

# ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ В СОТОВЫХ СЕТЯХ

А. С. А. Мутханна<sup>1\*</sup>, А. А. Атея<sup>1</sup>, М. И. Филимонова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> СПбГУТ, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

\* Адрес для переписки: ammarexpress@gmail.com

## **Аннотация**

**Предмет исследования.** Сети связи пятого поколения 5G создают экосистему для технических и бизнес-инноваций, являются основой для построения цифровой экономики [1]. **Предмет исследования.** Статья посвящена описанию типов мобильных облачных вычислений, также описанию новой технологии, которая обеспечивает создание вычислительных ресурсов, хранилищ и сетевых ресурсов на границах мобильной сети радиодоступа (RAN). **Метод.** В качестве метода исследования приводится анализ существующих типов облачных вычислений, а также особенность мобильных граничных вычислений. **Основные результаты.** Приведено краткое описание некоторых проблем, связанные с разработкой и реализацией сетей связи пятого поколения. Одной из наиболее сложных проблем является децентрализация облачных вычислений и создание вычислительных возможностей на границах сотовой сети, также исследуются основные функции и преимущества технологии MEC для сотовой системы 5G. **Практическая значимость.** На основе данной архитектуры можно достичь требуемой задержки передачи данных в сетях 5G порядка, что считается основной проблемой при реализации жизненно важных приложений, как Тактильный Интернет.

## **Ключевые слова**

Облачо, вычисление, MEC, LTE, 5G.

## **Информация о статье**

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.07.17, принята к печати 01.09.17.

**Ссылка для цитирования:** Мутханна А. С. А., Атея А. А., Филимонова М. И. Исследование облачных вычислений в сотовых сетях // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Том 5. № 3. С. 45–59.

# STUDY OF CLOUD COMPUTING IN CELLULAR SYSTEMS

A. Muthanna<sup>1\*</sup>, Abdelhamied A. Ateya<sup>1</sup>, M. Filimonova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation

\* Corresponding author: ammarexpress@gmail.com

**Abstract**—The fifth-generation 5G communication networks create an ecosystem for technical and business innovation, and are the basis for building a digital economy [1]. **Research subject.** The paper describes the types of mobile cloud computing, as well as the description of a new technology that provides the creation of computing resources, storage and network resources on the edge of the mobile radio access network (RAN). **Method.** As a method of study was used the analysis of the existing types of cloud computing, as well as the feature of mobile edge computing. **Core results.** Description of some problems related to the development and implementation of fifth-generation communication networks is given. One of the biggest challenges is the decentralization of cloud computing and creating opportunities on the borders of the network, also explores the key features and advantages of MEC technology for 5G cellular system. **Practical relevance.** Based on this architecture, we can achieve the required data transmission delay in 5G networks, which is considered the main problem in the implementation of many applications, such as Tactile Internet.

**Keywords**—Cloud, computing, MEC, LTE, 5G.

#### Article info

Article in Russian.

Received 27.07.17, accepted 01.09.17.

**For citation:** Muthanna A., Ateya Abdelhamied A., Filimonova M.: Study of Cloud Computing in Cellular systems // Telecom IT. 2017. Vol. 5. Iss. 3. pp. 45–59 (in Russian).

## Введение

Эффективное построение гетерогенных сетей [2] возможно только при создании сетей связи сверхвысокой плотности с ультрамалыми задержками [3], которые и получили название 5G [4]. Ряд новых технологий способствуют созданию сетей связи пятого поколения, например, программно-конфигурируемые сети (SDN — *Software Defined Networks*) и виртуализация сетевых функций (NFV). Другие новые технологии используются на границе сети, чтобы разгрузить базовую сеть, а также гарантировать низкую задержку [13]. Эти технологии подобны MEC [6] и взаимодействию устройство-устройство D2D (*Device to Device*) [10].

Одним из способов повышения эффективности сотовой сети является разгрузка сетевых операций на облачных блоках, используемых на границе сотовой системы. Эта идея известна как МЕС. МЕС — метод размещения возможностей облачных вычислений на границе сотовой сети в сети радиодоступа (RAN) в одном переходе от пользовательского оборудования. Европейский институт стандартизации электросвязи (ETSI) — одна из ведущих организаций в исследовании МЕС (*Mobile Edge Computing*) и стандартизации этой технологии [7, 8]. Основным преимуществом использования МЕС в сотовых сетях является сокращение системной задержки. Кроме того, это дает более высокую пропускную способность и эффективность полосы пропускания, обеспечивая возможности для разгрузки данных.

МЕС предполагает развертку среды облачных услуг в считающимся выгодным сегменте сети: на границе сети радиодоступа (RAN). Характеризуемая близостью, низкой задержкой и высокой пропускной способностью, эта среда будет обладать возможностями локализованных облачных вычислений, а также будет способна подвергать воздействию радиосети и контекстную информацию в режиме реального времени.

В данной работе рассматривается мобильные вычисления и их применения в сотовых связях.

## **Предложения по облачным услугам от крупнейших провайдеров**

Если рассматривать предложения услуг облачных провайдеров, то самый широкий спектр услуг предоставляют компании Amazon, Microsoft и Google.

