

Алгоритмы выделения канального ресурса в гетерогенной сети радиодоступа нового поколения

С.С. Полевич¹, О.А. Симонина^{2*}

¹ООО «Бегет»,

Санкт-Петербург, 195112, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций,

Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: olga.simonina@spbgut.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 26.08.2020

Принята к публикации 07.09.2020

Ссылка для цитирования: Полевич С.С., Симонина О.А. Алгоритмы выделения канального ресурса в гетерогенной сети радиодоступа нового поколения // Труды учебных заведений связи. 2020. Т. 6. № 3. С. 28–37. DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-28-37

Аннотация: В статье предложены алгоритмы выделения канальных ресурсов в гетерогенной сети радиодоступа, использующей одновременно частотные ресурсы сети 5G и сети беспроводного доступа нелегализованного диапазона. Показано, что использование балансировщика в такой сети позволит нивелировать проблему взаимного влияния беспроводных технологий, в частности – интерференции. Для реализации алгоритмов предлагается использовать возможности облачной серверной архитектуры.

Ключевые слова: 5G, гетерогенная сеть радиодоступа, канальный ресурс, балансировщик.

Введение

Необходимость модернизации существующих сетей мобильной связи обусловлена ростом трафика, бурным развитием технологий, в том числе автоматизации и удаленного управления объектами, и ростом потребностей пользователя. При этом уже довольно активно ведутся работы по разработке и развертыванию сети сотовой связи нового поколения 5G для обеспечения желаемых показателей – скорости передачи данных, ширине используемого частотного диапазона и многих др.

Одной из важных задач при разработке любой новой технологии является формирование целевой функции сети. Согласно [1], в сетях пятого поколения планируется работа значительного количества устройств, в том числе всевозможных датчиков с высокими требованиями по надежности и пропускной способности. Использование устройств IoT (*от* англ. Internet of Things – Интернета вещей) приведет к еще большему росту трафика, и, как следствие, к более высоким требованиям к сетям нового поколения. В [2] на основании таких прогнозов формируются требования к сетям сотовой связи нового поколения, а также целевые функции сети: повышение пропускной способности; уменьшение задержек (< 1 мс); увеличение количества одновременных подключений устройств к

сети оператора; расширение частотного спектра; поддержка большого количества классов качества обслуживания; обеспечение надежной защиты передаваемых данных; постоянная доступность сети; легкость внедрения новых услуг и технологий; снижение количества наращиваемой аппаратной инфраструктуры; эффективное использование ресурсов сети; эффективная доставка контента; снижение энергопотребления абонентскими терминалами; динамическая конфигурируемость сети и т. д.

Операторы сотовой связи мотивируют свою деятельность получением прибыли от предоставления услуг сотовой связи, поэтому можно прогнозировать ожидаемые экономически выгодные функции сети нового поколения: уменьшение количества узкоспециализированного оборудования; сокращение сигнального трафика и расходов на него; совместимость сети нового поколения с существующей сетью сотовой связи; новые подходы в использовании или переиспользовании частотного спектра; отсутствие необходимости замены оборудования при переходе к 5G и др.

Решения, предлагаемые ведущими вендорами оборудования 5G, строятся на основании облачных решений, охватывающих все уровни сети от ядра до радиодоступа.

Анализ решений организации нижних уровней 5G

В существующих мобильных сетях абонентские терминалы, размещенные на краю соты, имеют беспроводное соединение более низкого качества, основными причинами чего являются удаленность от обслуживающей базовой станции и повышенный уровень интерференции [3]. Внутри помещений, особенно современной застройки, отличающейся большим количеством отражающих поверхностей, надежность покрытия также остается неудовлетворительной. Поэтому более перспективные сети пятого поколения вынуждены применять агрессивные механизмы переиспользования спектрального ресурса и совершенствовать средства управления интерференцией.

Беспроводной спектр является ключевым ресурсом, однако регулярно отмечается [4], что в силу недостаточной зрелости технологий радиодоступа подходы к управлению спектральными ресурсами в последние десятилетия практически не менялись. Развитие разработок в данном направлении приостанавливается существующей необходимостью контролировать множество параметров радиоспектра, таких, как место и время использования, выделенные радиочастоты, излучаемая мощность и возникающая при этом интерференция, которая строго регулируется. При этом многие из этих параметров регламентированы международным законодательством, и внесение изменений в механизмы управления одним из них повлечет за собой как необходимость изменений в нормативно-правовой базе, так и пересмотр норм и требований к другим параметрам.

В настоящее время существуют следующие способы управления спектром:

- командный, представляющий собой статическое выделение спектральных радиоресурсов, а именно, назначение радиочастот с жестко заданными ограничениями на их использование, например, в военных целях; использование спектра при этом неэффективно, так как выделение ресурса не основано на гибких стратегиях переиспользования, механизмах выделения и конкуренции;

- эксклюзивное пользование спектром – это долгосрочная аренда заданной полосы частот для использования в четко оговоренных целях; задается допустимый диапазон частот, область их использования, а также мощность передачи; данный метод позволяет достичь хорошего качества услуг, но в регионах с высокой степенью проникновения радиослужб существенно затрудняет развитие и внедрение новых технологий;

- общее пользование исходно лицензированным спектром подразумевает предоставление диапазонов частот некоторой лицензированной радиослужбы в пользование другим службам без лицензии; при данном способе управления спек-

тром вторичные службы не могут предоставить какие-либо гарантии на качество обслуживания;

- общее пользование нелицензированным спектром представляет собой использование некоторой полосы частот в открытом доступе. Примерами подобных частотных диапазонов являются полосы сети Wi-Fi, когда пользователи получают совместный доступ к беспроводному спектру без дополнительных препятствий; недостатком такого способа управления спектром является неконтролируемая интерференция, существенно понижающая качество услуг.

Для преодоления негативного влияния замедленного развития способов управления спектром требуется разработка новых механизмов организации доступа к радиочастотам общего пользования [5], а также выделение дополнительного радиоресурса для систем мобильной связи. Таким образом, технология 5G должна сочетать в себе целый ряд усовершенствований и новых функций, чтобы повысить производительность беспроводных решений радиодоступа [6]. Все это позволяет наметить основные шаги в направлении развития гетерогенных сетей радиодоступа.

