

МОДИФИЦИРОВАННАЯ АРХИТЕКТУРА WI-FI OFFLOAD

ПИШКО А.О., КУРДЕЧА В.В.

Описывается технология нового поколения Wi-Fi Offload, с помощью которой возможна реализация выгрузки трафика сотовой сети в сеть Wi-Fi, что позволит разгрузить сотовую сеть от потока трафика данных. Предлагается модифицировать существующую архитектуру за счет внедрения дополнительного модуля, который анализирует чувствительность трафика данных, что повысит эффективность разгрузки сети LTE с помощью перенаправления нечувствительного к задержке трафика в сеть Wi-Fi.

Ключевые слова: сеть, Wi-Fi Offload, разгрузка, архитектура, LTE, Proxy Mobile IPv6, SDN.

Key words: network, Wi-Fi Offload, offloading, architecture, LTE, Proxy Mobile IPv6, SDN.

1. Введение

С появлением смартфонов, планшетов и других интеллектуальных устройств в мобильных сетях стал преобладать трафик передачи данных. Спрос пользователей на данный вид услуг быстро растет, достигая огромных объемов. Это привело к изменению концепции в планировании сетей мобильной связи. В настоящее время она направлена на разработку эффективных и экономичных способов для удовлетворения растущего спроса со стороны пользователей [1]. Кроме того, существующие технические решения, используемые в сотовой архитектуре, достигли своих физических пределов, что сдерживает ее дальнейшее техническое развитие [2].

В последнее время все большее внимание привлекает внедрение гетерогенной сети для повышения пропускной способности системы. Гетерогенная сеть - это новое многоуровневое решение для сотовых сетей, где традиционные макро- и микросоты окружены множеством маломощных и недорогих устройств с неоднородными характеристиками и ограничениями: пикосоты, фемтосот и реле. Эта многоуровневая структура увеличивает пропускную способность благодаря малому расстоянию между сетью доступа и конечным пользователем и тем самым предоставляет оптимальное решение использования спектра радиочастот. В данной работе внимание сосредоточено на выгрузке трафика с мобильных сетей при помощи технологии Wi-Fi, более известной как Wi-Fi Offload.

В Wi-Fi Offload поддержание пользовательских сеансов и выгрузка выборочных потоков обеспечивает лучший пользовательский опыт в допол-

нение к балансировке нагрузки в сетях. Основная проблема, возникающая при поддержании пользовательских сеансов в сетях, заключается в том, что подключение к другой сети меняет IP-адрес пользователя, что приводит к потере IP-сеанса. Мобильность IP-сеанса предполагает, что локация и идентификационные свойства IP должны быть отделены, что достигается с помощью IP-мобильности. Таким образом, для обеспечения бесшовной выгрузки данных необходимо, чтобы сеть эффективно поддерживала мобильность IP, что достаточно сложно реализовать в рамках стандартной архитектуры Wi-Fi Offload [3].

Для лучшей балансировки нагрузки необходима возможность перемещения заданных выборочных потоков пользователя (в зависимости от типа трафика и его чувствительности к задержкам) для обеспечения мобильности потоков. Мобильность потоков позволяет пользователю выбирать наиболее подходящую сеть для текущего применения. Например, рассмотрим поведение пользователя в момент сильной нагрузки LTE сети, который просматривает видео онлайн и загружает файлы одновременно. Перемещение видеотрафика в сеть Wi-Fi нецелесообразно, так как это приводит к увеличению задержки и, таким образом к уменьшению QoS. В свою очередь, процесс загрузки файлов можно переместить в сети Wi-Fi, так как такой вид трафика является толерантным к задержке передачи данных. Таким образом, если пользователь запускает нечувствительные к задержке процессы, они могут быть выгружены в сети Wi-Fi для лучшей балансировки нагрузки в сети. Мобильность потока играет важную роль для достижения лучшего распределения нагрузки в сети, а также повышает удобство использования мобильного сервиса в целом, однако в стандартной архитектуре Wi-Fi Offload мобильность потока не поддерживается [4].