**Amazon Web Services.** Созданная в 2006 году, облачная платформа Amazon стала первооткрывателем в данной области, благодаря чему завоевала немалый рынок. С постоянными нововведениями и улучшениями на протяжении многих лет, AWS представила более 70 услуг с широким спектром покрытия по всему миру. Серверы доступны в 14 географических регионах. Рыночная доля компании неуклонно растет, во втором квартале 2016 года облачные технологии Амазон охватывали 31 % рынка.

**Microsoft Azure.** Система была запущена в 2010 году и развивается очень быстрыми темпами. Microsoft Azure сейчас представляет собой многогранную сложную систему, которая обеспечивает поддержку множества различных услуг, языков программирования и фреймворков. В составе облака более 60 служб и центров обработки данных в 38 различных географических регионах. В настоящее время Microsoft Azure занимает 11 % рынка.

**Google Cloud Platform.** Представленная в 2011 году, Google Cloud Platform является самой молодой облачной платформой и, в первую очередь, удовлетворяет потребности поиска Google и Youtube.

В настоящее время у компании представлено более 50 услуг и 6 глобальных центров обработки данных. Google Cloud Platform на рынке облачных услуг имеет долю 5 %.

В Amazon Web Services центральной вычислительной службой является сервис Elastic Compute Cloud (EC2). EC2 стал главным синонимом для понятия «масштабируемые вычисления по требованию». Для того чтобы еще более тщательно планировать и снижать расходы при запуске проектов, компания ввела новые подсервисы, такие как AWS Elastic Beanstalk, Amazon EC2 Container Service.

На данный момент AWS поддерживает 7 различных семейств экземпляров и 38 типов экземпляров. Он одновременно предлагает и региональную поддержку, и поддержку зоны.

Основа вычислительных систем Microsoft Azure — это классические виртуальные машины и высокопроизводительные VirtualMachineScaleSets. Клиентские приложения для Windows могут быть развернуты с помощью сервиса Remote App. Azure Virtual Machine включает 4 различных семейства, 33 типа экземпляров, которые вы можете развернуть в разных регионах. Но поддержка определенной зоны региона пока не поддерживается.

Google Cloud Platform использует сервис Compute Engine для обработки вычислительных процессов. Одним из главных недостатков является ценообразование, оно менее гибкое по сравнению с AWS и Azure.

Если выбирать лидера, то облачные платформы AWS и Microsoft Azure сейчас наиболее востребованы. Предлагаемые вычислительные мощности у компаний находятся практически на равных уровнях, список предлагаемых сервисов также постоянно растет.

В области анализа данных AWS сделал большой скачок, отдельный сервис Quick Sight — предоставляет собой легкую в использовании бизнес-аналитику с готовыми шаблонами и по стоимости в 10 раз дешевле, чем традиционные BI-решения.

Сервис Microsoft Azure за последние годы сильно улучшил инструменты аналитики и машинного обучения, создав отдельное направление, включающее подсистему обработки аналитики Data Lake Analytics и машинное обучение в составе Cortana Intelligence Suite.

Google Cloud Platform запустил также отдельное направление по аналитике больших данных и имеет большие перспективы развития в будущем. Уже сейчас программные среды Cloud Vision API, Cloud Speech API, и Google Translate API имеют множественные интеграции в сторонние сервисы и приложения.

Все три платформы имеют достаточно мощные средства для хранения информации. Сравнение функцией сети является важным аспектом, так как для создания изолированного облака необходим не только источник вычислительных ресурсов, но и отдельный VPN доступ и адрес в сети.

В Amazon Web Services вы можете использовать VirtualPrivateCloud для создания VPN с настройкой подсети, таблицы маршрутизации, частных диапазонов IP-адресов и сетевых шлюзов. Кроме того, есть сервис Route 53 для реализации веб-службы DNS.

Microsoft Azure также предлагает обширные инструменты настройки сетей. Виртуальная сеть (VNET) позволяет установить VPN, настроить публичный IP, подключить гибридное облако, а также активизировать межсетевой экран и DNS.

Предложения Google Cloud Platform не столь обширны. Платформа пока имеет только виртуальную сеть Cloud с поддержкой подсетей Public IP, собственный брандмауэр, и необходимые настройки DNS.

Касательно ценообразования на облачные услуги, наиболее гибким вариантом являются решения от Microsoft Azure, оплата идет за пользование облачными ресурсами, с округлением по минутам. Google Cloud Platform имеет схожую систему выставление счетов, как и Azure, но с округлением использования ресурсов за период в течение 10 минут. У Amazon Web Services на данный момент три модели оплаты — оплата по требованию, резервирование и частичное резервирование.

## **Облачные вычисления**

Облачные вычисления — это предоставление вычислительных услуг — серверов, хранилищ, баз данных, сетей, программного обеспечения, аналитики и многое другое через Интернет («облако»). Компании, предлагающие эти вычислительные услуги, называются облачными провайдерами и обычно взимают плату за услуги облачных вычислений на основе использования, подобно тому, как вы оплачиваете воду или электричество дома.

В упрощенном виде облачные вычисления можно представить, как приложение на основе браузера, размещенное на удаленном сервере. Для обычного пользователя это все, что ему действительно нужно знать об облачных вычислениях. Но за этим стоит намного большее. То, что действительно представляют собой облачные вычисления, огромно: это способ для небольших организаций конкурировать с гораздо более крупными, это способ сэкономить много денег и это способ экономии энергии при производимых процессах.

