

ОБЛАЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ГИБКИХ СЕТЕЙ РАДИОДОСТУПА 5G

© Дадаев А.И., Хашумов И.У., Занаева З.С., Абдулаев И.Х.

ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, Грозный

Эволюция мобильных сетей 5G будет характеризоваться увеличением числа беспроводных устройств, возрастающей сложностью устройств и услуг, а также необходимостью повсеместного доступа к мобильным услугам. Два ключевых фактора позволят реализовать концепцию 5G: очень плотное развертывание и централизованная обработка. В этой статье обсуждаются проблемы и требования к проектированию мобильных сетей 5G на основе этих двух ключевых факторов. В нем обсуждается, как облачные технологии и гибкое назначение функций в сетях радиодоступа обеспечивают уплотнение сети и централизованную работу сети радиодоступа в гетерогенных транзитных сетях. В статье описываются основные концепции, показано, как развивать архитектуру 3GPP LTE, а также описываются ожидаемые преимущества.

Ключевые слова: сеть радиодоступа, сверхплотное развертывание, централизованная обработка, облачные вычисления, 3GPP LTE, 5G, гетерогенная транзитная сеть, SDN.

Введение

В начале 2010-х годов технология 4G произвела революцию в сетях мобильной связи, объединяя услуги фиксированной и мобильной связи через полностью IP-сети. Это позволяет внедрять новые услуги мобильной широкополосной связи, требующие высокой скорости передачи данных, и обеспечивает высокую скорость подключения к большому количеству устройств. В настоящее время идет глобальная дискуссия по поводу определения будущих сетей 5G [1], [2], и общий консенсус заключается в том, что в 5G это развитие пойдет еще дальше за счет внедрения новых и более разнообразных мобильных услуг, предоставляемых не только устройствам, эксплуатируемым человеком, но и до полностью автоматизированных устройств специального назначения (M2M). Эти коммуникационные устройства будут интегрированы любым мыслимым образом в предметы нашего повседневного использования, такие как автомобили, бытовая техника, текстиль и важные для здоровья приборы. Все более сложные сценарии усложняют операторам мобильных сетей эффективное управление и эксплуатацию сетей, обеспечивая при этом требуемое качество обслуживания.

Маловероятно, что один стандарт и одна модель развертывания сети смогут соответствовать всем вариантам использования и сценариям в 2020 году и далее. Напротив, мобильные сети и развернутое оборудование должны быть гибкими, чтобы их можно было оптимизировать для отдельных сценариев, которые могут быть динамичными в различных измерениях, таких как пространство и время. Следовательно, гибкость и масштабируемость становятся фундаментальными требованиями для обеспечения требуемой адаптации сети к потребностям отдельных сервисов. Это требование гибкости окажет значительное влияние на проектирование новых сетевых архитектур, которые также должны будут работать вместе с устаревшими системами.

В этой статье мы представляем один из способов обеспечения такой гибкости за счет использования облачных технологий и их использования для работы сетей радиодоступа (RAN). Облачные технологии уже привлекли все большее внимание для развертывания функций базовой мобильной сети. Операторы изучают возможность внедрения стандартного аппаратного обеспечения, чтобы использовать преимущества облачных технологий, например, посредством виртуализации сетевых функций (NFV) и программно-определяемых сетей (SDN) [3]. Однако эти подходы еще не применялись и не рассматривались для RAN, которой посвящена данная статья. В этой статье объясняются проблемы и возможности использования облачных технологий для мобильных сетей 5G и приводятся конкретные

примеры технологий. Таким образом, основное внимание уделяется новой концепции сети радиодоступа как услуги (RANaaS), которая гибко централизует функциональность RAN через открытую ИТ-платформу, основанную на облачной инфраструктуре [4].

1. Проблемы и ключевые возможности

Ниже кратко описаны ключевые факторы, способствующие удовлетворению требований 5G, и связанные с ними проблемы.

Сети 5G столкнутся с экспоненциальным ростом трафика данных, вызванным различными факторами [5]:

- 1) Больше устройств получают доступ к Интернету и широкополосным услугам, включая устройства M2M.
- 2) Устройства, в частности смартфоны, становятся мощнее. Если в начале 2010-х годов на смартфоне было доступно 2D-видео и просмотр веб-страниц, то в 2020 году использование 3D-видео высокой четкости и взаимодействие в реальном времени станет обычной практикой.
- 3) Появляются более разнообразные и требовательные к пропускной способности сервисы, и они используются более широко.
- 4) Устройства интегрируются в большее количество сфер жизни и промышленности.
- 5) Смартфоны используются в основном в качестве шлюза (а также для других устройств) для доступа к услугам, выполняемым в «Облаке». Это означает, что требования к хранилищу и обработке для каждого пользователя будут расти, в то время как возможности для каждого устройства не будут расти такими же темпами. Разрыв между обоими должен быть заполнен коммуникационными сетями.