В данной статье предлагается новая архитектура под названием «Бесшовная мобильность межсетевых обмена» (БММО), которая позволяет устранить недостатки существующих архитектур, используя концепции Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) и Software Defined Networking (SDN). Ее отличительной особенностью является использование дополнительного компонента поддержки мобильности потока.

Протокол PMIPv6 – это стандартизированный сетевой протокол для управления локальной мобильностью, где локальная мобильность IP

обрабатывается без участия мобильного узла. PMIPv6 главным образом определяет два компонента для обеспечения сетевого управления локальной мобильностью, а именно: Local Mobility Anchor (LMA) и Mobile Access Gateway (MAG). MAG выполняет мобильную сигнализацию от имени мобильных узлов. LMA отслеживает пользователей и выдает им один и тот же IP-адрес, когда они перемещаются по разным сетям. LMA и MAG общаются через туннель, который устанавливается между ними.

Протокол PMIPv6 решает проблему мобильности сеанса пользователя, но не обеспечивает гибкость при перемещении отдельных потоков пользователя [5].

Архитектура SDN основана на разделении плоскости передачи данных и плоскости управления. В ней представлены два компонента: контроллер и коммутаторы. Контроллер и коммутатор взаимодействуют с использованием протокола OpenFlow. Когда коммутатор получает пакет, который никогда не видел раньше, он передает его контроллеру. Контроллер принимает решение о маршрутизации и инструктирует коммутатор о том, как перенаправлять подобные пакеты, добавляя записи в таблицу потоков коммутатора [6].

2. Модификация архитектуры Wi-Fi Offload

На основании анализа рассмотренных концепций предложена модифицированная архитектура Wi-Fi Offload с бесшовной мобильностью межсетевых потоков, которая включает новый блок - контроллер потока. За счет контроллера потока реализуется функция мобильности. Пакетный шлюз (PGW) в сети LTE и шлюз беспроводного доступа (WAG) в Wi-Fi сети работают как переключатели, которые осуществляют мобильную сигнализацию от имени оборудования пользователя.

Каждый поток рассматривается как поток IP-пакетов с определенными параметрами (исходный IP-адрес, IP-адрес назначения, выходной порт, порт назначения, транспортный протокол, который используется). Для того чтобы обеспечить бесшовный переход при перемещении мобильного узла с LTE сети в сеть Wi-Fi, шлюз беспроводного доступа (WAG) и пакетный шлюз (PGW) выполняют инструкции, которые предоставляет блок контроллер потока.

На Рис. представлена модифицированная архитектура объединенных сетей LTE и Wi-Fi с функцией бесшовного мобильного потока. В левой части рис. 1 изображены компоненты LTE, а в правой – компоненты сети Wi-Fi.

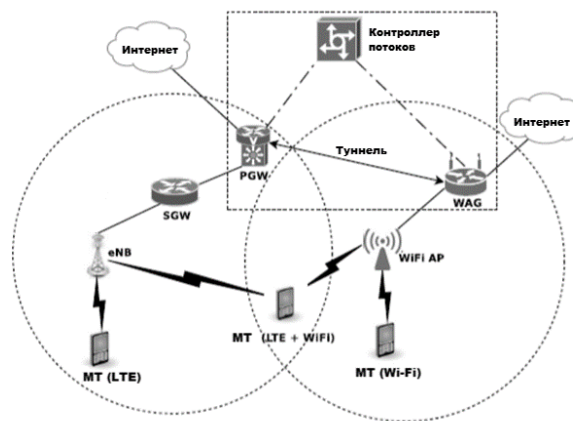


Рис. 1. Модифицированная архитектура Wi-Fi Offload в LTE

Основными компонентами модифицированной архитектуры являются:

- контроллер потока;
- мобильный агент;
- мобильный терминал.

PGW и WAG выступают в качестве мобильных агентов. Агент соединяет мобильный терминал сетью Интернет, а также обменивается данными с контроллером потока. На основании полученных инструкций от контроллера принимается решение использовать сеть LTE для передачи данных или разгружать данные с помощью туннеля между PGW и WAG для того, чтобы достичь мобильный терминал через Wi-Fi сеть.