Одним из самых больших преимуществ будет хранение. Серверные фермы обладают огромными объемами хранения. Примером этого могут служить бесплатные службы электронной почты, доступные в Интернете. Часто эти почтовые

службы предоставляют пользователям большой объем памяти, поскольку для них это дешево, используя доступное пространство, находящееся в облаке. Следует отметить, что распространенность дешевого хранилища на серверных фермах в будущем принесет пользу пользователям. Одним из основных преимуществ этого является предотвращение потери данных. Благодаря управлению облачными данными на множестве сетевых компьютеров вероятность потери данных становится менее вероятной и действительно является особенностью, которую компании облачных вычислений используют для своих потенциальных клиентов. В последние несколько лет многие говорили о крупных банках, которые теряли важную информацию о клиенте. Если бы эта информация хранилась в облачной среде, теоретически вероятность потери данных была бы намного меньше.

### **Мобильные граничные вычисления**

Открытие этой среды ИТ-услуг позволит приложениям и сервисам от мобильных операторов, поставщиков услуг и контента эффективно и без проблем интегрироваться в многопроцессорные мобильные платформы для мобильных вычислений. Характеристики и возможности, предлагаемые платформой МЕС, могут быть использованы, чтобы обеспечить близость, контекст, гибкость и скорость для более широких инноваций, которые могут быть переведены в уникальную ценность и доход.

Доступ к контенту и приложениям может быть ускорен; их отзывчивость может быть увеличена, максимизируя скорость и интерактивность. Популярный и локально релевантный контент может доставляться напрямую, когда пользователи подключаются, ограничивая полосу пропускания до ядра и облака.

Знание условий радиосвязи в режиме реального времени и контекстной информации может использоваться для оптимизации работы сети и обслуживания (реагирования и адаптации к изменяющимся условиям сети). Это улучшит качество обслуживания и использование сетевых ресурсов, что позволит им эффективно обрабатывать увеличенные объемы трафика. Сеть реального времени и мелкомасштабная контекстная информация (включая местоположение) могут использоваться для обогащения мобильного широкополосного доступа путем создания персонализированных сервисов, ориентированных на индивидуальные потребности и предпочтения.

Операторы могут перемещаться в цепочке создания стоимости и переопределять персонализированные службы. Они могут использовать свои сети и открывать их уполномоченным третьим сторонам (безопасным способом), предоставляя возможность разработчикам Over the Top (OTT) гибко и быстро развертывать инновационные приложения и услуги для мобильных абонентов, предприятий и вертикальных сегментов. Операторы смогут создавать новые потоки доходов и радовать своих клиентов, разрабатывая новое поколение приложений, которое обеспечивает прирост стоимости и открывает новые рыночные возможности. Кроме того, приложения, поддерживающие более тесную интеграцию параметров сети и обслуживания, улучшают как опыт обслуживания, так и использование сетевых ресурсов.

Поставщики прикладных услуг, разработчики ОТТ и независимые поставщики программного обеспечения смогут трансформировать близость и контекст в ценность и смогут генерировать новые доходы. Их приложения и услуги могут

быть расширены и ускорены, чтобы обеспечить уникальный и беспрецедентный опыт. Инновационные приложения могут быть быстро внедрены в новую стандартную среду, используя новые уровни гибкости. Приложения смогут расширять свое облако в мобильной сети и создавать совершенно новый набор сервисов. Они смогут реагировать на конечный пользовательский опыт в реальном времени, основываясь на реальных условиях радиосвязи. Новые спецификации МЕС позволяют развертывать приложения и службы поверх платформ МЕС для нескольких поставщиков, что позволяет использовать их подавляющим большинством клиентов одного мобильного оператора. Мобильный конечный пользователь будет пользоваться уникальным, приятным и персонализированным мобильным широкополосным доступом.

Инициатива МЕС будет способствовать развитию благоприятных рыночных условий для всех игроков в цепочке создания стоимости, а также для содействия экономическому росту с множеством новых вариантов использования в разных секторах (см. рис. 1).



Рис. 1. МЕС для улучшения качества восприятия

С другой стороны, D2D коммуникация также является технологией для сотовой системы 5G [9, 10]. Технология связи D2D относится к прямой связи между ближайшими беспроводными устройствами по лицензии или поддельным спектром (например, *WiFi-Direct*, *Bluetooth*) без передачи трафика на базовую станцию (BS). Использование D2D-коммуникации в ячейке имеет более высокую пропускную способность, увеличение охвата ячеек, снижение трафика перегрузок и достижение более высокой спектральной эффективности. Таким образом, D2D является гибкой эффективной парадигмой для 5G [12].

## Типы мобильных облачных вычислений

Мобильные облачные вычисления подразумевают использование облачных вычислений в мобильных сетях. Существует четыре типа МСС (*Mobile Cloud Computing*):

- Мобильные облачные вычисления как потребитель услуг (MaaSC). MaaSC берется из традиционной модели клиент-сервер, внедряя на начальном этапе виртуализацию, мелкое модульное управление доступом и другие облачные технологии. Мобильные устройства могут произвести на стороне свое вычисление и функции хранения на облако, чтобы достигнуть лучшей производительности и большего количества возможностей приложения. В этой архитектуре служба односторонняя, с облака на мобильные устройства, и мобильные устройства — потребители службы. Большинство существующих служб МСС попадает в эту категорию.