Наряду с увеличением разнообразия услуг и приложений также будет увеличиваться требуемое разнообразие характеристик технологии радиодоступа. В то время как основной движущей силой 4G является повсеместная мобильная широкополосная связь, 5G будет служить многим различным целям в отношении надежности, задержки, пропускной способности, объема данных и мобильности. Интеграция всех этих характеристик подразумевает сложную систему, которой будет трудно управлять, эксплуатировать и адаптировать к изменяющимся требованиям при использовании современных технологий. Поэтому мы считаем, что 5G будет основан на двух ключевых факторах, обеспечивающих гибкость и достаточную адаптивность для описанных требований: сверхплотные развертывания, которые адаптируются к потребностям, в сочетании с гибкой централизованной обработкой, которая позволяет эффективно управлять сверхплотной мобильной сети, которая позволяет использовать более гибкие специализированные программные решения.

2. Сверхплотное развертывание

С 1950 года системная пропускная способность сотовых сетей выросла в 1600 раз просто за счет увеличения пространственного повторного использования, т. е. Более плотных сетей и меньших сот. Напротив, пропускная способность канала увеличилась «только» в 25 раз благодаря новым методам физического уровня [6]. Таким образом, использование очень плотных, маломощных сетей с малыми сотами представляется многообещающим вариантом, позволяющим удовлетворить будущие потребности в скорости передачи данных. Сверхплотные развертывания используют два фундаментальных эффекта. Во-первых, сокращается расстояние между точкой радиодоступа (RAP) и пользователем, что приводит к более высоким достижимым скоростям передачи данных. Во-вторых, спектр используется более эффективно благодаря повторному использованию частотно-временных ресурсов в нескольких сотах. Малые соты дополняют существующие развертывания макросот, которые по-прежнему необходимы для обеспечения покрытия быстро перемещающихся пользователей и в районах с низкой плотностью пользователей.

Чем выше плотность развертывания, тем больше пространственных и временных колебаний нагрузки можно наблюдать на каждой RAN. Следовательно, увеличивается вероятность того, что отдельный RAN не передает никакого трафика или имеет только низкую нагрузку трафика. При обычном развертывании малых сот значительное количество сайтов потребляло бы энергию и вычислительные ресурсы в таких условиях. Это открывает возможность для более целенаправленного предоставления скоростей передачи данных, что приводит к более эффективному использованию спектральных и энергетических ресурсов.

3. Централизованная обработка

По мере того, как сети становятся более плотными, сценарии помех усложняются из-за многосотовых помех. Централизованная обработка позволяет реализовать эффективные алгоритмы управления радиоресурсами (RRM), которые обеспечивают координацию радиоресурсов между несколькими сотами. Это также позволяет оптимизировать производительность радиодоступа на уровне сигнала, например, за счет совместной обработки нескольких сот и координации межсотовых помех (ICIC). Алгоритмы RRM и ICIC улучшают производительность сети радиодоступа, избегая, подавляя или используя помехи между соседними ячейками.

На сетевом уровне требуется централизованная обработка для организации и оптимизации сверхплотных сетей, например, для динамической адаптации к пространственным и временным колебаниям путем включения/отключения RAN, добавления ресурсов спектра и настройки сети для точной настройки доставки трафика пользовательских данных. Кроме того, центральные пулы ресурсов могут обеспечить гибкое развертывание программного обеспечения. В зависимости от фактического сценария могут использоваться различные алгоритмы, оптимизированные для конкретных случаев использования, например, на основе характеристик трафика, межсотовых зависимостей или развертывания RAN. Это также позволяет оператору развертывать новейшие алгоритмы в больших масштабах.

Централизованная RAN (C-RAN) недавно привлекла большое внимание как один из возможных способов эффективной централизации вычислительных ресурсов [7]. В C-RAN несколько сайтов подключены к центральному центру обработки данных, где выполняется вся обработка основной полосы частот (BB). Обмен радиосигналами осуществляется по выделенным линиям передачи (называемым fronthaul) между удаленными радиоголовками (RRH) и центром обработки данных. В настоящее время только оптоволоконные линии способны поддерживать скорость передачи данных, например, около 10 Гбит/с для TD-LTE с полосой пропускания 20 МГц и восемью приемными антеннами. Эта потребность в переднем канале с высокой пропускной способностью является основным недостатком C-RAN.

Из-за необходимости оптоволоконного текущего развертывания C-RAN характеризуются плохой гибкостью и масштабируемостью, поскольку можно выбирать только точки с существующим оптоволоконным доступом или необходимо развертывать дорогостоящий оптоволоконный доступ. Следовательно, существует компромисс между централизованной обработкой, требующей высокопроизводительных передних каналов, и децентрализованной обработкой, использующей традиционную обратную связь для передачи пользовательских и управляющих данных в/из RAN. Кроме того, текущие развертывания C-RAN основаны на пулах процессоров основной полосы частот, которые не позволяют гибко и адаптивно развертывать программное обеспечение и, следовательно, оставляют неиспользованным огромный потенциал облачных вычислений.

4. Гибкая конструкция для адаптивной работы

В этом разделе представлены концепции и технологии для мобильных устройств 5G.

сеть, удовлетворяющая ранее обсужденным требованиям. Поскольку большинство мобильных сетей 3,5G/4G основаны на стандартах 3GPP, мы используем технологию LTE в качестве основы как для сетевой архитектуры, так и для радиодоступа, и намечаем путь развития от нее.

4.1 Сеть радиодоступа как услуга

Централизация обработки и управления в мобильных сетях 5G должна быть гибкой и адаптированной к фактическим требованиям к услугам. Это приведет к компромиссу между полной централизацией, как в C-RAN, и децентрализацией, как в современных сетях. Этот компромисс решается новой концепцией RAN-as-a-Service (RANaaS), которая частично централизует функциональные возможности сети радиодоступа в зависимости от фактических потребностей, а также от характеристик сети. RANaaS — это приложение парадигмы XaaS [8], согласно которой любые функции могут быть упакованы и доставлены в виде услуги, возможно, централизованной внутри облачной платформы. Это позволяет использовать растущие возможности хранения и обработки данных, предоставляемые облачной платформой, размещенной в центрах обработки данных. Облачный дизайн RANaaS позволяет обеспечивать гибкость и адаптируемость с разных точек зрения:

- 1) В зависимости от подключения к сети RAN централизована и используются соответствующие программные функции;
- 2) Фактические варианты использования и текущие характеристики трафика определяют алгоритмы, которые используются и были разработаны для этих вариантов использования;
- 3) Могут использоваться новейшие реализации программного обеспечения и сложные алгоритмы, которые более эффективно используют доступные ресурсы в центре обработки данных. Это позволяет достичь теоретических пределов в отношении пропускной способности системы, энергоэффективности или пропускной способности. Эта повышенная степень гибкости и адаптивности станет ключевым фактором для будущих сетей 5G.

Центральным элементом RANaaS является гибкое функциональное разделение стека протоколов радиосвязи между центральной платформой RANaaS и локальными RAN. Это функциональное разделение вводит больше степеней свободы в структуру обработки и гибкость в фактическом выполнении функций, как показано на рис. 1. Левая сторона иллюстрирует традиционную реализацию LTE, где все функции, вплоть до контроля доступа/перегрузки, реализованы локально в RAN, то есть на базовой станции (BS). Правая сторона иллюстрирует подход C-RAN, в котором локально реализован только интерфейс радиосвязи, а все остальные функции централизованы (в этом случае RAN сводится, например, к RRH). Напротив, RANaaS не полностью централизует все функции RAN, а централизует только часть из них.

Реализация такого функционального разделения представляет собой серьезную проблему для сети радиодоступа. Теоретически такое разделение может происходить на каждом уровне протокола или на интерфейсе между каждым уровнем. Однако 3GPP LTE подразумевает определенные ограничения по времени, а также петли обратной связи между отдельными уровнями протокола. Таким образом, при развертывании с ограниченным транзитным соединением большая часть стека радиопротоколов и RRM выполняются локально, а функции с менее строгими требованиями, такие как управление каналами передачи и балансировка нагрузки, размещаются на платформе RANaaS.