Рассмотрим более подробно компоненты архитектуры:

- Контроллер потока отвечает за доставку потоков данных к мобильным агентам. Контроллер является новым компонентом в архитектуре с межсетевым потоком и способствует организации мобильности потока. Он контролирует подвижность потока и располагает данными обо всех подключённых мобильных агентах и о том, которые из них являются активными. На основании информации полученной от мобильного агента, контроллер устанавливает правила функционирования потока и передает инструкцию мобильному агенту. Когда мобильный терминал перемещается из одной сети в другую, контроллер поручает создание туннеля, через который подключения передаются на мобильный терминал без каких-либо нарушений.
- Мобильный агент является маршрутизатором, который обеспечивает Интернет-услуги для мобильного терминала и отвечает за обнаружение движения терминала сетями LTE и Wi-Fi. Всякий раз, когда терминал приходит в другую сеть, агент присваивает новый IP-адрес терминалу и

информирует контроллер о новом IP-адресе. Агент получает информацию о потоке от контроллера и пересылает пакеты данных на основе полученной информации.

- Мобильный терминал посылает запросы для доступа к сервисам. Предложенная архитектура поддерживает мобильность потока, следовательно, мобильный терминал имеет возможность получать пакеты, предназначенные для нескольких IP-адресов.

Для связи между контроллером и мобильным агентом используются сообщения, соответствующие протоколу OpenFlow (Рис.).

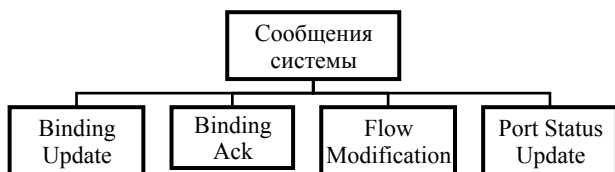


Рис. 2. Виды сообщений, используемые для связи контроллера и мобильного агента

- *Сообщение Binding Update.* Отвечает за процедуру обновления соединения. Мобильный агент отправляет сообщение контроллеру, когда принимает запрос на соединение от абонентского оборудования. Получив сообщение обновления соединения, контроллер посылает сообщение Binding Ack.
- *Сообщение Binding Ack.* При получении сообщения Binding Update контроллер потоков посылает подтверждающее сообщение Binding Ack мобильному терминалу для подтверждения приема сообщения Binding Update. Если контроллер уже имеет такую запись в кэше, он передает информацию об IP-адресе мобильного терминала старому и новому агенту.
- *Сообщение Flow Modification.* Сообщение модификации потока направляется от контроллера к мобильному агенту, чтобы сообщить ему обо всех решениях, связанных с мобильностью потока. При получении сообщения модификации потока мобильный агент обновляет таблицу потоков.
- *Сообщение Port Status Update.* Обновления статуса порта отправляется с мобильного агента контроллеру, чтобы проинформировать его о любых изменениях в статусе порта абонентского оборудования. Получив сообщение обновления статуса порта, контроллер обновляет статус порта в соответствии с полученным сообщением.

На рис. 3 представлена диаграмма последовательности обмена сообщениями между сетями LTE и Wi-Fi. Шаги подробно описаны ниже [6].