- Мобильные облачные вычисления как поставщик услуг (MaaSP). MaaSP отличается от MaaSC тем, что роль мобильного устройства смешается от потребителя услуги к провайдеру услуг. Примером MaaSP могут служить бортовые датчики (GPS-модули, камера, гироскоп и т. д.). Мобильные устройства способны воспринимать данные с устройств и их соседней среды, а также предоставлять сенсорные услуги другим мобильным устройствам через облако. Типы услуг, предоставляемых мобильными устройствами, разнообразны на основе их возможностей для обнаружения и обработки.

- Мобильные облачные вычисления как сервис брокер (MaaSB). MaaSB можно рассмотреть как расширение MaaSP, где MaaSB обеспечивает сети и передающие службы данных для других мобильных устройств или обнаружения узлов. MaaSB необходим при некоторых обстоятельствах, потому что мобильные устройства обычно ограничивали распознавающую возможность по сравнению с датчиками, которые выделены для специально разработанной функциональности и распознающих расположений. Например, мобильные телефоны могут использоваться, чтобы собрать физическую активность пользователей из NikeFuelband. MaaSB расширяет облачные границы до мобильных устройств и беспроводных датчиков. Таким образом мобильное устройство может быть сконфигурировано как шлюз или проксировать предоставляемые сетевые услуги посредством различных коммуникационных подходов, таких, как 3/4G, Bluetooth и WiFi. Кроме того, мобильное устройство по доверенности может также предоставить средства обеспечения безопасности и защиту конфиденциальности благодаря датчикам, с которыми соединяются посредством интерфейса.

- Мобильный как представитель службы (MaaSR). В MaaSR каждый пользователь может быть представлен виртуальной сущностью в облаке через свой физический объект (мобильное устройство). Пользовательские поведения и атрибуты могут собираться из реального мира в реальном времени и отправляться соответствующим виртуальным объектам в облаке для дальнейшего анализа и обработки. Алгоритмы интеллектуального анализа данных и машинного обучения могут использоваться для анализа ситуации мобильного пользователя и выполнения действий. MaaSR можно рассматривать как модель обслуживания МСС следующего поколения, поскольку физические системы и виртуальные системы легко интегрируются через технологии виртуализации для предоставления услуг. В MaaSR мобильные устройства и облака очень интерактивны, и, как результат,

поток обслуживания может быть представлен в виде двунаправленных стрелок. Помимо помощи мобильным объектам более эффективно выполнять задачи, MaaSR может выполнить некоторые задачи, которые невозможны при текущей архитектуре МСС.

Границные мобильные вычисления предоставляют возможности ИТ и облачных вычислений в сети радиодоступа (RAN) в непосредственной близости от абонентов мобильной связи.

Для разработчиков приложений и поставщиков контента граница RAN предлагает среду обслуживания со сверхнизкой задержкой и высокой пропускной способностью, а также прямой доступ к информации о радиосети в реальном времени (например, местоположение абонента, загрузка ячеек и т. д.), которые могут быть используемы приложениями и сервисами для предоставления услуг, связанных с контекстом; эти службы способны дифференцировать возможности мобильного широкополосного доступа.

Границные мобильные вычисления позволяют ускорить контент, услуги и приложения, увеличивая быстроту реагирования. Опыт мобильных абонентов может быть обогащен эффективными сетевыми и сервисными операциями на основе понимания радио и сетевых условий.