Если доступна транспортная сеть с высокой пропускной способностью, более высокая степень централизации достигается за счет переноса функций нижнего уровня (например, частей PHY, MAC или планирования) на платформу RANaaS. Еще одной серьезной проблемой является использование виртуализированных ресурсов на обычном оборудовании, которое не обеспечивает таких же характеристик в реальном времени, как развернутое в настоящее время оборудование. Это приведет к дополнительной вычислительной задержке и джиттеру, которые необходимо учитывать при разработке протокола.

С другой стороны, это также открывает возможности, поскольку алгоритмы могут эффективно использовать потенциально большой объем ресурсов, например, за счет более сильного распараллеливания и использования временных и пространственных флуктуаций в сверхплотных сетях 5G, что предполагает огромный потенциал вычислительного разнообразия.

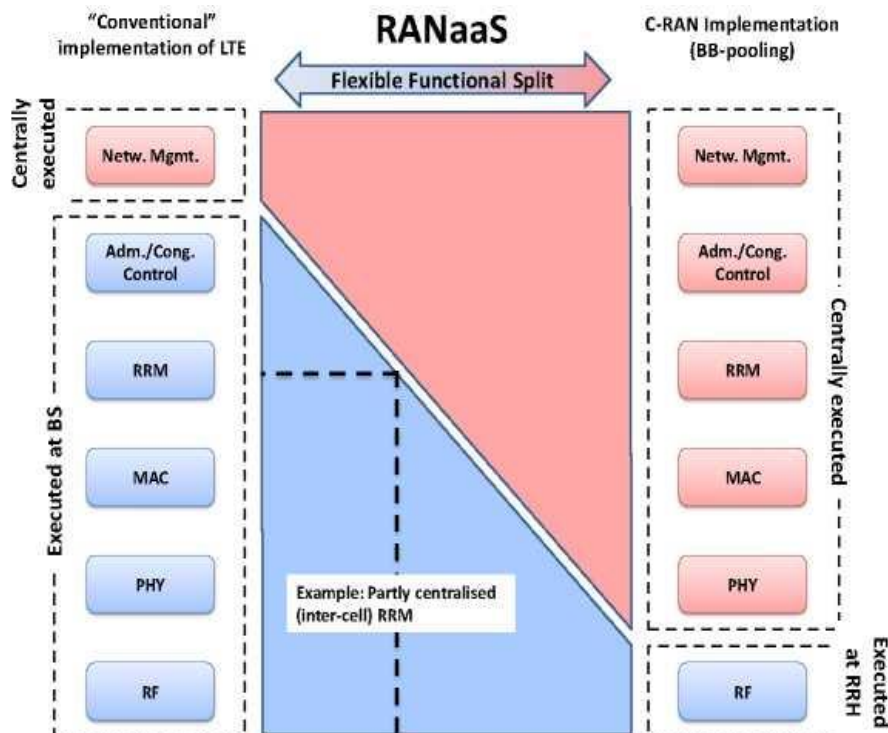


Рис. 1. Гибкое разделение функций

В ниже перечислены основные характеристики реализации RANaaS, аналогичные основным характеристикам платформы облачных вычислений:

- 1) Предоставление пропускной способности беспроводной связи по запросу для предоставления услуг мобильной связи, более точно адаптированных к фактическим потребностям операторов и абонентов, которые значительно различаются во времени и пространстве в мобильных сетях 5G.
- 2) Виртуализация ресурсов и функций RAN для оптимизации использования, управления и масштабируемости с реальной мобильной сетью.
- 3) Объединение ресурсов, позволяющее использовать более продвинутые сценарии совместного использования сети, в которых виртуальные операторы предлагают специализированные услуги, открывающие более разнообразные возможности для бизнеса. Это представляет особый интерес для очень плотных сетей 5G, где количество вариантов развертывания может быть ограничено.
- 4) Эластичность за счет масштабирования сетевых ресурсов на центральном процессоре, а также за счет масштабирования количества активных RAP.
- 5) Измерение услуг, позволяющее операторам продавать эксплуатационные услуги RAN, т. е. центральный объект координации и обработки, а также использование RAP, и взимать плату за их использование на измеримой и контролируемой основе. Это позволит более разнообразно использовать ресурсы радиосети и сценарии виртуального оператора.
- 6) Мультиарендность, обеспечивающая изоляцию, применение политик и взимание платы с разных пользователей платформы RA-NaaS, т. е. с разных поставщиков услуг. Это представляет особый интерес для обеспечения безопасности в мобильных сетях 5G.

4.2 Совместная эксплуатация транзитной сети RAN

Мобильные сети 5G будут опираться на очень плотный слой малых сот, который необходимо подключить к платформе RANaaS. Однако может потребоваться развертывание малых сот там, где сложно или слишком дорого развертывать фиксированный широкополосный доступ или микроволновые решения на основе прямой видимости для

транспортных сетей. Таким образом, транспортная сеть становится еще более важной частью инфраструктуры, поскольку она должна соединять небольшие соты в разных местах. Для этого требуются гетерогенные транспортные технологии, подходящие для различных сценариев и вариантов использования. Следовательно, при эксплуатации RAN необходимо учитывать ограниченные транспортные ресурсы. Это приведет к необходимости совместного проектирования и совместной оптимизации RAN и транспортной сети с помощью стандартизированных интерфейсов.

В частности, гибкая централизация, реализуемая через RANaaS, потребует динамической адаптации сетевых маршрутов и степени централизации RAN в зависимости от доступных транспортных ресурсов. Помимо прочего, это предполагает необходимость сложной конструкции транспортной сети, которая может доставлять данные к центральному объекту независимо от степени централизации. Это ключевое требование для обеспечения максимальной гибкости при внедрении новых функций в сеть. Однако это также усложняет маршрутизацию и классификацию пакетов данных в соответствии с их качеством обслуживания. Классические алгоритмы распределенной маршрутизации не могут обеспечить такой степени гибкости. Напротив, использование SDN [3] обеспечивает более быструю реакцию на сбой соединения/узла, более эффективное использование доступных ресурсов, а также более легкое и быстрое развертывание новых функций или обновлений, а также эластичные вычисления. Эти преимущества в основном связаны с централизованным экземпляром управления, который упрощает настройку и управление, а также позволяет увеличить вычислительные затраты, поскольку отдельные устройства маршрутизации больше не ограничивают алгоритмическую сложность.

4.3 Эволюция в сторону гибкой архитектуры мобильной сети

Представленная ранее концепция RANaaS и совместная конструкция RAN/транспортной сети повлияют на архитектуру мобильной сети. Тем не менее, по экономическим причинам, архитектуры мобильных сетей 5G, скорее всего, будут развиваться как развитие LTE версии 12 и выше. Следовательно, представленные концепции должны быть максимально прозрачными и совместимыми с сетевой архитектурой 3GPP [9], удовлетворяя при этом эксплуатационные и клиентские требования к производительности. Архитектура мобильной сети требует:

- Поддержки (потенциально динамической) гибкой централизации функций RAN.
- Учет таких критериев, как пропускная способность или аппаратные возможности, потребность в трафике или энергоэффективность, чтобы выбрать оптимальное функциональное разделение.
- Предлагать функцию управления сетью, которая организует и контролирует взаимодействие функций, распределенных по различным сетевым объектам. Рисунок 2 иллюстрирует логическую сетевую архитектуру, которую мы представляем, чтобы учесть ранее введенные концепции. Соединение RANaaS и одного или нескольких RAP образует виртуальный eNB (veNB), который является функциональным эквивалентом eNB в архитектуре 3GPP (терминология LTE для базовой станции) [9]. Функция контроллера veNB (обозначается как veCF), расположенная на платформе RANaaS, отвечает за размещение функций, согласованное выполнение распределенных функций, а также за управление и настройку компонентов veNB. veNB прозрачен для архитектуры 3GPP, поскольку стандартные интерфейсы 3GPP (S1-U, S1-MME, X2) поддерживаются по отношению к базовой сети и другим (v)eNB.

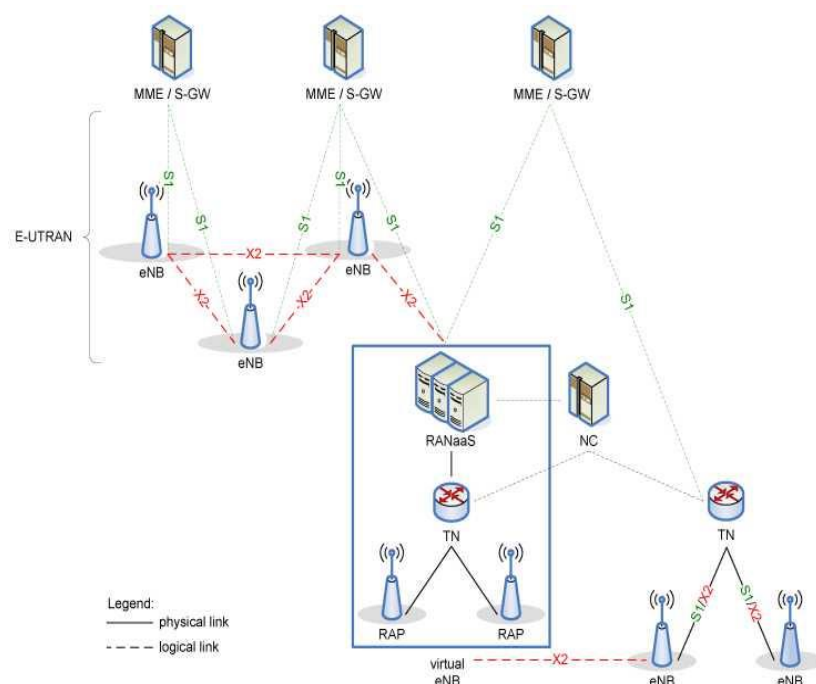


Рис. 2. Эволюция архитектуры в сторону мобильной сети 5G

Передача данных в домене veNB должна учитывать требования различных функций и возможности транспортной сети, связывающей RANaaS и RAP. Это обеспечивает гибкую централизацию функций RAN в зависимости от развертывания и вариантов использования, не затрагивая интерфейсы 3GPP и не раскрывая фактическую степень централизации другим сетевым объектам[1].

Транзитный транспортный узел с поддержкой SDN (обозначаемый TN) должен предоставлять интерфейсы для обмена информацией о возможностях транзита и доступной пропускной способности, которые можно использовать для выбора оптимальной степени централизации. TN управляются сетевым контроллером (обозначается NC) для реконфигурации по запросу и управления маршрутом транспортной сети в сотрудничестве с veCF в рамках платформы RANaaS. Чтобы не раскрывать эту информацию, функции SDN будут использоваться для настройки соответствующего сетевого маршрута, который направляет внутренние интерфейсы veNB к фактическому сетевому объекту, где он должен быть обработан.

4.4 Гибкий радиодоступ

Гибкая централизация функций RAN повлияет на работу стека протоколов 3GPP LTE RAN и может быть ограничена зависимостями внутри стека протоколов. В таблице 1 представлен обзор перспективных функций стека радиопротоколов 3GPP LTE, включая PHY, MAC и RRC, которые можно рассматривать для частичной централизации [2-4].

Централизация функциональности на PHY обеспечивает вычислительное разнообразие, которое напрямую зависит от количества пользователей на RAP. Из-за временных и пространственных флуктуаций вычислительная нагрузка может быть сбалансирована между ячейками. Центральная обработка также позволяет реализовать многоячеичные алгоритмы, чтобы избежать или использовать помехи.

Как указывалось выше, транзитные сети 5G должны быть более гибкими и адаптивными к вариантам использования и фактическому трафику, а также к характеристикам услуг. Это вызывает потребность в эффективной оптимизации всей сети, которая предлагает больше степеней свободы для работы транзитного соединения в зависимости от параметров RAN,

управления активными путями и управления топологией, чтобы обеспечить правильную сеть для интерфейсов 3GPP в зависимости от фактической степени централизации.

Этот подход включает в себя контроллер SDN, который программирует сетевые объекты, находящиеся под его контролем, и динамически изменяет поведение сети. Он реализован как часть NC и обеспечивает необходимые коммуникационные метрики для функционального разделения. При поддержке общесетевых знаний в центральном объекте (NC на Рисунке. 2) нагрузка может быть оптимально распределена между мелкосотовыми сетями. NC имеет точное и актуальное представление о состоянии сети и, следовательно, способен оптимально управлять сетевыми ресурсами и использовать передовые подходы для:

М Управление мобильностью: более плотные сети предполагают более частые передачи обслуживания из-за размера соты. Следовательно, управление мобильностью может больше не зависеть исключительно от качества радиосвязи, но также и от решений по управлению сетью. Подход на основе SDN позволяет сократить время перерыва в обслуживании и расходы на переключение, обеспечивая эффективную балансировку нагрузки.

1) Распределенная привязка и поддержка локального выхода: Существующие централизованные архитектуры 3GPP вызывают высокие требования к трафику в опорных сетях операторов. На основе подхода SDN плоскость пользовательских данных может быть распределена, чтобы обеспечить локальную разгрузку трафика пользовательских данных. С другой стороны, плоскость управления остается логически централизованной в NC, чтобы обеспечить глобальную оптимизацию работы.

2) Оптимизация энергопотребления RAN и транспортной сети: в зависимости от потребности пользователя и состояния сети NC может совместно отключать части RAN и транспортной сети для снижения потребления энергии [5-7].

Использование SDN в сети 5G также создает проблемы. Во-первых, он вводит дополнительные затраты на программирование управления потоком, что требует тщательной разработки алгоритмов управления трафиком [8]. Во-вторых, это нетривиальное решение о том, какая функциональность переносится на контроллер, а какая по-прежнему выполняется на сетевых устройствах. В-третьих, необходимо обеспечить несколько контроллеров, что требует механизмов для разделения сети и обеспечения возможности выбора контроллера, а также требуемой масштабируемости и надежности.

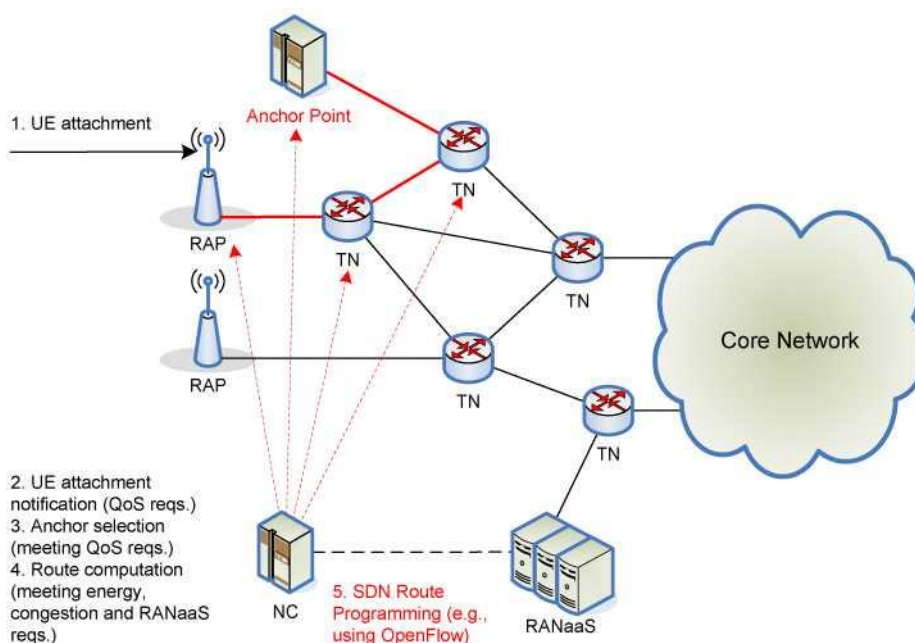


Рис. 3. Управление транспортной сетью на основе SDN

На рис. 3 показано, как может работать подход на основе SDN, на примере процесса подключения UE. Когда терминал подключается к сети (шаг 1), он указывает требуемое качество обслуживания (QoS) (или запущенное приложение (шаг 2)) [10-12]. Основываясь на требуемом QoS, NC сначала должен выбрать точку привязки, которая соответствует требованиям (шаг 3). На основе выбранной точки привязки, требуемого QoS и текущего состояния сети NC определяет оптимальный маршрут с учетом энергопотребления в RAN и транспортной сети, перегрузки и требований veNB (шаг 4). Наконец после того, как маршрут рассчитан, он программируется внутри сети через интерфейс между NC и задействованными TN, например, с использованием OpenFlow или его расширений (шаг 5).

Заключение

В этой статье обсуждалась новая концепция RANaaS, которая использует облачные технологии для реализации гибкого функционального разделения в мобильных сетях 5G, что позволяет оптимизировать использование спектральных, энергетических и вычислительных ресурсов в сверхплотных развертываниях [13-15]. Мы обсудили эволюцию архитектуры по сравнению с 3GPP LTE, обрисовали в общих чертах проблемы и потенциальные технологии для реализации этого функционального разделения, а также описали потенциальные выгоды. Внедрение RANaaS позволит повысить гибкость развертывания RAN в условиях гомогенной и гетерогенной транспортной сети. Принимая во внимание изменяющиеся требования к услугам мобильных сетей 5G, подход RANaaS был определен как гибкая эволюция сетей 4G, таких как 3GPP LTE, которая способна интегрировать и поддерживать множество технологий радиодоступа, услуг и стратегий развертывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. G. P. Fettweis, «A 5G Wireless Communications Vision» *Microwave Journal*, December 2017.
2. R. Baldemair, E. Dahlman, G. Fodor, G. Mildh, S. Parkvall, Y. Selen, H. Tullberg, and K. Balachandran, «Evolving Wireless Communications: Addressing the Challenges and Expectations of the Future» *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol.8, no.1, pp. 24-30, March 2018.
3. Open Networking Foundation, «Software-Defined Networking: The New Norm for Networks», [online document], White Paper, Apr 2017. Режим доступа: <https://www.opennetworking.org/images/stories/downloads/white-papers/wp-sdn-newnorm.pdf>. (дата обращения: 26.10.2022).
4. D. Sabella, P. Rost, Y. Sheng, E. Pateromichelakis, U. Salim, P. Guitton-Ouhamo, M. Di Girolamo, and G. Guiliani, «RAN as a Service: Challenges of designing a flexible RAN architecture in a cloudbased heterogeneous mobile network» *2018 Future Networks Summit*, July 2018, Lisbon, Portugal.
5. Cisco, «Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2017-2017» [online document], White Paper, May 2018. Режим доступа: http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-481360.pdf (дата обращения: 26.10.2022).
6. M. Dohler, R. Heath, A. Lozano, C. Papadias, and R. Valenzuela, «Is The PHY Layer Dead?», *IEEE Communications Magazine*, vol. 49, no. 4, pp. 159-165, April 2016.
7. NGMN, «Suggestions on Potential Solutions to C-RAN by NGMN Alliance» [online document], January 2018. Режим доступа: http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_CRAN_Suggestions_on_Potential_Solutions_to_CRAN.pdf (дата обращения: 26.10.2022).
8. P. Mell and T. Grance, «The NIST Definition of Cloud Computing. National Institute of Standards and Technology» National Institute of Standards and Technology, [online document], Sep 2016. Режим доступа: <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-145/SP800-145.pdf>. (дата обращения: 26.10.2022).
9. 3GPP TS 36.300 (v11.6.0), «Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and

Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN): Overall Description; Stage 2 (Release 11) » July 2018.

11. INFISO-ICT-317941 iJOIN, «D2.1: State-of-the-Art of and promising candidates for PHY layer approaches on access and backhaul network» Режим доступа: <http://www.ict-ijoin.eu/wp-content/uploads/2019/01/D2.1.pdf>. (дата обращения: 27.10.2022)

12. G. Caire and R. Muller, «The optimal received power distribution of IC-based iterative multiuser joint decoders», in Proc. 39th Annual Allerton Conference on Communications, Control and Computing, Monticello, IL, USA, October 2001.

13. H. Paul, B.-S. Shin, D. Wubben, and A. Dekorsy, «In-network processing for small cell cooperation in dense networks» in *IEEE VTC2018-Fall Workshop (CLEEN 2018)*, Las Vegas, USA, September 2018.

14. Хаджиева Л. К., Мальцагов Х. Х. Анализ технологии «Интернет вещей» (IoT) и ее роль в «Умном доме» // Вестник ГГНТУ. Технические науки». Том: XV, номер: 4 (18), Грозный 2019 г.

15. Минцаев М. Ш., Алисултанова Э. Д., Усамов И. Р. Технологии машинного обучения в современной образовательной среде // Вестник ГГНТУ. Гуманитарные и социально-экономические науки. Том: XVIII, номер: 3 (29), Грозный 2022

CLOUD TECHNOLOGIES FOR FLEXIBLE 5G RADIO ACCESS NETWORKS

© *A.I. Dadaev, I.U. Khashumov, Z.S. Zanaeva, Abdulaev I.Kh.*

GSTOU named after M.D. Millioshchikov, Grozny

The evolution of 5G mobile networks will be characterized by an increase in the number of wireless devices, increasing complexity of devices and services, and the need for ubiquitous access to mobile services. Two key factors will enable the 5G vision to materialize: very dense deployment and centralized processing. This article discusses the design challenges and requirements for 5G mobile networks based on these two key factors. It discusses how cloud computing and flexible assignment of functions in radio access networks enable network densification and centralized operation of the radio access network in heterogeneous backhaul networks. The article describes the basic concepts, shows how to evolve the 3GPP LTE architecture, and describes the expected benefits.

Keywords: radio access network, ultra-dense deployment, centralized processing, cloud computing, 3GPP LTE, 5G, heterogeneous backhaul network, SDN.