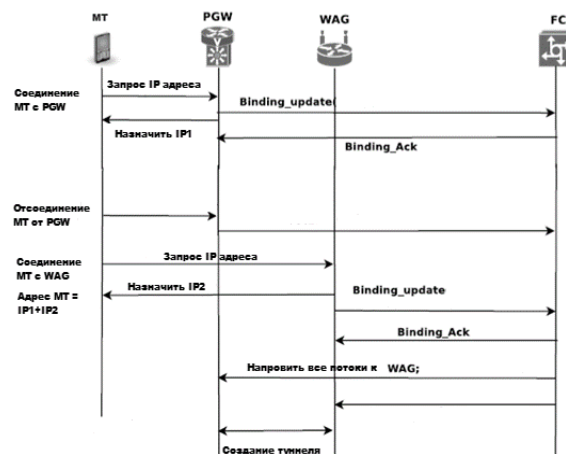


Рис. 3. Функционирование архитектуры с мобильным потоком в LTE и Wi-Fi сетях

- 1) Мобильный терминал подключается к сети LTE. PGW получает запрос на соединение, назначает IP абоненту и посылает сообщение Binding Update к контроллеру. Контроллер отвечает, отправляя подтверждающее сообщение Binding Ack.
- 2) Через некоторое время мобильный терминал отсоединяется от LTE сети. Пакетный шлюз, для обнаружения движения абонента, передает Port Status Update к контроллеру. Контроллер меняет запись в таблице маршрутизации как неактивный.
- 3) Когда абонентское оборудование попадает в зону действия сети Wi-Fi, шлюз беспроводного доступа получает запрос на соединение от мобильного терминала. Шлюз назначает новый IP абоненту и посылает обновление привязки контроллеру. Оба IP-адреса настроены на логический интерфейс.
- 4) Поскольку в контроллере уже есть запись о соответствующем абонентском оборудовании, он делает новый запрос шлюзу и посылает Binding Ack. Контроллер посылает сообщение модификации потока к пакетному шлюзу и шлюзу беспроводного доступа на основе собственного решения.
- 5) В случае полной передачи обслуживания контроллер поручает пакетному шлюзу переместить все существующие потоки соответствующих абонентов через туннель. Он также поручает шлюзу беспроводного доступа декапсулировать пакеты, принятые по туннелю от пакетного шлюза, и направить их абонентскому оборудованию на соответствующий порт. Новое соединение с

аппаратом устанавливается на новой сети (т.е. Wi-Fi в данном случае), тем самым уменьшая затраты на туннелирование.

Предложенная архитектура позволяет значительно улучшить качество передачи данных при внедрении дополнительного блока, который позволит оптимизировать передачу лицензированными полосами частот путем разумной выгрузки трафика данных в Wi-Fi сеть.

3. Анализ эффективности модифицированной архитектуры

Для расчета объема данных, которые могут быть получены пользователями при построении модифицированной архитектуры, за основу взят математический метод, представленный в работе [7].

При моделировании предполагается, что среднее количество пользователей сети LTE равно 1000, далее количество пользователей будет обозначаться как P . Средняя скорость передачи данных, которая может быть достигнута мобильным терминалом, будет зависеть от количества пользователей в Modulation and Coding Scheme (MCS). Стандарт 802.11n определяет понятие "Индекс модуляции и схемы кодирования". MCS - это просто целое число, присваивается варианту модуляции. Каждый вариант определяет тип модуляции радиочастоты, скорость кодирования, защитный интервал и скорость передачи данных. Сочетание всех этих факторов определяет реальную физическую скорость передачи данных.

Если есть A схемы MCS, i_n - количество пользователей в данной схеме с максимальной скоростью передачи данных DR_{MCS_n} , средняя мощность сети LTE для каждого пользователя, при условии справедливого распределения, рассчитывается как:

$$C_{AVE_P} = \frac{1}{\sum_{n=1}^A \frac{i_n}{DR_{MCS_n}}}$$

Допускается, что все пользователи получают одинаковое значение ширины полосы пропускания. Начальная пропускная способность системы LTE к выгрузке C_{LTE} рассчитывается, используя формулу:

$$C_{LTE} = C_{AVE_P} \times P$$

Поскольку трафик разгружается в сеть Wi-Fi, увеличивается скорость передачи данных в сети LTE и перераспределяется между оставшимися

пользователями сети LTE. Средний объем данных, который получают LTE пользователи, вычисляется с помощью уравнений (1) и (2), как разница между начальным количеством пользователей и количеством пользователей, которые перешли в сеть Wi-Fi:

$$C_{AVE_ (P-OF)} = (P - OF),$$

где OF - количество пользователей, которые были переведены в сети Wi-Fi.

Увеличение пропускной способности сети LTE, после введения дополнительных точек доступа Wi-Fi, рассчитывается как:

$$C_{LTE} = C'_{AVE_ (P-OF)} \times (P - OF)$$

Прирост пропускной способности сети LTE, полученный за счет разгрузки:

$$C_{offloaded} = C'_{LTE} - C_{LTE}$$

Средний прирост пропускной способности каждого пользователя сети LTE для каждой отдельной точки доступа оценивается с помощью формулы:

$$C_{AVE_PERWIFI} = \frac{1}{\sum_n^B \frac{i_n}{DR_{MCS_n}}}$$

$C_{AVE_PERWIFI}$ - средний объем данных при использовании сети Wi-Fi, B - это максимальное число MCS для 802.11

Средний прирост пропускной способности каждого пользователя сети LTE в расчете на всю сеть Wi-Fi рассчитывается как:

$$C_{AVE_allWIFI} = \left(\frac{\sum_{n=1}^{n=m} C_{AVE_PERWIFI} \times OF_n}{m} \right) / Q$$

OF_n -- количество разгруженных пользователей для каждой Wi-Fi точки;

m - общее количество точек доступа Wi-Fi, которые используются;

Q - общее количество пользователей, выгруженных с сети LTE всеми точками доступа Wi-Fi.

На Рис. показан процент пользователей, выгруженных в сеть Wi-Fi, а также прирост объема данных, который может быть получен в сети LTE в расчете на каждого пользователя. Данный прирост был получен в результате разгрузки части пользователей в сети Wi-Fi.

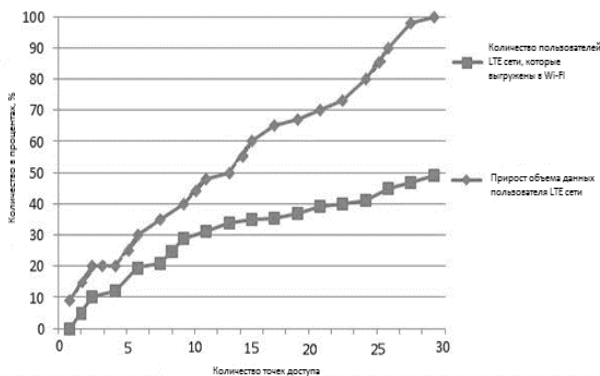


Рис. 4. Прирост объема данных пользователей сети LTE при использовании Wi-Fi Offload с модифицированной архитектурой

Проанализировав полученный график, можно сделать вывод, что модифицированная архитектура способствует эффективной разгрузке сети LTE за счет перенаправления трафика в сеть Wi-Fi.

Главным недостатком рассмотренных архитектур было то, что при попадании мобильного терминала в зону действия Wi-Fi начиналась выгрузка всего трафика пользователя без учета того факта, что не весь трафик является толерантным к задержке. Отличием предложенной архитектуры является то, что дополнительной блоком контроллер потока решает, какой именно поток данных не требует срочной выгрузки, т.е. является нечувствительным к задержке, и направляет его к беспроводной сети Wi-Fi. Трафик, который не предусматривает задержку при загрузке, остается в сети LTE.

Повышение качества услуг достигается за счет того, что «тяжелый» трафик загружается с помощью Wi-Fi, не перегружая при этом мобильную сеть. Сеть LTE, в свою очередь, сможет обслуживать большее количество клиентов, а также увеличивать скорость передачи данных для клиентов, которые были перенаправлены к сети Wi-Fi. Объем данных, который получает отдельный пользователь сети Wi-Fi по отношению к времени, в значительной степени зависит от общего количества пользователей, которые перенаправляются в сети Wi-Fi. Чем больше пользователей, тем ниже средняя мощность для каждого из них в этом узле.

4. Выводы

Главным недостатком рассмотренных ранее архитектур является то, что при выгрузке не учитывалась чувствительность трафика к задержкам. Предложена модифицированная архитектура Wi-Fi Offload за счет внедрения дополнительного модуля, который анализирует чувствительность мобильного трафика, что позволяет повысить эффективность разгрузки сети LTE с помощью перенаправления нечувствительного к задержке трафика в сеть Wi-Fi.

Преимуществом предложенной архитектуры является бесшовный межсетевой переход, который не требует дополнительных действий со стороны пользователя услуг мобильного оператора.

Дальнейшие исследования будут направлены на усовершенствование алгоритма анализа чувствительности потока данных.

Литература:

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast 2013-2018 [Online]. Available at: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html.
2. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper// Cisco materials [Online]. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.
3. Dimatteo S. Cellular traffic Offloading Through Wi-Fi Networks / S. Dimatteo, P. Hui, B. Han, and V. O. K. Li // IEEE 8th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS). 2011. P. 192- 201.
4. Andersson K. Optimized Access Network Selection in a Combined WLAN/LTE Environment / K. Andersson, and C. Åhlund // Wireless Personal Communications. 2011. vol. 61, No. 4. P. 739–75.
5. PMIPv6: A Network-Based Localized Mobility Management Solution - The Internet Protocol Journal, Volume 13, No.3 [Online]. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-49/133-pmipv6.html>.
6. Nadeau T. SDN: Software Defined Networks An Authoritative Review of Network Programmability Technologies / T. Nadeau, K. Gray // O'Reilly Media. 2013. P. 384.
7. Thiagarajah S. User data rate enhancement using heterogeneous LTE-802.11n offloading in urban area / S. Thiagarajah, Alvin Ting, David Chieng // IEEE Symposium on Wireless Technology & Applications. 2013. P. 11 – 16.

Transliterated bibliography:

1. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast 2013-2018 [Online]. Available at: http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/white_paper_c11-520862.html.
2. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016–2021 White Paper// Cisco materials [Online]. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/mobile-white-paper-c11-520862.html>.
3. *Dimatteo S.* Cellular traffic Offloading Through Wi-Fi Networks / S. Dimatteo, P. Hui, B. Han, and V. O. K. Li // IEEE 8th International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS). 2011. P. 192- 201.
4. *Andersson K.* Optimized Access Network Selection in a Combined WLAN/LTE Environment / K. Andersson, and C. Åhlund // Wireless Personal Communications. 2011. vol. 61, No. 4. P. 739–75.
5. PMIPv6: A Network-Based Localized Mobility Management Solution - The Internet Protocol Journal, Volume 13, No.3 [Online]. Available at: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/back-issues/table-contents-49/133-pmipv6.html>.
6. *Nadeau T.* SDN: Software Defined Networks An Authoritative Review of Network Programmability Technologies / T. Nadeau, K. Gray // O'Reilly Media. 2013. P. 384.
7. *Thiagarajah S.* User data rate enhancement using heterogeneous LTE-802.11n offloading in urban area / S. Thiagarajah, Alvin Ting, David Chieng // IEEE Symposium on Wireless Technology & Applications. 2013. P. 11 – 16.

Поступила в редколлегию 14.03.2018

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Безрук В.М.

Пишко Анастасия Олеговна, студентка Национального технического университета «Киевский политехнический институт им. И.Сикорского». Научные интересы: мобильные сети. Адрес: Украина, 010336, Киев, пер. Индустриальный, 2, тел. 0500702674.

Курдеча Василий Васильевич, ассистент кафедры информационно-телекоммуникационных систем Национального технического университета «Киевский политехнический институт им. И.Сикорского». Научные интересы: Software Defined Radio, распределенные БД. Адрес: Украина, 01033, Киев, пер. Индустриальный, 2, моб. тел. +38(050)3848621.

Pyshko Anastasiia Olegivna, student at National technical university of Ukraine "Igor Sikorsky Kiev Polytechnic Institute". Scientific interests: mobile networks. Address: Ukraine, Kyiv, pr. Industrialnyy, 2, mob. +38(050)0702674.

Kurdecha Vasily Vasilievich, assistant, department of Information and Telecommunication networks, National Technical University of Ukraine " I. Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" Scientific interests: Software Defined Radio, distributed databases. Address: Ukraine, 01033, Kyiv, pr. Industrualny, 2, mob +38(050)3848621.