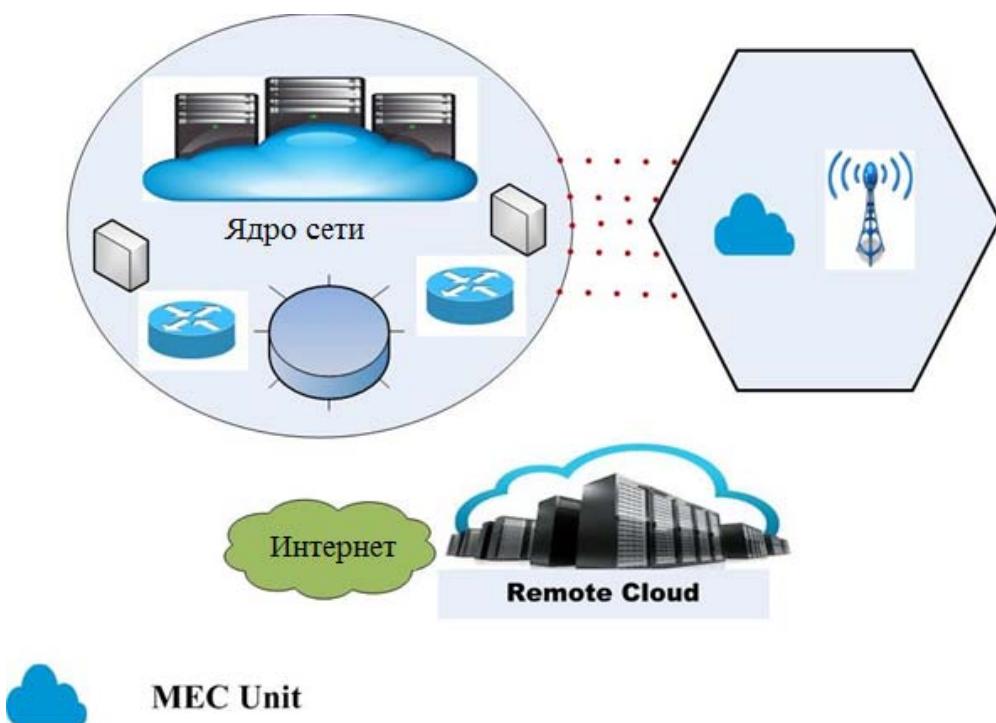


Рис. 2. Границные мобильные вычисления

Операторы могут открывать границу радиосвязи сторонним партнерам, что позволяет им быстро внедрять инновационные приложения и услуги для мобильных абонентов, предприятий и других вертикальных сегментов. Близость, контекст, маневренность и скорость могут быть переведены в ценность и могут создавать возможности для операторов мобильной связи, поставщиков услуг и контента, игроков Over the Top (OTT) и независимых поставщиков программного обеспечения (ISV), что позволяет им играть взаимодополняющие

и прибыльные роли в рамках своих соответствующих бизнес-моделей и позволяя им монетизировать мобильный широкополосный доступ.

Эта среда может создать новую цепочку образования стоимости услуг и энергичную экосистему, включающую разработчиков приложений, поставщиков контента, игроков ОТТ, поставщиков сетевого оборудования и мобильных операторов. Основываясь на инновациях и стоимости бизнеса, эта цепочка образования стоимости позволит всем игрокам извлечь выгоду из более активного сотрудничества.

Цель состоит в том, чтобы развивать благоприятные рыночные условия, которые создадут устойчивый бизнес для всех игроков в цепочке создания стоимости и будут способствовать глобальному росту рынка. Для этого необходимо создать стандартизованную открытую среду, чтобы обеспечить эффективную и плавную интеграцию таких приложений на платформах МЕС для нескольких поставщиков. Это также обеспечит приток подавляющего большинства клиентов мобильного оператора. Предлагается создать в ETSI новую группу отраслевых спецификаций (ISG), которая позволит создавать отраслевые спецификации для мобильных граничных вычислений (МЕС). ISG МЕС также будет работать над тем, чтобы стимулировать и ускорять разработку граничных приложений по всей отрасли, увеличивая рыночную шкалу и улучшая рыночную экономику.

#### Ключевые характеристики МЕС:

- **Локальность:** граница является локальной, что означает, что МЕС может работать изолированно от остальной сети, имея доступ к локальным ресурсам. Это становится особенно важным для сценариев «машина-машина», например, при работе с системами безопасности или безопасности, требующей высокой устойчивости.
- **Близость:** находясь рядом с источником информации, МЕС особенно полезен для сбора ключевой информации для аналитики и больших данных. Граничные вычисления также могут иметь прямой доступ к устройствам, которые могут быть легко использованы бизнес-приложениями.
- **Более низкая задержка:** поскольку службы работают близко к конечным устройствам, это значительно сокращает время ожидания. Это может быть использовано для ускорения реагирования, улучшения пользовательского интерфейса или для минимизации перегруженности в других частях сети.
- **Знание местоположения.** Когда сетевой пограничный элемент является частью беспроводной сети, будь то Wi-Fi или Cellular, локальная служба может использовать низкоуровневую информацию сигнализации для определения местоположения каждого подключенного устройства. Это порождает целую сеть бизнес-ориентированных вариантов использования, включая службы на основе местоположения, аналитику и многие другие.
- **Информация о сети:** сетевые данные в реальном времени (например, условия радиосвязи, сетевая статистика и т. д.) могут использоваться приложениями и службами для предоставления услуг, связанных с контекстом, которые могут отличать возможности мобильного широкополосного доступа и быть монетизированными. Могут быть разработаны новые приложения (которые получат выгоду от данных в реальном времени в сети) для подключения абонентов мобильной связи с местными интересными точками, предприятиями и событиями.

Раньше граница мобильной сети была местом, где производилась только обработка специалиста. Он располагал специализированными вычислениями, которые были разработаны с нуля, чтобы выполнять функцию в общей архитектуре, и эти вычисления не могли быть перепрофилированы. Связь с границей сети до ядра была также конкретной конфигурацией, работающей с помощью специальных протоколов. Полная конфигурация была оптимизирована в эпоху предварительного смартфона, где качество голоса было ключевым драйвером в дизайне сети и до того дня, когда IP был стандартом для сетевых коммуникаций.

IP распространился из сети Интернет в корпоративные сети, и, с широким распространением LTE, через границу сетей до самих конечных устройств. Это позволило появиться новым приложениям, которые видели трансформацию в телекоммуникационных сетях и их дизайн. Единственные решения для радиосети поставщика развиваются в модульные, открытые решения, которые в состоянии интегрировать в экосистему изменяемых компонентов.

#### Границные вычисления во внешних сценариях

Эта архитектура особенно важна для:

- Улучшения качества обслуживания мобильных пользователей (QoE) за счет сокращения задержки, повышения качества обслуживания и/или предоставления индивидуальных услуг.
- Повышения эффективности инфраструктуры с помощью интеллектуальных и оптимизированных сетей.
- Включение вертикальных служб, особенно применимых для сценариев «машина-машина», «управление большими данными», «аналитика», «умные города» и многое другое.
- Тесной интеграции с радиооборудованием, упрощения понимания характеристик и потребностей движения, работы с радиоресурсами, получения информации о местоположении устройства и т. д.

Границные вычисления во внутренних сценариях, когда дело доходит до внутренних сценариев, таких, как точки доступа Wi-Fi и 3G/4G, границные облака принимают форму мощных локальных шлюзов, где выделенный интеллект служит для местных целей. Благодаря облегченной виртуализации эти шлюзы выполняют несколько действий, применяемых к определенному местоположению, в котором они установлены, например:

- Сценарии «машина-машина»: подключение к различным датчикам, причем услуги МEC могут заниматься всеми видами мониторинга (кондиционирование воздуха, лифты, температура, влажность, контроль доступа и т. д.).
- Решения для розничной торговли: имея возможность находить и обмениваться данными с мобильными устройствами, есть возможность повысить ценность для потребителей и торговых центров. Например, доставляя контент на основе местоположения, внедряя дополняющую реальность, улучшая общий опыт покупок или занимаясь защищенным онлайн-платежом.
- Стадионы, аэропорты, станции, театры. Конкретные услуги могут помочь управлять другими типами общественных мест, в частности, для обеспечения безопасности, эвакуации или предоставления новых видов услуг для общественности. Например, стадионы могут предоставлять живое содержание публике, аэропорты могут направлять пассажиров к своим воротам через расширенную службу реальности и многое другое. Все эти приложения будут использовать локальный контент и условия, которые идеально адаптируются к их аудитории.

- Большие данные и аналитика. И последнее, но не менее важное: информация, собранная в этом ключевом месте в сети, может быть использована в рамках большей аналитической инициативы, чтобы лучше обслуживать клиентов.

### **Граничные мобильные вычисления для сотовых систем 5G**

Mobile Edge Computing (MEC) — новая технология, которая в настоящее время стандартизируется в ETSI Industry Specification Group (ISG) под тем же именем. Мобильные Граничные Вычисления обеспечивают среду ИТ-услуг и возможности облачных вычислений на границе мобильной сети в сети радиодоступа (RAN) и в непосредственной близости от мобильных абонентов. Цель состоит в том, чтобы уменьшить задержку, гарантировать эффективную сетевую работу и предоставление услуг и предложить улучшенный пользовательский опыт.

Мобильные Граничные Вычисления — естественная разработка в эволюции мобильных базовых станций и конвергенции телекоммуникационных сетей и ИТ. Основанный на виртуализированной платформе, МЕС признан европейским исследовательским органом 5G PPP (5G *Infrastructure Public Private Partnership*) в качестве одной из ключевых новых технологий для сетей 5G (вместе с виртуализацией сетевых функций (NFV) [15] и программным сетью (SDN)) [14, 16]. В дополнение к определению более усовершенствованных технологий радиоинтерфейса сети 5G будут использовать программируемые подходы к программным сетям и широко использовать технологии виртуализации ИТ в рамках инфраструктуры, функций и приложений для телекоммуникаций.

МЕС основывается на виртуализированной платформе с подходом, дополняющим NFV: на самом деле, в то время как NFV фокусируется на сетевых функциях, платформа МЕС включает приложения, работающие на границе сети. Инфраструктура, которая размещает МЕС и NFV или другие сетевые функции, весьма схожа; таким образом, чтобы позволить операторам максимально выигрывать от своих инвестиций, будет выгодно в максимально возможной степени использовать инфраструктуру и управление инфраструктурой NFV путем размещения как VNF (виртуальных сетевых функций), так и приложений МЕС на такой же платформе.

Среда МЕС характеризуется низкой задержкой, близостью, высокой пропускной способностью, информацией о радиосети и информации о местоположении в реальном времени. Все это может быть переведено в материальную ценность и может создавать возможности для операторов мобильной связи, приложений и контента, позволяющих им играть взаимодополняющие и прибыльные роли в рамках своих бизнес-моделей и позволяя им лучше монетизировать работу мобильного широкополосного доступа.

МЕС открывает возможность добавить новые сервисы и для потребителей и корпоративных клиентов, а также для смежных отраслей, которые теперь могут предоставлять свои критически важные приложения в мобильной сети. Это позволяет создать новую цепочку создания стоимости, новые возможности для бизнеса и множество новых вариантов использования в разных секторах. Цель состоит в том, чтобы развивать благоприятные рыночные условия, которые создадут устойчивый бизнес для всех игроков в цепочке создания стоимости и будут способствовать глобальному росту рынка. Для этого необходимо создать

стандартизованную открытую среду, чтобы обеспечить эффективную и плавную интеграцию таких приложений на платформах с множеством поставщиков МЕС. Это также обеспечит подачу подавляющего большинства клиентов мобильного оператора.

