomez-Miguel, L.Z. Granville, J. Rochol, L. DaSilva, C.B. Both, // IEEE Wireless Communications. – 2015. – Vol. 22. – P. 74–82.

7. A Comprehensive Survey of RAN Architectures Toward 5G Mobile Communication System / M.A. Habibi, M. Nasimi, B. Han, H.D. Schotten // IEEE Access. – 2019. – Vol. 7. – P. 70371–70421.

8. Radio resource management for cloud-RAN networks with computing capability constraints. / Y. Liao, L. Song, Y. Li, Y.A. Zhang // Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC). – Kuala-Lumpur, Malaysia, 2016. – P. 1–6.

9. Karneyenka U. Location and mobility aware resource management for 5G cloud radio access networks / U. Karneyenka, K. Mohta, M. Moh // Proceedings of the 2017 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS). – Genoa, Italy, 17–21 July 2017. – P. 168–175.

10. Khatibi S. Modelling of computational resources for 5G RAN / S. Khatibi, K. Shah, M. Roshdi // 2018 European Conference on Networks and Communications (EuCNC). – IEEE, 2018. – P. 1–5.

11. Bandwidth part adaptation and processing time evaluation with openairinterface / M. Einhaus, M.B. Charaf, I. Kim, I. Arnold // 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall). – IEEE, 2018. – P. 1–5.

12. Gavrilovska L. From Cloud RAN to Open RAN / L. Gavrilovska, V. Rakovic, D. Denkovski // Wireless Personal Communications. – 2020. – P. 1–17.

13. A flexible network architecture for 5G systems / M. Shariat, O. Bulakci, A. De Domenico, C. Mannweiler // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2019. – P. 1–20.

14. Tran T.X. Understanding the computational requirements of virtualized baseband units using a programmable cloud radio access network testbed / T.X. Tran, A. Younis, D. Pompili // 2017 IEEE International Conference on Automatic Computing (ICAC). – IEEE, 2017. – P. 221–226.

Крюков Яков Владимирович

Канд. техн. наук, доцент каф. телекоммуникаций и основ радиотехники (ТОР) Томского государственного ун-та систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-33-98
Эл. почта: kryukov.tusur@gmail.com

Покаместов Дмитрий Алексеевич

Канд. техн. наук, доцент каф. ТОР, ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-33-98
Эл. почта: dmaltomsk@mail.ru

Рогожников Евгений Васильевич

Канд. техн. наук, доцент, каф. ТОР, ТУСУР
Ленина пр-т, д. 40, г. Томск, Россия, 634050
Тел.: +7 (382-2) 41-33-98
Эл. почта: udzhon@mail.ru

Новичков Серафим Алексеевич

Гл. конструктор лидирующего исследовательского центра «Сеть радиодоступа 5G с открытой архитектурой», Сколтех
Большой бульвар, д. 30, Москва, Россия, 121205
Тел.: +7 (495-2) 80-14-81
Эл. почта: S.Novichkov@skoltech.ru

Лаконцев Дмитрий Владимирович

Канд. техн. наук, доцент, рук. центра компетенций национальной технической инициативы «Технологии беспроводной связи и интернета вещей», Сколтех
Большой бульвар, д. 30, г. Москва, Россия, 121205
Тел.: +7 (495-2) 80-14-81
Эл. почта: d.lakontsev@skoltech.ru

Kryukov Ya.V., Pokamestov D.A., Rogozhnikov E.V.,
Novichkov S.A., Lakontsev D.V.

Analysis of Computational Complexity and Processing Time Evaluation of the Protocol Stack in 5G New Radio

Currently, an active deployment of radio access networks for mobile communication systems 5G New Radio is being observed. The architecture of networks is developing rapidly, where significant part of the functions is performed in a virtual cloud space of a personal computer. The computing power of a personal computer must be sufficient to execute network protocols in real time. To reduce the cost of deploying 5G NR networks, the configuration of each remote computer must be optimally matched to the scale of a particular network. Therefore, an urgent direction of research is the assessment of the execution time of the 5G NR protocol stack on various configurations of computers and the development of a mathematical model for data analysis, approximation of dependencies and making recommendations. In this paper, the authors provide an overview of the main 5G NR network architectures, as well as a description of the methods and tools that can be used to estimate the computational complexity of the 5G NR protocol stack. The final section provides an analysis of the computational complexity of the protocol stack, obtained during the experiments by colleagues in partner institutions.

Keywords: 5G NR, RAN, C-RAN, computational complexity, OAI

doi: 10.21293/1818-0442-2020-23-3-31-37

References

1. 3GPP TS 38.300, 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NR; NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (Release 16) v.16.3.0 Available at: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3191> (Accessed: October 23, 2020).

2. 3GPP TS 38.401 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; NG-RAN; Architecture description (Release 16) v.16.3.0 0 Available at: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/>

SpecificationDetails.aspx?specificationId=3219 (Accessed: October 23, 2020).

3. 3GPP TR 38.801 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Study on new radio access technology: Radio access architecture and interfaces (Release 14) v.14.0.0 0 Available at: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3056> (Accessed: October 23, 2020).

4. Checko A., Christiansen H.L., Yan Y., Scolari L., Kardaras G., Berger M.S., Dittmann L. Cloud RAN for Mobile Networks—A Technology Overview. *IEEE Communications surveys & tutorials*, 2015, v. 17, pp. 405–426.

5. Salman T. Cloud RAN: Basics, advances and challenges 0 Available at: <https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse574-16/ftp/cloudran.pdf> (Accessed: November 6, 2020).

6. Marotta M.A., Kaminski N., Gomez-Miguel I., Granville L.Z., Rochol J., DaSilva L., Both C.B. Resource sharing in heterogeneous cloud radio access networks. *IEEE Wireless Communications*, 2015, vol. 22, pp. 74–82.

7. Habibi M.A., Nasimi M., Han B., Schotten H.D. A Comprehensive Survey of RAN Architectures Toward 5G Mobile Communication System. *IEEE Access*, 2019, vol. 7, pp. 70371–70421.

8. Liao Y., Song L., Li Y., Zhang Y.A. Radio resource management for cloud-RAN networks with computing capability constraints. Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kuala Lumpur, Malaysia, 2016, pp. 1–6.

9. Karneyenka U., Mohta K., Moh M. Location and mobility aware resource management for 5G cloud radio access networks. Proceedings of the 2017 International Conference on High Performance Computing & Simulation (HPCS), Genoa, Italy, 17–21 July 2017, pp. 168–175.

10. Khatibi S., Shah K., Roshdi M. Modelling of computational resources for 5G RAN. 2018 European Conference on Networks and Communications (EuCNC), IEEE, 2018, pp. 1–5.

11. Einhaus M., Charaf M. B., Kim I., Arnold I. Bandwidth part adaptation and processing time evaluation with openairinterface, 2018 IEEE 88th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), 2018, pp. 1–5.

12. Gavrilovska L., Rakovic V., Denkovski D. From Cloud RAN to Open RAN, *Wireless Personal Communications*, 2020, pp. 1–17.

13. Shariat M., Bulakci O., De Domenico A., Mannweiler C. A flexible network architecture for 5G systems, *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019, pp. 1–20.

14. Tran T.X., Younis A., Pompili D. Understanding the computational requirements of virtualized baseband units

using a programmable cloud radio access network testbed, 2017 IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC), IEEE, 2017, pp. 221–226.

Yakov V. Kryukov

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Department of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering, Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR) 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 41-33-98
Email: kryukov.tusur@gmail.com

Dmitriy A. Pokamestov

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Department of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering, TUSUR 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 41-33-98
Email: dmaltomsk@mail.ru

Eugeniy V. Rogozhnikov

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Department of Telecommunications and Basic Principles of Radio Engineering, TUSUR 40, Lenin pr., Tomsk, Russia, 634050
Phone: +7 (382-2) 41-33-98
Email: udzhon@mail.ru

Serafim A. Novichkov

Lead Engineer of LRC «5G Radio Access Network with Open Architecture», Skolkovo Institute of Science and Technology (Skoltech) 30, Bolshoy Boulevard, Moscow, Russia, 121205
Phone: +7 (495-2) 80-14-81
Email: S.Novichkov@skoltech.ru

Dmitriy V. Lakontsev

Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Head of the Competence Center of the National Technical Initiative «Technologies of Wireless Communication and the Internet of Things», Skoltech 30, Bolshoy Boulevard, Moscow, Russia, 121205
Phone: +7 (495-2) 80-14-81
Email: d.lakontsev@skoltech.ru