Во-первых, требуется более тесная интеграция различных технологий радиодоступа. Такие решения уже существуют и представляют собой как взаимодействие микро- и макроуровня в сетях мобильной связи, так и агрегацию *WLAN* и сетей мобильной связи [7, 8]. Во-вторых, требуется уплотнение сети, механизмы которого довольно разнообразны и активно совершенствуются из-за необходимости работы в сетях высокой плотности [9]. В-третьих, требуется использовать прямые соединения между устройствами для разгрузки ядра сети, а также высокие частоты для повышения скорости передачи данных (этот подход, к сожалению, имеет очень ограниченную область применения). Также в сети связи нового поколения предполагается использование массивных многоантенных систем *MIMO* и технологии одновременной передачи и приема данных. Среди перечисленных решений уплотнение сети, массивные системы *MIMO* и связь на крайне высоких частотах, то есть миллиметровых волнах (*mmWave*), были названы «большой тройкой» технологий 5G [10].

Применение *mmWave* становится основным нововведением в системах 5G. Это нововведение должно также обеспечить 20-кратное увеличение производительности за счет широких диапазонов малоиспользуемого спектра, доступного в полосе частот от 30 до 300 ГГц и, в меньшей степени, от 20 до 30 ГГц. Однако при внедрении технологий придется преодолеть некоторые сложности, связанные с распространением миллиметровых волн, такие как потери на трассе, низкие коэффициенты дифракции и проникновения, сильный фазовый шум, поглощение атмосферой, ослабление в

дождь, туман или снег [11]. Несмотря на особенности распространения, крайне высокие частоты возможно использовать для систем связи 5G в различных диапазонах [12]. В частности, предполагается использовать следующие частоты: 28–30, 71–76, 81–86 и 92–95 ГГц [13], а также нелицензированные частоты 60 ГГц, уже давно применяющиеся системами связи IEEE.

Как отмечалось выше, на данном этапе развития сотовые системы, работающие в лицензированном спектре частот, совмещаются с сетями, работающими в нелицензированном спектре, такими как Wi-Fi [14, 15]. В связи с этим современные абонентские терминалы разрабатываются с расчетом возможности использования нескольких технологий радиодоступа [16, 17], что позволяет разгружать сотовые сети посредством прямых соединений между устройствами в нелицензированном спектре [18].

На сегодняшний день многие компании пытаются занять рынок оборудования 5G, несмотря на отсутствие однозначных решений по гармонизации использования спектра. Таким образом, оборудование сетей пятого поколения должно гибко реагировать не только на возможные изменения объема трафика и требований к нему, но и позволять гибко управлять каналным ресурсом как на сети радиодоступа, так и на уровне агрегации и распределения и ядре сети.

Одним из ведущих вендоров в области разработок, адаптированных под сети 5-го поколения, является компания Huawei с проектом Fusion Shere. Fusion Shere – это платформа виртуализации нового поколения, представляющая собой сервер, сетевое оборудование и систему хранения данных в едином корпусе. Согласно анализу [19], современное серверное оборудование не является достаточно мощным и ресурсо-оптимизированным, чтобы стать фундаментом для 5G на основе технологий NFV и SDN. Эту проблему и решает проект Huawei, который отходит от системы кластеров, объединяя серверы в одну целую оболочку. Делается это за счет распределения системы хранения данных. При увеличении количества серверов и хранящейся на них информации производительность сохраняется за счет того, что серверы хранят кэш не в виде физической информации, а в виде хеш-суммы.

По мнению компании ZTE, более высокие требования следует предъявлять к транспортной сети. Таким образом, «Flexhaul» ZTE – это технология организация транспортной сети, которая должна ввести новые транспортные интерфейсы, технологии и возможности управления сетью, адаптированные к различным сетевым архитектурам, а также удовлетворить требования к пропускной способности, задержкам, высокоточной синхронизации. Идея проекта заключается в поддержке изоляции служб (уровень услуг), а гипервизор

распределяет ресурсы между изолированными слоями (уровень логических сетей), но при этом на физическом уровне остаются общие функции управления сетью.

Совместный проект HP и Intel под названием «OpenNFV» представляет собой сервер Carrier-Grade и решение Intel ON Preference Architecture, построенные на основе технологий NFV и SDN для предоставления телематических услуг связи. Функциональные блоки системы и интерфейсы взаимодействия между блоками были взяты из наработок Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI, European Telecommunications Standards Institute) и обеспечивают техническую базу для «Open NFV».

Nokia «Cloud Band» – программное обеспечение и архитектура сетевой инфраструктуры, разработанная компанией NOKIA на основе решений NFV и SDN. Система работает с программным обеспечением Open Stack, имеющим открытый исходный код. Open Stack выполняет роль гипервизора, управляя сетью, распределяя ресурсы и осуществляя контроль за работоспособностью системы в целом. Второй логический элемент системы – это программное обеспечение «Cloud Band Infrastructure Software». Infrastructure Software управляет виртуальными машинами и их созданием. Установка компонентов, как и всей архитектуры, осуществляется посредством панели инструментов CBIS Manager [20].

Таким образом, анализ решений ведущих вендоров показывает, что упор в развитии технологий 5G делается на использование облачных технологий и виртуализации на различных сетевых уровнях. Также имеет смысл отметить активное использование программных решений, обеспечивающих гибкость архитектуры и позволяющих организовать балансировку нагрузки на любом сегменте сети. Результаты анализа характеристик рассмотренных решений приведены в таблице 1.