На рис. 3 представляется многоуровневая структуру системы для 5G<sup>1</sup>, которая использует SDN в ядре сотовой сети и мобильных граничных вычислений (МЕС). Система моделируется в надежной среде и предоставляет задержку передачи данных 1 мс<sup>2</sup> [17], которая считается основной проблемой при реализации таких приложений, как Тактильный Интернет. Этого можно достичь путем сокращения промежуточных узлов, участвующих в процессе связи.

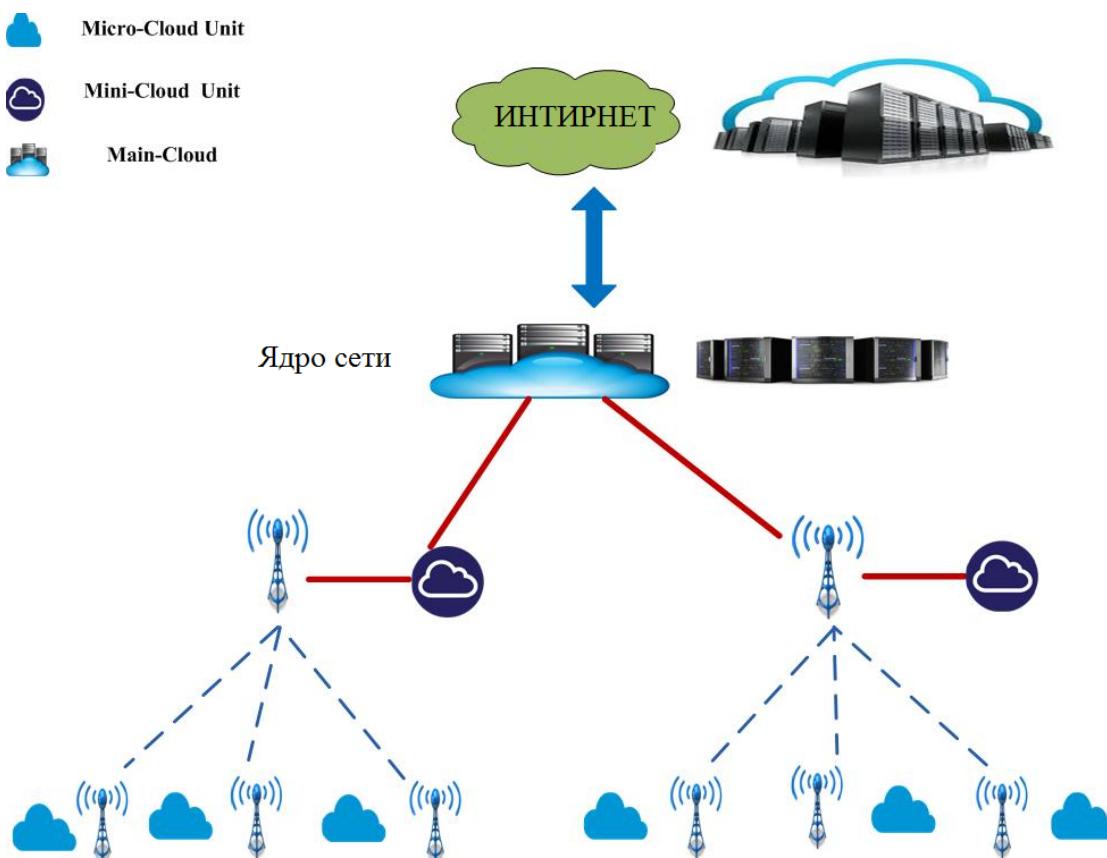


Рис. 3. Многоуровневая структура для 5G системы

## Заключение

МЕС представляет собой ключевую технологию и архитектурную концепцию, обеспечивающую эволюцию до 5G, поскольку она помогает продвигать трансформацию мобильной широкополосной сети в программируемый мир и вносит свой вклад в удовлетворение пользовательских требований 5G с точки зрения ожидаемых уровней задержки, масштабируемости и автоматизации. 5G требует задержки передачи данных порядка миллисекунды, что считается основной проблемой при реализации системы. Благодаря недавней разработке и появившимся

<sup>1</sup> NGMN – Next Generation Mobile Networks. URL: <https://www.ngmn.org/5g-white-paper/5g-white-paper.html>

<sup>2</sup> ITU-T Technology Watch Report. The Tactile Internet. 2014.

возможностям 5G некоторые жизненно важные приложения, такие как Тактильный Интернет, станут реальностью. Один из способов преодоления большой задержки цикла состоит в том, чтобы использовать централизованный контроллер в ядре сети с глобальным знанием системы вместе с концепцией виртуализации сетевых функций (NFV). В этом состоит идея программно-конфигурируемой сети (SDN).

### **Литература**

1. Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики // Электросвязь. 2017. № 5. С. 45–49.
2. Кучерявый А. Е., Футахи А., Кучерявый Е. А. LTE и беспроводные сенсорные сети // Мобильные телекоммуникации. 2012. № 9–10. С. 38–41.
3. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
4. Rimal B. P., Van D. P., Maier M. Mobile Edge Computing Empowered Fiber-Wireless Access Networks in the 5G Era // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55. Iss. 2. pp. 192–200.
5. Muthanna A., Masek P., Hosek J., Fujdiak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy, A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless System // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 395–403.
6. Ryden M., Oh K., Chandra A., Weissman J. Nebula: Distributed Edge Cloud for Data-Intensive Computing // IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E). 2014. pp. 57–66.
7. Wang S. et al. Mobile Micro-Cloud: Application Classification, Mapping, and Deployment // Annual Fall Meeting of ITA (AMITA). 2013.
8. Klas G. I. Fog Computing and Mobile Edge Cloud Gain Momentum Open Fog Consortium // The Eleventh International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC). 2016. 122 p.
9. Гимадинов Р. Ф., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е. Кластеризация в мобильных сетях 5G. Случай частичной мобильности // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 2 (10). С. 44–52.
10. Ateya A. A., Muthanna A., Vybornova A., Koucheryavy A. Multi-level Cluster Based Device-to-Device (D2D) Communication Protocol for the Base Station Failure Situation // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10531. pp. 755–765.
11. Гимадинов Р. Ф., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е. Кластеризация в сетях 5G // Информационные технологии и телекоммуникации. 2015. № 1 (9). С. 35–41.
12. Ignatova L., Khakimov A., Mahmood A., Muthanna A. Analysis of the Internet of Things devices integration in 5G networks // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017. 4 p.
13. Makolkina M., Muthanna A., Manariyo S. Quality of Experience Estimation for Video Service Delivery Based on SDN Core Network // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10531. pp. 683–692.
14. Vladko A., Muthanna A., Kirichek R. Comprehensive SDN Testing Based on Model Network // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 539–549.
15. Amelyanovich A., Shpakov M., Muthanna A., Buinevich M., Vladko A. Centralized Control of Traffic Flows in Wireless LANs based on the SDN Concept // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017. 5 p.
16. Volkov A., Khakimov A., Muthanna A., Kirichek R., Vladko A., Koucheryavy A. Interaction of the IoT Traffic Generated by a Smart City Segment with SDN Core Network // 2017 International Conference on Wired/Wireless Internet Communication (WWIC). 2017. pp. 115–126.
17. Ateya A., Muthanna A., Gudkova I., Vybornova A., Koucheryavy A. Intelligent core network for Tactile Internet system // International Conference on Future Networks and Distributed Systems. 2017.

### **References**

1. Borodin A., Koucheryavy A. Fifth Generation Networks as a Base to the Digital Economy // Electrosvyaz'. 2017. No. 5. pp. 45–49.

2. Koucheryavy A., Futahi A., Koucheryavy Y. LTE and Wireless Sensor networks // Mobilnye telekommunikatsii. 2012. No. 9–10. pp. 38–41.
3. Koucheryavy A., Makolkina M., Kirichek R. Tactile Internet. Ultra Low Latency Communication Networks // Electrosvyaz'. 2016. No. 1. pp. 44–46.
4. Rimal B. P., Van D. P., Maier M. Mobile Edge Computing Empowered Fiber-Wireless Access Networks in the 5G Era // IEEE Communications Magazine. 2017. Vol. 55. Iss. 2. pp. 192–200.
5. Muthanna A., Masek P., Hosek J., Fujdiak R., Hussein O., Paramonov A., Koucheryavy, A. Analytical Evaluation of D2D Connectivity Potential in 5G Wireless System // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 395–403.
6. Ryden M., Oh K., Chandra A., Weissman J. Nebula: Distributed Edge Cloud for Data-Intensive Computing // IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E). 2014. pp. 57–66.
7. Wang S. et al. Mobile Micro-Cloud: Application Classification, Mapping, and Deployment // Annual Fall Meeting of ITA (AMITA). 2013.
8. Klas G. I. Fog Computing and Mobile Edge Cloud Gain Momentum Open Fog Consortium // The Eleventh International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC). 2016. 122 p.
9. Gimadinov R., Muthanna A., Koucheryavy A. Clustering in Mobile Network 5G based on Partial Mobility // Telecom IT. 2015. Vol. 2 (10). pp. 44–52. (in Russian)
10. Ateya A. A., Muthanna A., Vybornova A., Koucheryavy A. Multi-level Cluster Based Device-to-Device (D2D) Communication Protocol for the Base Station Failure Situation // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10531. pp. 755–765.
11. Gimadinov R., Muthanna A., Koucheryavy A. Clustering in 5G Network // Telecom IT. 2015. Vol. 1 (9). pp. 35–41. (in Russian)
12. Ignatova L., Khakimov A., Mahmood A., Muthanna A. Analysis of the Internet of Things devices integration in 5G networks // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017. 4 p.
13. Makolkina M., Muthanna A., Manariyo S. Quality of Experience Estimation for Video Service Delivery Based on SDN Core Network // Lecture Notes in Computer Science. 2017. Vol. 10531. pp. 683–692.
14. Vladko A., Muthanna A., Kirichek R. Comprehensive SDN Testing Based on Model Network // Lecture Notes in Computer Science. 2016. Vol. 9870. pp. 539–549.
15. Amelyanovich A., Shpakov M., Muthanna A., Buinevich M., Vladko A. Centralized Control of Traffic Flows in Wireless LANs based on the SDN Concept // Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SINKHROINFO). 2017. 5 p.
16. Volkov A., Khakimov A., Muthanna A., Kirichek R., