

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И БЕСШОВНОСТИ СЕТИ LTE МЕТОДАМИ SDN

© Садыков И.С., Хашумов И.У., Занаева З.С.

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

Мобильность пользовательского оборудования (UE) в сотовой сети является сложной задачей с точки зрения контроля и управления. Текущая традиционная передача обслуживания в сети Long-Term Evolution (LTE) управляется усовершенствованным узлом В или eNodeB (eNB), который представляет собой децентрализованное решение. В отличие от существующей технологии, программно-определяемая сеть (SDN) имеет возможность обслуживать пакеты коммутационного оборудования без участия контроллера SDN, за исключением первого. В соответствии с нашим решением «бесшовный» переход активного мобильного устройства из зоны действия одной базовой станции в зону действия другой без разрыва соединения – так называемый «хэндовер» (handover) управляется контроллером SDN, который отслеживает общее управление сетью и диктует записи потоков для коммутаторов OpenFlow в сети. Из результатов исследования будет видно, что наш подход отслеживает всю сеть на централизованном контроллере с улучшенной производительностью.

Ключевые слова: пользовательское оборудование (UE), сеть радиодоступа (RAN), хэндовер, eNB, SDN, LTE

Введение

С быстрым ростом телекоммуникационной отрасли поколения мобильных сетей превратились в несколько поколений 1G, 2G, 3G, 4G и 5G, где G означает поколение, а числа 1, 2, 3, 4 и 5 представляют номер поколения. Анализ производительности хэндоверов на основе SDN в сети LTE усиливает потенциальные проблемы пользователей, такие как принятие решений об автономных мобильных транспортных средствах (дронах, беспилотных транспортных средствах и т. д.). Объединение сети LTE с технологией SDN является развитием традиционной сети LTE.

Быстрый рост информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) приводит к использованию приложений ИКТ из следующих стандартов в отрасли электросвязи:

- 1) Глобальная система мобильной связи (GSM), которая охватывает стандарты 2G и 2,5G, включая общую службу пакетной радиосвязи (GPRS) и повышенную скорость передачи данных для развития GSM (EDGE).
- 2) Универсальные системы мобильной связи (UMTS) и соответствующие стандарты 3G, включая высокоскоростной пакетный доступ (HSPA) и высокоскоростной пакетный доступ плюс (HSPA+)
- 3) Long-Term Evolution (LTE) и его расширенные версии, включая стандарты 4G, LTE Advanced и LTE Advanced Pro.
- 4) 5G New Radio (NR) — это новая технология радиодоступа (RAT) и связанные с ней стандарты 5G.

1. Традиционное представление архитектуры сотовых сетей

Мобильная связь состоит из нескольких частей в мобильной сети: мобильного пользовательского оборудования (UE), сети радиодоступа (RAN) и базовой части мобильной сети.

В мобильной сети используется различное пользовательское оборудование. Это пользовательское оборудование имеет двойные беспроводные интерфейсы для подключения к сотовым сетям, а также к сетям Wi-Fi в зависимости от доступности этих сетей. Мобильные

телефоны, столы, ноутбуки и устройства IoT относятся к категории беспроводного и мобильного пользовательского оборудования.

В части RAN мобильных сетей доступны различные типы узлов базовых станций. По мере того, как со временем мобильные сети развивались от 2G (GSM) к 3G (UMTS), 4G (LTE) и 5G (NR), в мобильных сетях RAN в этих поколениях сотовых сетей используются различные типы базовых станций для обеспечения беспроводное подключение к беспроводным устройствам мобильных пользователей.

В мобильной сети 2G она называлась базовой приемопередающей станцией (BTS). В мобильной сети 3G или универсальной системе мобильной связи (UMTS) или усовершенствованной сети наземного радиодоступа UMTS (eUTRAN) он называется NodeB, который соединяется с контроллером радиосети (RNS). В мобильной сети 4G (LTE) он называется eNB. Итак, в мобильной сети 4G eNB выполняет две задачи, которые NodeB и RNC выполняют вместе в мобильной сети 3G (UMTS) [1].

(v). Базовая мобильная сеть 4G (LTE). LTE — это телекоммуникационный стандарт беспроводной широкополосной связи. Развитие и развитие LTE шло по пути, основанному на GSM/EDGE/UMTS/HSPA/HSPA+. LTE является зарегистрированным товарным знаком Европейского института стандартов электросвязи (ETSI). Скорость передачи данных по нисходящему каналу составляет 300 Мбит/с, а по восходящему — 75 Мбит/с. LTE обеспечивает бесшовную поддержку передачи голоса и данных для технологий GSM, UMTS и CDMA2000.

Evolved Packet Core (EPC) — это расширенная функция LTE, которая обеспечивает возможность голосовых вызовов в LTE, называемых вызовами VoLTE или 4G, и работает с подсистемой IP-мультимедиа (IMS). VoLTE является дополнительным преимуществом для обеспечения голосовых вызовов в сетях 4G и Wi-Fi в зависимости от доступности сети 4G или Wi-Fi.

Для передачи обслуживания между технологиями технология 2G/3G расширяется за счет добавления различных объектов, включая объект управления мобильностью (MME), обслуживающий шлюз (S-GW), шлюз сети пакетной передачи данных (PDN-GW), домашний абонентский сервер (HSS) и политику. и Функция правил тарификации (PCRF) в EPC 3G/4G.

(vi) Базовая сеть мобильной связи 5G. Развертывание 5G может осуществляться двумя возможными способами. Во-первых, это автономное развертывание, в котором используется независимая базовая сеть 5G с новой радиостанцией 5G (NR). Этот подход сейчас не очень распространен, потому что это нерентабельное решение, но в будущем он может полностью заменить сеть LTE. Во-вторых, это неавтономное развертывание, при котором оператор использует улучшенную базовую сеть LTE вместе с новым 5G NR. Это дает операторам мобильной связи возможность использовать свою текущую архитектуру LTE. Этот подход используется в настоящее время обычно.

Наряду с обычным использованием мобильных приложений 5G также обеспечит эффективное решение для облачных технологий и приложений IoT оптимизированным образом. С технологическим прогрессом все больше и больше приложений основаны на облаке, и эти приложения требуют малой задержки, которую может эффективно поддерживать 5G [2]. Основные вклады этой статьи можно резюмировать следующим образом:

1) Мы предлагаем стратегию передачи обслуживания в сети LTE с различными подходами, которые обеспечивают программируемые средства с использованием технологии SDN.

2) Мы даем простой метод расчета, чтобы показать и доказать эффективность передачи обслуживания, полученную с помощью предложенной модели и метода.

3) Чтобы отразить предпочтения пользователя в отношении задержки и скорости передачи данных для достижения более высокой полезности, мы подробно обсудим взаимосвязь между передачей обслуживания и анализом производительности сети LTE с использованием традиционного подхода и подхода SDN. Наконец, мы представляем концепцию приемлемой производительности передачи обслуживания и ее оптимизацию.

4) (iv) Чтобы защитить наилучшие характеристики передачи, мы настроили экспериментальную процедуру в Network Simulator-3 (ns-3).

Оставшаяся часть этой статьи организована следующим образом. Мы представляем обзор литературы в Разделе 2 и предлагаем модель передачи обслуживания на основе SDN в Разделе 3. В этом исследовании мы сосредоточились на методах SDN в сети LTE. Контроллер SDN позволяет повысить производительность хэндоверов в различных ситуациях и условиях. В Разделе 4 мы исследуем технические усовершенствования посредством необходимых экспериментов и результатов. В этом разделе также представлен анализ результатов, полученных из предложенных традиционных подходов и подходов на основе SDN. В Заключение мы обсуждаем проблемы предлагаемой модели с новыми технологиями на основе SDN.

2. Обзор тематической литературы

Согласно стандартам 3GPP, проблемы с задержкой во время разгрузки могут быть решены, если 3GPP применяет агрегацию LTE-WLAN (LWA). В документе [3] предложен подход на основе SDN для LWA, названный LWA в SDN Assistance (LWA-SA), который поддерживает решение проблем с задержкой во время проблем с разгрузкой и передачей обслуживания. При таком подходе LWA-SA максимизирует пропускную способность пользовательского оборудования, а SDN надлежащим образом инициирует агрегацию между LTE и оптимальной точкой доступа (AP) беспроводной локальной сети (WLAN), что позволяет избежать частых повторных подключений и лишения услуг.

В [4] показано, что распределенная координация между совмещенными беспроводными доменами с использованием одной или нескольких радиотехнологий (таких как Wi-Fi и LTE) поддерживает поставщика услуг для совместного использования клиентской инфраструктуры. В наши дни большая часть хэндовер-трафика перенаправляется с сотового спектра LTE на Wi-Fi, предоставляемый точками доступа.

Основной целью протокола инициации сеанса (SIP) является поддержка протоколов управления мобильностью для оптимизации процесса передачи обслуживания между гетерогенными сетями вертикальной передачи обслуживания (VHO), такими как Wi-Fi. Несмотря на методы оптимизации, хэндовер занимает больше времени с SIP, но статья [5] фокусируется на минимизации времени хэндовера с использованием вертикальной архитектуры хэндовера без SIP.

Согласно [6] оценивается производительность использования Интернета с использованием VHO между сотовой сетью и WLAN. Когда скорость передачи данных в WLAN больше, чем в сотовой сети, VHO увеличивает пропускную способность.

Для улучшения производительности сети и задержки передачи обслуживания в мобильной среде было бы лучше интегрировать управление передачей обслуживания с SDN, поскольку концепция SDN упрощает архитектуру и дизайн интегрированной системы [7]. Кроме того, SDN представляет механизмы для улучшения соединений, мобильности клиентов, балансировки нагрузки и управления сетью WiFi. Что касается оценки эффективности механизмов ассоциации передачи обслуживания, то SDN сыграла важную роль во время интеграции, включая Mininet-Wi-Fi. В этом механизме передачи авторы измеряют три показателя производительности, т. е. передачу (КБ), джиттер (мс) и потерю пакетов (%). С расширением до Mininet как самой популярной среды эмуляции SDN в статье [8] утверждается, что производительность Least-Loaded-First (LLF) является лучшим результатом, чем Strongest-Signal-First (SSF). Но Mininet-Wi-Fi не обеспечивает поддержку сети LTE.

Согласно [9], авторы внедрили бесшовную передачу обслуживания на основе виртуализации в WLAN для улучшения бесшовной мобильности. Кроме того, они предложили конвергентную архитектуру на основе SDN, включая сети WLAN и LTE, и разработали рабочий процесс передачи обслуживания, который позволяет измерять бесшовную конвергенцию во время бесшовной мобильности. В статье [10] предложен метод бесшовного

хэндовера для гетерогенных беспроводных сетей, основанный на архитектуре SDN. В этом методе развертывание плоскости управления SDN поддерживает сбор сетевых атрибутов и информации о мобильности в реальном времени для расчета целевой сети, тем самым сокращая количество ненужных хэндоверов и уменьшая задержку хэндовера. Здесь процесс нечеткой аналитической иерархии (ФАНР) и протокол управления многопутевой передачей (МРТСП) применяются для выбора наиболее подходящей целевой сети и выполнения бесшовной передачи обслуживания соответственно. Метод бесшовной передачи обслуживания на основе ФАНР и МРТСП в LTE и WLAN предлагается для нескольких сценариев обслуживания. Алгоритм выбора сети на основе ФАНР и механизм передачи обслуживания на основе МРТСП поддерживают комплексное решение и непрерывность обслуживания во время передачи соответственно.

Оригинальный контроллер SDN расширяет возможности обработки хэндовера и упрощает трафик между беспроводными интерфейсами на одном узле. Расширенный контроллер SDN доказывает, что он обеспечивает многообещающее решение для передачи обслуживания в гетерогенной беспроводной сети [11]. При рассмотрении хэндовера между двумя интерфейсами Wi-Fi потери пакетов были меньше, но при хэндовере между Bluetooth и Wi-Fi скорость потери пакетов увеличилась до 37,2%.

Алгоритм межуровневого переключения OpenFlow для SDWN помогает контроллеру эффективно функционировать и снижает потерю пакетов во время переключения [12]. Это также сводит к минимуму сложность аппаратного обеспечения и сценарии отказа контроллера, возникающие из-за высокой нагрузки управляющего трафика и/или плохого качества канала. Авторы в [13] представили иерархический MIPv6 на основе SDN (HMIPv6) в качестве предлагаемого подхода для улучшения передачи обслуживания в сетях HMIPv6. Основная цель здесь — уменьшить участие мобильного узла (MN) в процессе передачи обслуживания, сохраняя при этом преимущества многоуровневой архитектуры HMIPv6.

Хотя в статье [14] основное внимание уделяется аутентификации хэндовера с помощью SDN, метод, используемый для разработки аутентификации хэндовера, полезен для гетерогенной сети на основе 5G (HetNet) и других сетей. Сеть 5G HetNet на основе SDN, которая поддерживает большое количество малых сот с низким энергопотреблением, включая пикосоты, фемтосоты, микросоты и другие точки доступа, как и Wi-Fi, развернутые в зоне действия макросоты.

Виртуальное представление MN (vMN) не только поддерживает процесс передачи обслуживания физических MN, но также действует как прокси для быстрой доставки информации другим ближайшим MN. Здесь контроллер SDN упрощает и эффективно управляет обработкой и процедурами передачи обслуживания. В средах vMN контроллер SDN использует эту информацию для улучшения оптимизированных решений о передаче обслуживания, которые влияют на технологически независимый механизм управления мобильностью потока для гетерогенных сетей [15]. Согласно [16], мобильные SDN (M-SDN) сокращают время паузы трафика, вызванное инициированной хостом передачей обслуживания уровня 2, рассматриваемой в корпоративной сети на основе SDN.

4. Результаты симуляции и анализа

На графике ниже (рис. 4) показана задержка, с которой столкнулось приложение для потоковой передачи видео в сценарии А при выполнении традиционной передачи обслуживания LTE. Для результатов, представленных далее (рис. 4), время моделирования (SimTime) показано по оси X, а время задержки взято по оси Y. Все прогоны моделирования, представленные здесь, взяты для времени от 1 до 4 секунд (сек). Отметим, что хэндовер начался со 2 секунды и завершился на 3 секунде.

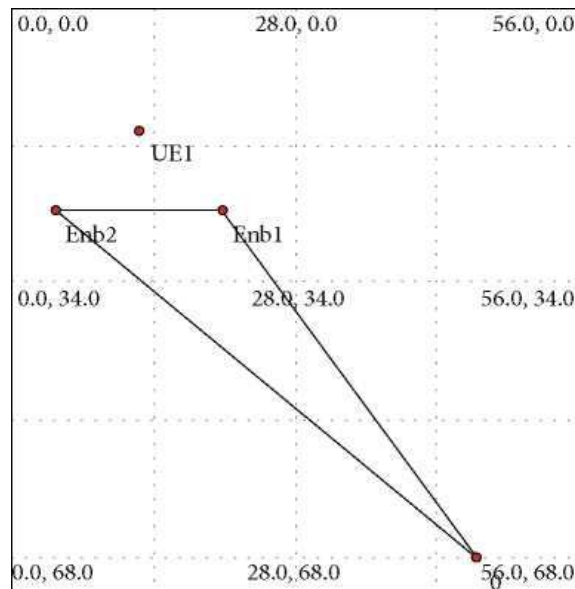


Рис. 1. Традиционная топология сети LTE

Задержка незначительна, что особенно заметно только во время передачи обслуживания UE1 от Enb2, т. е. (eNB2), к Enb1, т. е. (eNB1). В начале хэндовера наблюдалась задержка 0 сек, которая увеличилась в процессе хэндовера до $7:575 \times 10^{-8}$ сек. Чистое увеличение задержки составило $7:575 \times 10^{-8}$ секунд в случае традиционной передачи обслуживания LTE. Через 3 секунды после завершения передачи задержка стабилизируется.

Ниже (рис. 5) показана задержка, с которой столкнулось приложение потоковой передачи видео в сценарии В при выполнении передачи обслуживания LTE на основе SDN. Вертикальная ось показывает время задержки, а горизонтальная ось показывает SimTime. Моделирование для этого сценария В проводилось от 1 до 6 секунд. Хэндовер LTE на основе SDN выполняется в течение 2–4 секунд.

Первоначально задержка перед передачей обслуживания была очень низкой во время моделирования от 1 до 2 секунд, т. е. $8:892 \times 10^{-7}$ секунд. Несмотря на очень незначительное увеличение задержки во время передачи, достигающее $2:789 \times 10^{-4}$ с, чистое увеличение задержки во время передачи составило $2:779 \times 10^{-4}$ с. Кроме того, очевидно, что чистое увеличение задержки при передаче обслуживания на основе SDN больше, чем при традиционной передаче обслуживания LTE. Одна из возможных причин заключается в том, что изначально таблица потоков отсутствует из-за отсутствия записей потоков, и S-GW связывается с контроллером SDN, чтобы получить записи потоков, чего не происходит при традиционном хэндовере. После завершения передачи обслуживания через 4 секунды задержка начинает уменьшаться. Это дополнительное преимущество использования технологии SDN по сравнению с традиционной сетью LTE, которая стабилизируется даже после завершения передачи. Уменьшение задержки в сети LTE на основе SDN после завершения хэндовера связано с попаданием в таблицу потоков для последующих пакетов для потока того же приложения.

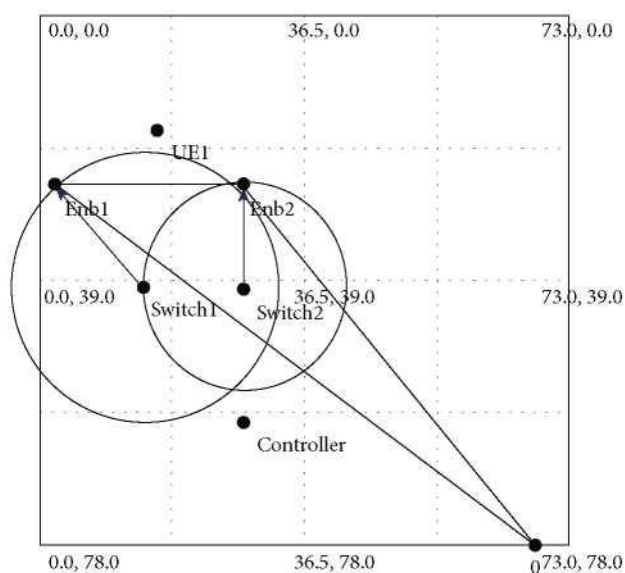


Рис. 2. Топология сети LTE на базе SDN

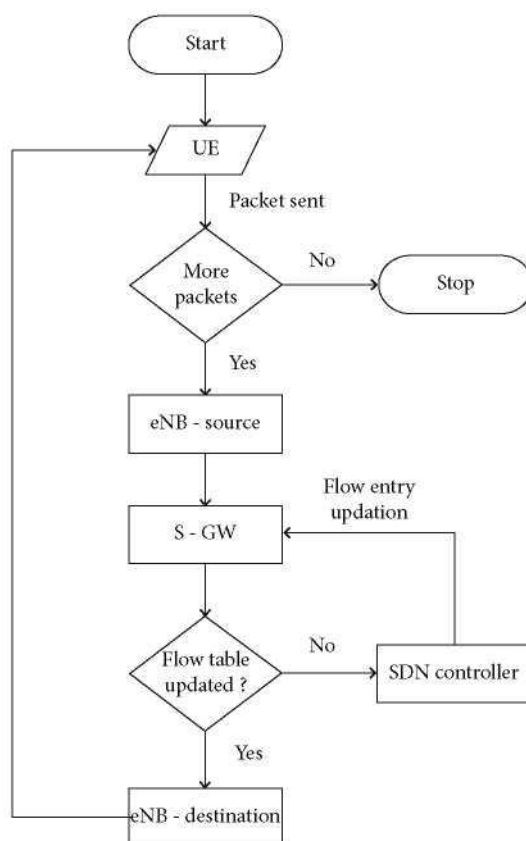


Рис. 3. Алгоритм работы предлагаемой модели

Подводя итог вышеприведенным результатам, можно сделать вывод, что причиной более высокой задержки при хендвере LTE на основе SDN является отсутствие начальных записей потоков в таблицах потоков коммутаторов OpenFlow (S-GW).

Когда первый пакет потока приложений получен на S-GW, на котором пропущена таблица маршрутизации, и первый пакет отправляется контроллеру SDN для получения записи потока от контроллера SDN, позже для последующих пакетов того же потока приложения задержка будет уменьшена, поскольку S-GW на основе OpenFlow будет иметь записи потока в своей таблице потоков.

Таким образом, можно сказать, что эта более высокая задержка возникает при получении записей потока от контроллера SDN и добавляется к общей задержке передачи обслуживания LTE на основе SDN. В противном случае хэндовер на основе SDN имеет меньшую задержку по сравнению с традиционным хэндовером LTE в целом.

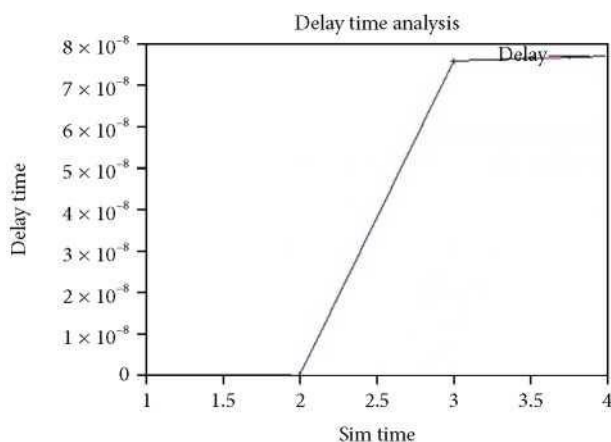


Рис. 4. Традиционная задержка передачи обслуживания LTE

На графике (рис. 6) показана скорость передачи данных в традиционной сети LTE при выполнении хэндовера в сценарии А. По оси X отложено время SimTime в секундах, а по оси Y — скорость передачи данных в килобитах в секунду (кбит/с). Моделирование выполнялось от 1 до 4 секунд. Традиционный хэндовер выполняется в течение 2-3 секунд.

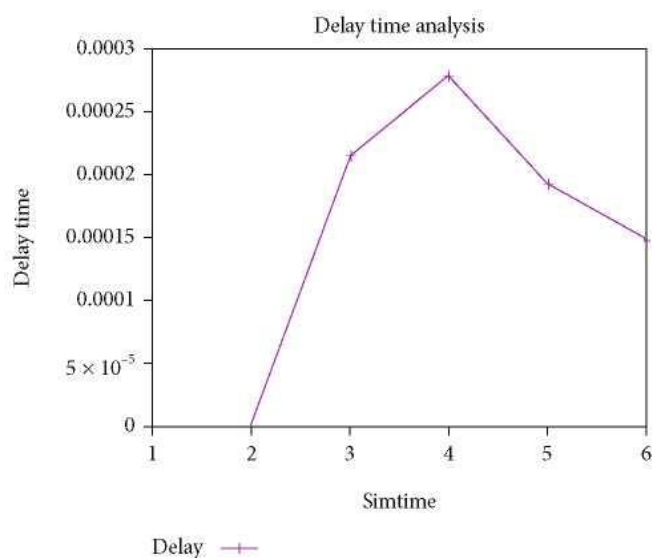


Рис. 5. Задержка передачи обслуживания LTE на основе SDN

Во время моделирования от 1 до 2 секунд скорость передачи данных быстро возрастала с 8,219 кбит/с до 16,437 кбит/с. Позже, когда традиционная передача обслуживания LTE выполняется в течение метки времени от 2 до 3 секунд, скорость передачи данных все еще увеличивается, но увеличение скорости передачи данных является относительно меньшим по сравнению с первоначальным увеличением. Значение скорости передачи данных увеличилось с 16,437 кбит/с до 19,375 кбит/с. Из этих результатов видно, что чистое увеличение скорости передачи данных перед передачей обслуживания составило 8,219 кбит/с, тогда как во время передачи чистое увеличение скорости передачи данных замедляется до 2,938 кбит/с. Как

только передача обслуживания завершается через 3 секунды, скорость передачи данных еще больше снижается с чистым увеличением на 1,523 кбит/с, и ожидается, что она стабилизируется, как показано на графике ниже (рис. 6), в какой-то более поздний момент времени.

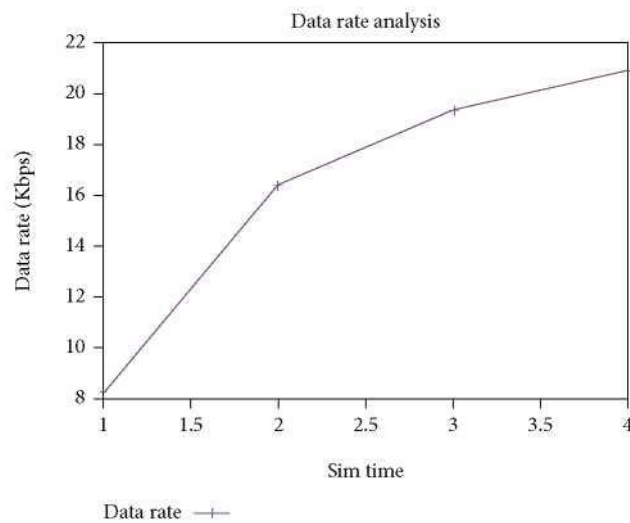
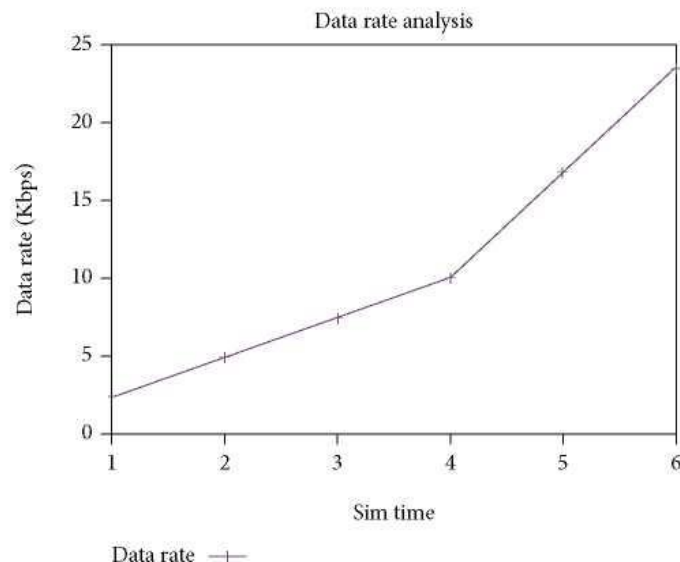


Рис. 6. Пропускная способность традиционных LTE

На графике (рис. 7) показана скорость передачи данных при передаче обслуживания LTE на основе SDN, выполненной в сценарии В. По горизонтальной оси отложено SimTime в секундах, а по вертикальной оси — скорость передачи данных в килобитах в секунду (кбит/с). Моделирование выполнялось от 1 до 6 секунд. Хэндовер на основе SDN выполняется в течение 2-4 секунд.



Первоначально, до начала процесса хэндовера, скорость передачи данных увеличивалась с 2,406 кбит/с до 4,812 кбит/с в течение 1-2 секунд. Чистый прирост за этот период составил 2,406 кбит/с. Кроме того, скорость передачи данных продолжала увеличиваться, пока передача обслуживания выполнялась во время моделирования от 2 до 4 секунд, с 4,812 кбит/с до 9,937 кбит/с. Чистое увеличение во время передачи составляет 5,125 кбит/с. Как только передача

обслуживания завершена через 4 секунды, скорость передачи данных начинает увеличиваться быстрее до 6 секунд; он достиг значения 23,468 кбит/с. Это показывает несколько зависимостей:

1) Передачи на основе SDN в беспилотных транспортных средствах. Использование поддержки конфигурации SDN обеспечивает множество улучшений в автоматизации средств передачи обслуживания.

2) Мобильность дронов и взаимодействие. Выбор соты и измерения передачи для взаимодействия дронов зависят от эффективной сети LTE, созданной с помощью технологии SDN. Измерения мобильности и передачи дронов зависят от высоты и высоты, поскольку эти основные параметры изменяют частоту передачи в зависимости от окружающих и физических условий [17].

3) Высокая вероятность передачи. Многие движущиеся объекты зависят от множества условий окружающей среды, которые влияют на точность измерений передачи.

Эти проблемы могут быть решены с помощью предложенной нами модели без каких-либо серьезных изменений. Это означает, что наследие предлагаемых методов будет одинаковым в этих задачах.

Хэндовер LTE на основе SDN меньше повлиял на увеличение скорости передачи данных во время хэндовера. Во время хэндовера LTE на базе SDN снижения не происходит, как это было при традиционном хэндовере LTE (рис. 6).

Результаты, полученные в результате наших экспериментов, обещают, что метод передачи обслуживания, используемый в предлагаемой модели, эффективен, и эта модель позволяет нам создавать некоторые проблемы в будущих вариантах использования.

Методы хэндовера развиваются вместе с новыми технологиями на основе SDN, которые повышают эффективность и чувствительность хэндовера в автономных устройствах, таких как беспилотные транспортные средства.

Рис. 7. Скорость передачи данных LTE на основе SDN

Заключение

Используя предложенные и существующие архитектуры, мы рассчитали задержку и скорость передачи данных в традиционных сетях LTE и сетях SDN на основе SDN во время передачи обслуживания UE от одного eNB к другому eNB.

Согласно результатам, представленным в Разделе 4, видно, что задержка при передаче обслуживания в традиционных сетях LTE и SDN на основе LTE увеличивается, но это приращение в сети LTE на базе SDN меньше, чем в традиционной сети LTE. Кроме того, из представленных результатов видно, что скорость передачи данных в сети LTE на основе SDN увеличивалась быстрее, чем в традиционной сети LTE. Это указывает на то, что даже если начальная задержка добавляется к общей задержке в сети LTE на основе SDN из-за отсутствия записей потоков в таблицах потоков коммутаторов OpenFlow в начале, производительность хэндовера LTE на основе SDN лучше, чем традиционное «бесшовное» обслуживание LTE с точки зрения общей задержки и скорости передачи данных.

В будущем эти сценарии могут быть расширены за счет включения передачи обслуживания по межбеспроводной технологии между сетями Wi-Fi и LTE в контексте задержки передачи и скорости передачи данных. Другими направлениями, в которых эта работа может быть расширена, являются сети 5G+ и 6G с/без M-SDN для повышения производительности беспроводных технологий в будущих коммуникациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Commsbrief and A Ghayas, What is the Difference between NODE B, ENODEB, and GNB, 2019. Режим доступа: <https://commsbrief.com/what-is-the-difference-between-node-b-enodeb-ng-nb-and-gnb/> (Дата обращения: 25.10.22).
2. Commsbrief and A Ghayas, What Is a Mobile Core Network, 2019. Режим доступа: <https://commsbrief.com/what-is-a-mobile-core-network/> (Дата обращения: 25.10.22).
3. S. Anbalagan, D. Kumar, G. Raja, W. Ejaz, and A. K. Bashir, "SDN-assisted efficient LTE-WiFi aggregation in next generation IoT networks," *Future Generation Computer Systems*, vol. 107, pp. 898-908, 2020.
4. P. Karimi, W. Lehr, I. Seskar, and D. Raychaudhuri, "SMAP: a scalable and distributed architecture for dynamic spectrum management," in *2018 IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN)*, pp. 1-10, Seoul, Korea (South), 2018.
5. J. Vijayshree and T. Palanivelu, "Vertical handover triggering between WLAN and WIMAX using sip," in *2014 IEEE International Conference on Advanced Communications, Control and Computing Technologies*, pp. 769-774, IEEE, Ramanatha-puram, India, 2014.
6. S. Suboosnan and S. Pattaramalai, "Performance evaluation of vertical handover on Bangkok mass transit system," in *International Conference on Frontiers of Communications, Networks and Applications (ICFCNA 2014-Malaysia)*, Kuala Lumpur, 2014.
7. R. Bencel, K. Kost'al, I. Kotuliak, and M. Ries, "Common SDN control channel for seamless handover in 802.11," in *2018 Wireless Days (WD)*, pp. 34-36, IEEE, Dubai, United Arab Emirates, 2018.
8. H. T. Larasati, F. H. Ilma, B. Nuhamara, A. Mustafa, R. Hakimi, and E. Mulyana, "Performance evaluation of handover association mechanisms in SDN-based wireless network," in *2017 3rd International Conference on Wireless and Telematics (ICWT)*, pp. 103-108, IEEE, Palembang, Indonesia, 2017.
9. L. Wang, Z. Lu, X. Wen, G. Cao, X. Xia, and L. Ma, "An SDNbased seamless convergence approach of WLAN and LTE networks," in *2016 IEEE Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference*, pp. 944-947, IEEE, Chongqing, China, 2016.
10. H. Tong, X. Liu, and C. Yin, "A FAHP and MPTCP based seamless handover method in heterogeneous SDN wireless networks," in *2019 11th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, pp. 1-6, IEEE, Xi'an, China, 2019.
11. T. Nguyen-Duc and E. Kamioka, "An extended SDN controller for handover in heterogeneous wireless network," in *2015 21st Asia-Pacific Conference on Communications (APCC)*, pp. 332-337, IEEE, Kyoto, Japan, 2015.
12. Y. Reddy, D. Krishnaswamy, and B. Manoj, "Cross-layer switch handover in software defined wireless networks," in *2015 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, pp. 1-6, IEEE, Kolkata, India, 2015.
13. S. F. Hasan, "A discussion on software-defined handovers in hierarchical MIPv6 networks," in *2015 IEEE 10th Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, pp. 140144, IEEE, Auckland, New Zealand, 2015.
14. J. Cao, M. Ma, Y. Fu, H. Li, and Y. Zhang, "CPPHA: capabilitybased privacy-protection handover authentication mechanism for SDN-based 5G HetNets," *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, vol. 18, no. 3, pp. 1182-1195, 2019.
15. F. Meneses, C. Guimaraes, D. Corujo, and R. L. Aguiar, "Handover initiation comparison in virtualised SDN-based flow mobility management," in *2018 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC)*, pp. 404-409, IEEE, Natal, Brazil, 2018.
16. E. Zeljkovic, N. Slamnik-Krijestorac, S. Latre, and J. M. Marquez-Barja, "ABRAHAM: machine learning backed proactive handover algorithm using SDN," *IEEE Transactions on Network and Service Management*, vol. 16, no. 4, pp. 1522-1536, 2019.
17. Хаджиева Л.К., Чадаева А.Б. Ключевые технологии шлюза безопасности конвергенции ИОТ// Вестник ГГНТУ Технические науки. Научно-технический журнал 2022 Том XVIII №2 (28) С 16-24 2022 г.

THE PERFORMANCE AND SEAMLESSNESS ANALYSIS OF LTE NETWORK BY SDN METHODS USING

© *I.S. Sadykov, I.U. Khashumov, Z.S. Zanaeva*
GSTOU named after acad. M.D. Millionshchikov, Grozny

User equipment (UE) mobility in a cellular network is a complex task in terms of control and management. The current legacy Long-Term Evolution (LTE) network handoff is managed by an evolved Node B or eNodeB (eNB), which is a decentralized solution. Unlike existing technology, software-defined network (SDN) has the ability to serve packets of switching equipment without the participation of the SDN controller, except for the first one. In accordance with our solution, a "seamless" transition of an active mobile device from the coverage of one base station to the coverage of another without breaking the connection - the so-called "handover" (handover) is controlled by the SDN controller, which monitors the overall management of the network and dictates flow records for OpenFlow switches online. From the results of the study, it will be seen that our approach monitors the entire network on a centralized controller with improved performance.

Keywords: user equipment (UE), radio access network (RAN), handover, eNB, SDN, LTE