ТАБЛИЦА 1. Качественные и количественные характеристики решений вендоров

TABLE 1. Qualitative and Quantitative Vendor Solutions Characteristics

| Вендор | Критерий | | | |
|-------------------------|-------------------------------------|----------|--|-------------|
| | Пропускная способность сети, Гбит/с | Задержки | Совместимость с современными решениями | |
| | | | программными | аппаратными |
| Huawei «Fusion Shere» | 54 | < 1 мс | Да | Нет |
| ZTE «Flexhaul» | 100 | < 1 мкс | Нет | Нет |
| HP and Intel «Open NFV» | 10 | < 10 мкс | Да | Да |
| Nokia «Cloud Band» | 10 | < 10 мкс | Нет | Да |

Анализ изменений методов выделения канального ресурса в 5G

Однако гибкое выделение канального ресурса является приоритетной задачей при реализации сценариев обслуживания трафика в сетях пятого поколения. Предполагается, что разнообразные подключенные устройства IoT получают возможность взаимодействовать друг с другом посредством различных технологий радиодоступа. Это обусловлено технологическими решениями и необходимостью удовлетворения целевых функций сети, поэтому понадобится согласованное использование различных радиотехнологий [21], затрагивающее дальнейшее развитие *LTE Advanced* и системы *New Radio (3GPP)* совместно с различными протоколами доступа семейства *IEEE*.

Сеть 5G, как и *LTE*, можно представить в качестве совокупности соединенных между собой станций *gNB* (или *gNodeB* – базовая станция). Радиоинтерфейс между *UE* (от англ. User Equipment – абонентское оборудование) и *gNB* предполагается строить на основе следующих технологий:

- *SCMA* (от англ. Sparse Code Multiple Access) – передача битовых потоков всех пользователей в одном частотном ресурсе, которые преобразуются в кодовое слово посредством кодовой книги;

- *F-OFDM* (от англ. Flexibel OFDM) – усовершенствованный OFDM, с гибким разбиением на поднесущие, с гибким изменением длины символов и циклического префикса; под каждую задачу используется свой набор параметров.

Таким образом, ядро сети сотовой связи нового поколения представляет собой сервер с виртуальными сетевыми элементами. Коммутация между элементами и со всеми узлами сети предполагается посредством API на основе HTTP, что позволяет заменить множество других протоколов, например, *Diameter*. Именно на уровне ядра будет обеспечена функция «*network slice*». Программное обеспечение ядра должно обработать входящий запрос так, чтобы направить его к тем виртуальным элементам сети, которые специализируются на предоставлении соответствующего запросу типа службы/услуг.

При этом к новым сетям относительно *LTE* предъявляются гораздо более жесткие требования к задержкам и пропускной способности.

Для достижения поставленных целей рассматриваются следующие ключевые изменения:

- внедрение и поддержка новых миллиметровых диапазонов, например, согласно *Rel-15 3GPP* будут поддерживаться частоты 37–40 ГГц;

- увеличение полосы пропускания, начиная от 400 МГц и выше;

- варьирование интервала между поднесущими от 15 до 240 кГц в зависимости от частот используемого канала;

- внедрение и поддержка минислотов в кадре: их длительность предполагается меньше чем у слота *LTE*, что позволит уменьшить задержки.

Соответственно, основные методы удовлетворения требованиям 5G – это использование увеличенных полос пропускания базовыми станциями в более широком спектре совместно с новыми технологиями эфирного интерфейса, а также оптимизация задержек за счет внедрения минислотов в кадре и снижения объема передаваемой служебной информации в кадре.

Несмотря на то, что изменения в архитектуре сети приводят к эволюции IP-архитектуры 4G до облачной архитектуры 5G, в сетях нового поколения нет существенных изменений относительно передаваемой информации и методов выделения канального ресурса. Сохранены формы сигналов на основе мультиплексирования с ортогональным частотным разделением, несмотря на внедрение минислотов в кадре длительность кадра сохраняется равной 10 мс, канальный ресурс в 5G делится на ресурсные блоки, каждый из которых состоит из 12 поднесущих. Исходя из этих данных, можно предположить, что распределение символов в кадре также не претерпит изменений, что сделает возможным совместимость вниз с технологиями *LTE* и *LTE Advanced*. Можно сделать вывод о единой структуре методов выделения канального ресурса в сетях нового поколения. На основании этих данных строится новая концепция выделения канального ресурса в 5G.

Алгоритм работы балансировщика канального ресурса в гетерогенной сети радиодоступа

Концепция выделения канального ресурса в 5G заключается в решении задачи оптимального выбора радиотехнологии для предоставления услуги при использовании сотовой и беспроводной локальной сети радиодоступа. Предполагается, что локальная сеть управляется некоторым сотовым оператором, как это происходит в случае использования гетерогенных сетей. Входными данными задачи могут являться следующие показатели: требования к качеству обслуживания, запрашиваемый контент, расположение абонента, интерференция и т. д. На стороне SDN-системы оператора данные поступают в гипервизор, или балансировщик нагрузки, который, приняв решение о распределении ресурсов, рекомендует абонентскому терминалу нужную сеть. В этом же и заключается принцип «*network slice*» в решениях вендоров.

Таким образом, динамика трафика должна отслеживаться на уровне сессии абонентского устройства. Новая сессия, представляющая собой, например, поток данных реального времени с некоторыми минимальными требованиями к скорости передачи, возникает у абонента случайным образом и заканчивается по истечении обслуживания

[22]. Соответственно, число активных сессий изменяется со временем, что можно называть динамикой трафика на уровне сессий. То есть сессия представляет собой поток данных, вызванный установлением удаленного соединения или мультимедиа передачей.

Смоделировать такие сессии возможно посредством пуассоновских процессов. Например, положение абонентских терминалов может определяться некоторым стохастическим потоком точек. Анализ размещения абонентских терминалов и их трафика позволяет оценить мощность принятого сигнала и интерференцию. Таким образом, пространственно-временной подход позволяет управлять трафиком и выбирать предпочтительную радиотехнологию [23–25].

Для пояснения принципа работы системы рассмотрим пример. Возьмем идеализированную макросоту с радиусом R и базовой станцией в ее геометрическом центре. Внутри соты предполагается наличие точек подключения к локальной сети, а также некоторые микросоты. Для наглядности в рассматриваемой системе не предполагается пересечение слоев (network slice). Предположим, что абонентский терминал одного слоя не интерферирует с передачей в других слоях. Интерференция в макросоте при этом не рассматривается. Модель системы представлена на рисунке 1.

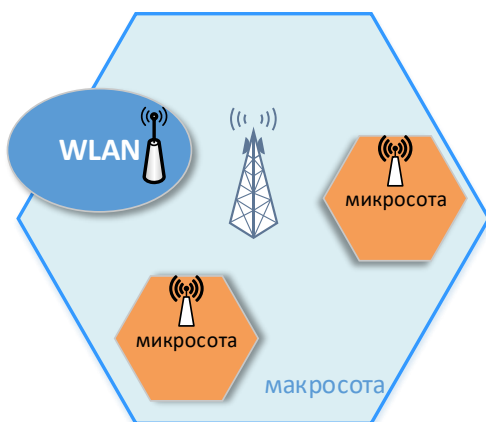


Рис. 1. Модель гетерогенной сети радиодоступа

Fig. 1. Heterogeneous Radio Access Network Model

Каждый абонентский терминал в пределах макросоты передает данные по линии вверх, создавая при этом сессию с минимальной требуемой скоростью передачи данных r_0 . То есть сеть допускает новую сессию только в том случае, если имеет достаточное количество радиоресурсов для обслуживания. Каждая текущая сессия i занимает r_0/r_i от общего времени работы системы.

Тогда для всех активных сессий выполняется следующее неравенство [26]:

$$\sum_{\text{все сессии}} \left(\frac{r_0}{r_i} \right) \leq \delta,$$

где δ – доступные ресурсы.

В целях упрощения системы предположим, что терминал не меняет расположение в пространстве. Тогда коэффициент передачи канала связи между абонентским терминалом и точкой доступа будет зависеть от расстояния между ними. Обозначим коэффициент передачи канала связи для сессии i как:

$$\gamma_{i,j} = \frac{G}{d_{i,j}^k},$$

где $d_{i,j}$ – расстояние между абонентским терминалом и точкой доступа; k – экспонента распространения; G – константа распространения радиосигнала [26]. При этом k и G зависят от технологии радиодоступа, а сам коэффициент передачи связи вызывает излучаемую мощность со скоростью передачи данных в канале.

Мощность сигнала p_i , излучаемая абонентским терминалом, связана со скоростью передачи данных r_i через обобщенную формулу Шеннона:

$$r_i = B \log(1 + A p_i),$$

где p_i – мощность сигнала на выходе радиочастотного усилителя; A и B – масштабирующие коэффициенты, зависящие от технологии радиодоступа.

Каждый слой сети принимает на обслуживание сессию в том случае, если для всех сессий слоя выполняются неравенства:

$$r_i \geq r_0, p_i \gamma_{i,j} \leq N_0, i \neq j,$$

где $\gamma_{i,j}$ – коэффициент передачи радиоканала; p_i – излучаемая мощность радиосигнала.

То есть выражение $p_i \gamma_{i,j}$ не должно вызывать интерференцию выше, чем допустимый уровень шума. Следовательно, балансировщик нагрузки проверяет возможность предоставления минимально требуемой скорости передачи данных и уровень интерференции от мобильного терминала.

С учетом перечисленных выше исходных данных устанавливается соединение с сетью по следующему алгоритму:

1) сеть пытается произвести выгрузку новой сессии на обслуживание точки доступа беспроводной локальной сети (WLAN), слой WLAN при этом может находиться за пределами макросоты, в рамках которой происходит соединение; если сессия попадает в рассматриваемый слой, то она обслуживается локальной сетью на всем жизненном цикле сессии без прерываний, после чего покидает систему;

2) если сессия не может быть принята слоем локальной сети, то сеть пытается выгрузить сессию в микросоту, тогда сессия обрабатывается ближайшей малой БС, а если это невозможно, то сессия не принимается;

3) если локальный и микрослой не способны принять сессию, ее пытается обработать базовая станция макросоты; если сессия не может быть

принята макрослой, то она окончательно блокируется и покидает систему без обслуживания; на следующие сессии при этом не оказывается никакого влияния.

Графически алгоритм установления соединения представлен на рисунке 2.

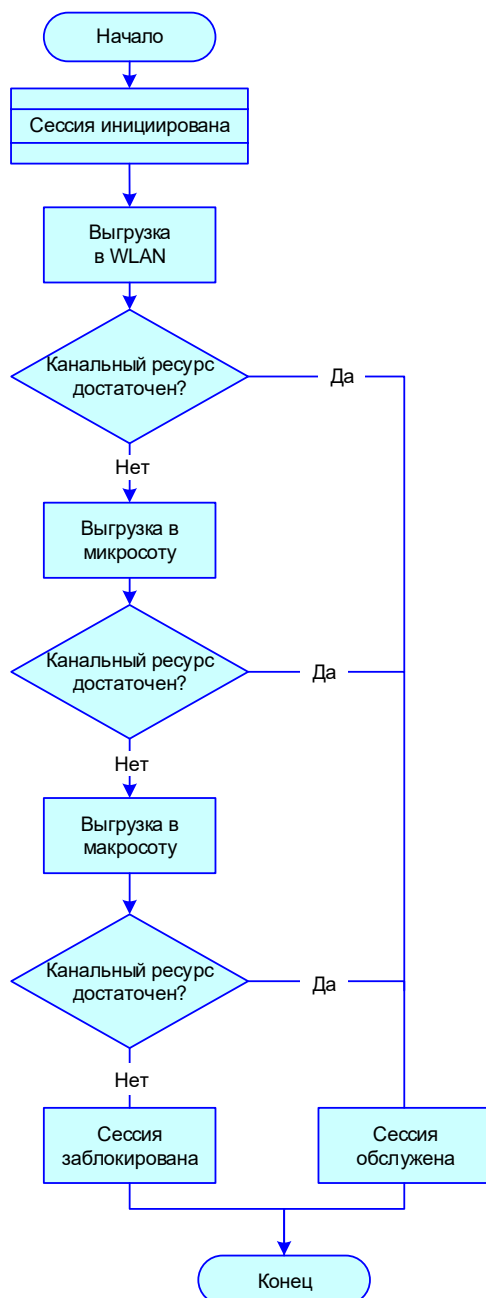


Рис. 2. Алгоритм обслуживания сессии в гетерогенной сети радиодоступа

Fig. 2. The Session Service Algorithm in a Heterogeneous Radio Access Network

Тогда алгоритм балансировки на уровне сессий выглядит следующим образом:

1) определяется мощность передачи абонентского терминала (UE), а также возможность предоставления минимальной требуемой скорости $C_{\text{треб}}$ передачи данных при излучаемой мощности;

2) проверяется условие, что ресурс сети делится между абонентскими терминалами поровну;

3) каждая сессий из общего их количества n , допущенная к обслуживанию, получает равную долю от общего ресурса:

$$C = \frac{1}{n}$$

4) к абонентскому терминалу отправляется сигнал установить мощность передачи $P_{\text{UEтреб}}$ для обеспечения минимально требуемой скорости передачи данных.

Блок-схема алгоритма балансировки представлена на рисунке 3.

Ключевым недостатком рассмотренной системы является возможность отказа в обслуживании тех сессий, которые не были допущены в макрослой. Для решения данной проблемы требуется разработка подхода по обслуживанию сессий, которые были заблокированы при первичной попытке доступа в сеть.

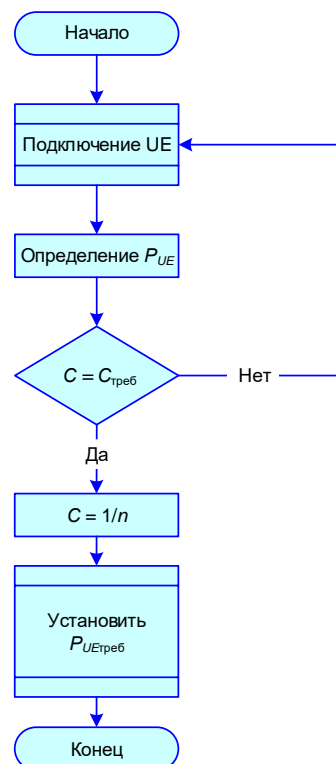


Рис. 3. Блок-схема алгоритма балансировки

Fig. 3. The Block Diagram of the Balancing Algorithm

Алгоритм выделения канального ресурса в гетерогенной сети радиодоступа высокой плотности

Чтобы снизить порог отказа в обслуживании заблокированных сессий, можно уплотнить гетерогенную радиосеть, а также использовать совместно лицензионный и нелицензионный спектр. То есть возможна интеграция, например, технологии Wi-Fi как части инфраструктуры сотовой сети, в которой абонентский терминал может передавать данные

одновременно и через лицензионный и нелицензионный спектр [26].

Предлагается плотное размещение малых сот, в которых каждая базовая станция будет оснащена, например, функционалом как мобильной сети, так и *WLAN*. При этом *WLAN* функционирует в нелицензионном диапазоне частот, а макросота служит не для обработки трафика, а для управления системой малых сот и радиоресурсами. Основной особенностью описанной системы является передача данных абонентскими терминалами по линии вверх как по сети мобильной связи, так и параллельно по *WLAN*. В зависимости от требуемого качества обслуживания, абонентский терминал в такой системе может использовать как только одну из технологий, так и одновременно задействовать ресурсы доступных радиотехнологий в возможных пропорциях. В таком случае необходим функциональный блок на стороне сети оператора, который будет принимать решение о распределении ресурсов технологий радиодоступа на основе целевой функции.

Функционал такого блока может быть реализован на основе серверной архитектуры и входить в ядро сети 5G. При этом необходимо ввести ряд проверок, позволяющих корректировать подключение с целью уменьшения интерференции в соседних сотах.

Во-первых, перед тем как принять сессию какой-либо базовой станцией, на стороне управления нагрузкой должна выполняться проверка достижения максимального количества уже обслуживаемых сессий, так как при любой организации сети такой максимум будет существовать.

Во-вторых, после того как сессия была принята, она получает равную долю радиоресурса стандарта мобильной связи, а при необходимости и *WLAN* для организации требуемого качества обслуживания. Сессия, получившая ресурс и требуемую скорость передачи данных, обслуживается без прерываний, после чего немедленно выводится из системы.

Предполагается, что абонентский терминал передает данные на максимальной мощности, если при этом не превышает допустимый уровень интерференции. Если сессия на предоставленных радиоресурсах с заданной мощностью вызывает прирост показателя интерференции в соседней соте, то соответствующие радиоресурсы становятся недоступны для оказания услуг в соседней соте. Основная идея балансировщика нагрузки в такой системе состоит в том, чтобы забрать дополнительные ресурсы для предоставления минимально требуемых для новой или более приоритетной сессии.

Алгоритм работы такой гетерогенной системы представлен на рисунке 4.

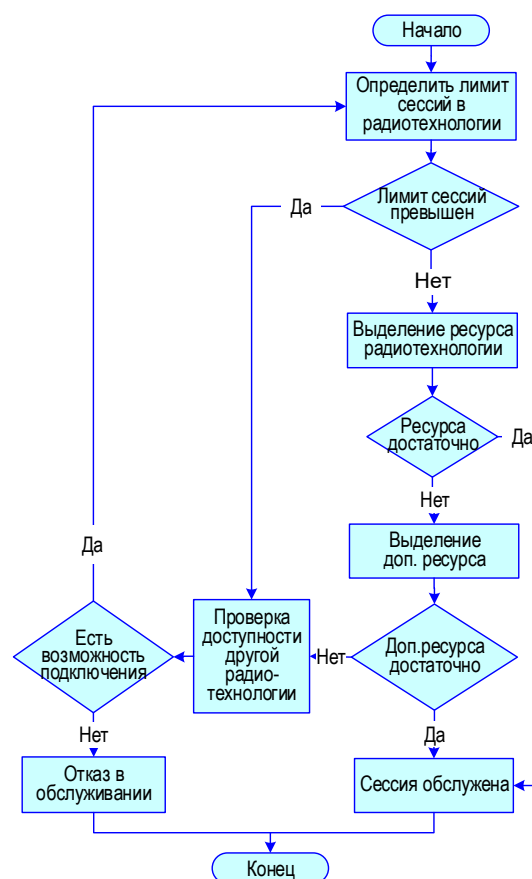


Рис. 4. Алгоритм выделения ресурсов в гетерогенной сети радиодоступа

Fig. 4. The Resource Allocation Algorithm in a Heterogeneous Radio Access Network

Можно предположить, что абонентский терминал будет постоянно обмениваться данными с макросотой и поддерживать соединение для передачи данных с малой сотой. Тогда система связи организует централизованное управление переключением терминала между малыми сотами, что повысит производительность за счет общесистемной информации о состоянии всей сети. Пример реализации балансировщика гетерогенной сети радиодоступа с использованием серверной архитектуры на базе решений с открытой лицензией приведен на рисунке 5.

Выводы

Таким образом, в статье показано, что внесение функционального блока, позволяющего контролировать несколько радиотехнологий доступа на уровне ядра, возможно реализовать с использованием серверной архитектуры. Такой подход позволит организовать гетерогенную сеть 5G, нивелируя проблемы взаимного влияния технологий радиодоступа и одновременно оптимизировать выделение канального ресурса в соответствии с требованиями приложений и услуг. Предложенные алгоритмы могут лечь в основу открытого проекта реализации современной гетерогенной сети радиодоступа.

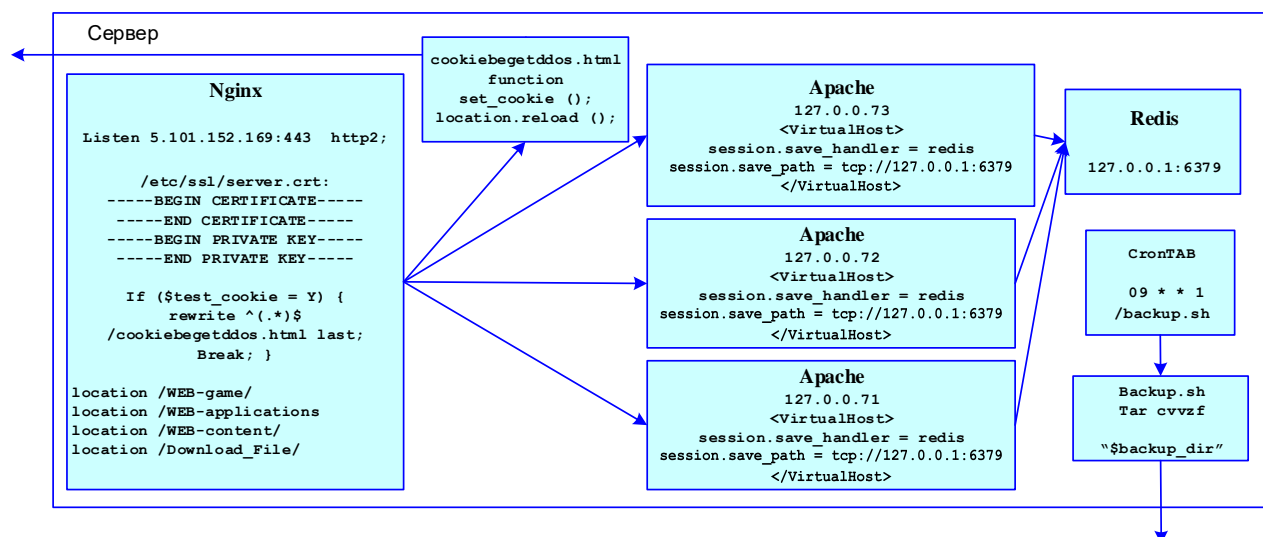


Рис. 5. Возможная реализация балансировщика нагрузки в гетерогенной сети 5G с использованием серверной архитектуры

Fig. 5. Possible Load Balancer Implementation in a Heterogeneous 5G Network Using a Server Architecture

В качестве направлений дальнейших исследований можно отметить потребность в адекватном моделировании сетей связи 5G для обслуживания перспективных сценариев Интернета мобильных вещей с высокими требованиями по надежности подключения. Соответственно, актуальны исследование и разработка гетерогенных радиосистем с возможностью одновременного подключения. В таких системах устройства могут применять как со-

товые, так и прямые соединения. В частности, в публикациях наблюдается дефицит результатов моделирования радиосистемы в целом для типовых сценариев 5G-IoT, предполагающих наличие нескольких радиотехнологий доступа, которые пользовательские устройства могут использовать альтернативно или одновременно, и при этом учитывать возможные влияния интерференции между технологиями.

Список используемых источников

1. Mobile World Congress 2019 // Cisco. URL: <https://blogs.cisco.com/tag/mwc-2019> (дата обращения 29.04.2020)
2. 3GPP Release 15. Release description. Technical report: 21.915 SA#83 V:1.1.0, 21.06.2019
3. Tombaz S., Vastberg A., Zander J. Energy- and cost-efficient ultra-high-capacity wireless access // IEEE Wireless Communications. 2011. Vol. 18. Iss. 5. PP. 18–24. DOI:10.1109/MWC.2011.6056688
4. Ponomarenko-Timofeev A., Pyattaev A., Andreev S., Koucheryavy Y., Mueck M., Karls I. Highly dynamic spectrum management within licensed shared access regulatory framework // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54. Iss. 3. PP. 100–109. DOI:10.1109/MCOM.2016.7432155
5. Mokrov E., Ponomarenko-Timofeev A., Gudkova I., Masek P., Hosek J., et al. Modeling Transmit Power Reduction for a Typical Cell With Licensed Shared Access Capabilities // Transactions on Vehicular Technology. 2018. Vol. 67. Iss. 6. PP. 5505–5509. DOI:10.1109/TVT.2018.2799141
6. Vannithamby R., Talwar S. Towards 5G: Applications, Requirements and Candidate Technologies. Chichester: John Wiley & Sons, 2017. 466 p.
7. Loginov V.A., Lyakhov A.I., Khorov E.M. Coexistence of Wi-Fi and LTE-LAA Networks: Open Issues // Journal of Communications Technology and Electronics. 2018. Vol. 63. PP. 1530–1537. DOI:10.1134/S1064226918120148
8. Wang L., Kuo G.-S.G.S. Mathematical Modeling for Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks – A tutorial // IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2012. Vol. 15. Iss. 1. PP. 271–292. DOI:10.1109/SURV.2012.010912.00044
9. Ле Ч.Д., Симонина О.А. Механизм мультипроса на основе приоритизации для WLAN с высокой плотностью устройств // Труды учебных заведений связи. 2017. Т. 3. №. 1. С. 80–92.
10. Andrews J.G., Buzzi S., Choi W., Hanly S.V., Lozano A., Soong A.C.K., et al. What will 5G be? // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2014. Vol. 32. Iss. 6. PP. 1065–1082. DOI:10.1109/JSAC.2014.2328098
11. Karjalainen J., Nekovee M., Benn H., Kim W., Park J.H., Sungsoo H. Challenges and opportunities of mm-wave communication in 5G networks // Proceedings of the 9th International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CROWNCOM, Oulu, Finland, 2–4 June 2014). IEEE, 2014. PP. 372–376. DOI:10.4108/icst.crowncom.2014.255604
12. Rappaport T.S., Sun S., Mayzus R., Zhao H., Azar Y., Wang K., et al. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work! // IEEE Access. 2013. Vol. 1. PP. 335–349. DOI:10.1109/ACCESS.2013.2260813
13. Boccardi F., Heath R.W., Lozano A., Marzetta T.L., Popovski P. Five disruptive technology directions for 5G // IEEE Communications Magazine. 2014. Vol. 52. Iss. 2. PP. 74–80. DOI:10.1109/MCOM.2014.6736746
14. Song W., Zhuang W., Cheng Y. Load balancing for cellular/WLAN integrated networks // IEEE Network. 2007. Vol. 21. Iss. 1. PP. 27–33. DOI:10.1109/MNET.2007.314535

15. Bellalta B., Bononi L., Bruno R., Kessler A. Next generation IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks: Current status, future directions and open challenges // Computer Communications. 2016. Vol. 75. PP. 1–25. DOI:10.1016/j.comcom.2015.10.007
16. Zhou Z., Jia Y., Chen F., Tsang K., Liu G., Han Z. Unlicensed Spectrum Sharing: From Coexistence to Convergence // IEEE Wireless Communications. 2017. Vol. 24. Iss. 5. PP. 94–101. DOI:10.1109/MWC.2017.1700086
17. Zetterman T., Piipponen A., Raikila K., Slotte S. Multi-Radio coexistence and collaboration on an SDR platform // Analog Integrated Circuits and Signal Processing. 2011. Vol. 69. DOI:10.1007/s10470-011-9713-7
18. Sankaran C. B. Data offloading techniques in 3GPP Rel-10 networks: A tutorial // IEEE Communications Magazine. 2012. Vol. 50. Iss. 6. PP. 46–53. DOI:10.1109/MCOM.2012.6211485
19. FusionSphere Virtualization Suite 6.5.0 Product Documentation // Huawei. URL: <https://support.huawei.com/hedex/hdx.do?docid=EDOC1100071114&lang=en&idPath=22658044%7C7919788%7C9856606%7C21462752%7C9823560> (дата обращения 30.04.2020)
20. Cloud Band Release 17.5 // NOKIA. URL: <https://onestore.nokia.com/asset/200060> (дата обращения 06.05.2020)
21. Gerasimenko M., Moltchanov D., Andreev S., Koucheryav Y., Himayat N., Yeh S.-P., et al. Adaptive Resource Management Strategy in Practical Multi-Radio Heterogeneous Networks // IEEE Access. 2016. Vol. 5. PP. 219–235. DOI:10.1109/ACCESS.2016.2638022
22. Kim Y., de Veciana G. Joint Network Capacity Region for Cognitive Networks Heterogeneous Environments and RF-Environment Awareness // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2011. Vol. 29. Iss. 2. PP. 407–420. DOI:10.1109/JSAC.2011.110213
23. Kelly F., Yudovina E. Stochastic Networks. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. 232 p.
24. Андреев С.Д., Кучерявый Е.А., Самуйлов К.Е. Пространственно-временной подход к анализу гетерогенных систем связи // Электросвязь. 2018. № 9. С. 20–26.
25. 3GPP Release 8 Technical report: 37.83, 2019.
26. Orsino A., Ometov A., Fodor G., Moltchanov D., Militano L., Andreev S., et al. Effects of Heterogeneous Mobility on D2D- and Drone-Assisted Mission-Critical Mtc in 5G // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55. Iss. 2. PP. 79–87. DOI:10.1109/MCOM.2017.1600443CM

* * *

Algorithms for Channel Resource Allocation in a Heterogeneous New-Generation Radio Access Network

S. Polevich¹, O. Simonina²

¹Beget Ltd,
St. Petersburg, 195027, Russian Federation

²The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications,
St. Petersburg, 193232, Russian Federation

Article info

DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-28-37

Received 26th August 2020

Accepted 7th September 2020

For citation: Polevich S., Simonina O. Algorithms for Channel Resource Allocation in a Heterogeneous New-Generation Radio Access Network *Proc. of Telecom. Universities*. 2020;6(3):28–37. (in Russ.) DOI:10.31854/1813-324X-2020-6-3-28-37

Abstract: *The article proposes algorithms for allocating channel resources in a heterogeneous radio access network that simultaneously uses the frequency resources of a 5G network and an unlicensed wireless access network. It is shown that the use of a balancer in such network will make it possible to level the problem of the mutual wireless technologies influence, in particular, interference. To implement the algorithms, it is proposed to use the capabilities of the cloud server architecture.*

Keywords: 5G, heterogeneous radio access network, channel resource, load balancer.

References

1. Cisco. *Mobile World Congress 2019*. Available from: <https://blogs.cisco.com/tag/mwc-2019> [Accessed 29th April 2020]
2. 3GPP Release 15. *Release description*. Technical report: 21.915 SA#83 V:1.1.0, 21.06.2019

3. Tombaz S., Vastberg A., Zander J. Energy- and cost-efficient ultra-high-capacity wireless access. *IEEE Wireless Communications*. 2011;18(5):18–24. DOI:10.1109/MWC.2011.6056688
4. Ponomarenko-Timofeev A., Pyattaev A., Andreev S., Koucheryavy Y., Mueck M., Karls I. Highly dynamic spectrum management within licensed shared access regulatory framework // *IEEE Communications Magazine*. 2016. Vol. 54. Iss. 3. PP. 100–109. DOI:10.1109/MCOM.2016.7432155
5. Mokrov E., Ponomarenko-Timofeev A., Gudkova I., Masek P., Hosek J., et al. Modeling Transmit Power Reduction for a Typical Cell With Licensed Shared Access Capabilities. *Transactions on Vehicular Technology*. 2018;67(6):5505–5509. DOI:10.1109/TVT.2018.2799141
6. Vannithamby R., Talwar S. *Towards 5G: Applications, Requirements and Candidate Technologies*. Chichester: John Wiley & Sons; 2017. 466 p.
7. Loginov V.A., Lyakhov A.I., Khorov E.M. Coexistence of Wi-Fi and LTE-LAA Networks: Open Issues. *Journal of Communications Technology and Electronics*. 2018;63:1530–1537. DOI:10.1134/S1064226918120148
8. Wang L., Kuo G.-S.G.S. Mathematical Modeling for Network Selection in Heterogeneous Wireless Networks – A tutorial. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2012;15(1):271–292. DOI:10.1109/SURV.2012.010912.00044
9. Le Tran Duc, Simonina O. The Multipolling Mechanism Based on the Prioritization for WLAN in a High Dense Networks. *Proc. of Telecom. University*. 2017;3(1):80–92. (in Russ.)
10. Andrews J.G., Buzzi S., Choi W., Hanly S.V., Lozano A., Soong A.C.K., et al. What will 5G be? *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2014;32(6):1065–1082. DOI:10.1109/JSAC.2014.2328098
11. Karjalainen J., Nekovee M., Benn H., Kim W., Park J.H., Sungsoo H. *Challenges and opportunities of mm-wave communication in 5G networks. Proceedings of the 9th International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, CROWNCOM, 2–4 June 2014, Oulu, Finland*. IEEE; 2014. p.372–376. DOI:10.4108/icst.crowncom.2014.255604
12. Rappaport T.S., Sun S., Mayzus R., Zhao H., Azar Y., Wang K., et al. Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work! *IEEE Access*. 2013;1:335–349. DOI:10.1109/ACCESS.2013.2260813
13. Boccardi F., Heath R.W., Lozano A., Marzetta T.L., Popovski P. Five disruptive technology directions for 5G. *IEEE Communications Magazine*. 2014;52(2):74–80. DOI:10.1109/MCOM.2014.6736746
14. Song W., Zhuang W., Cheng Y. Load balancing for cellular/WLAN integrated networks. *IEEE Network*. 2007;21(1):27–33. DOI:10.1109/MNET.2007.314535
15. Bellalta B., Bononi L., Bruno R., Kessler A. Next generation IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks: Current status, future directions and open challenges. *Computer Communications*. 2016;75:1–25. DOI:10.1016/j.comcom.2015.10.007
16. Zhou Z., Jia Y., Chen F., Tsang K., Liu G., Han Z. Unlicensed Spectrum Sharing: From Coexistence to Convergence. *IEEE Wireless Communications*. 2017;24(5):94–101. DOI:10.1109/MWC.2017.1700086
17. Zetterman T., Piipponen A., Raikila K., Slotte S. Multi-Radio coexistence and collaboration on an SDR platform. *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*. 2011;69. DOI:10.1007/s10470-011-9713-7
18. Sankaran C. B. Data offloading techniques in 3GPP Rel-10 networks: A tutorial. *IEEE Communications Magazine*. 2012;50(6):46–53. DOI:10.1109/MCOM.2012.6211485
19. Huawei. *FusionSphere Virtualization Suite 6.5.0 Product Documentation* Available from: <https://support.huawei.com/heidex/hdx.do?docid=EDOC1100071114&lang=en&idPath=22658044%7C7919788%7C9856606%7C21462752%7C9823560> [Accessed 30th April 2020]
20. NOKIA. *Cloud Band Release 17.5*. Available from: <https://onestore.nokia.com/asset/200060> [Accessed 6th May 2020]
21. Gerasimenko M., Moltchanov D., Andreev S., Koucheryavy Y., Himayat N., Yeh S.-P., et al. Adaptive Resource Management Strategy in Practical Multi-Radio Heterogeneous Networks. *IEEE Access*. 2016;5:219–235. DOI:10.1109/ACCESS.2016.2638022
22. Kim Y., de Veciana G. Joint Network Capacity Region for Cognitive Networks Heterogeneous Environments and RF-Environment Awareness. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. 2011;29(2):407–420. DOI:10.1109/JSAC.2011.110213
23. Kelly F., Yudovina E. *Stochastic Networks*. Cambridge: Cambridge University Press; 2014. 232 p.
24. Andreev S.D., Koucheryavy Y.A., Samouylov K.E. Space-Time Analysis of Heterogeneous Wireless Systems. *Elektronika*. 2018;9:20–26. (in Russ.)
25. 3GPP Release 8. Technical report: 37.83, 2019.
26. Orsino A., Ometov A., Fodor G., Moltchanov D., Militano L., Andreev S., et al. Effects of Heterogeneous Mobility on D2D- and Drone-Assisted Mission-Critical Mtc in 5G. *IEEE Communications Magazine*. 2017;55(2):79–87. DOI:10.1109/MCOM.2017.1600443CM

Сведения об авторах:

ПОЛЕВИЧ
Сергей Сергеевич

системный администратор компании «ООО Бегет», sergeypolevich@mail.ru

СИМОНИНА
Ольга Александровна

кандидат технических наук, доцент кафедры радиосвязи и вещания Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, olga.simonina@spbgut.ru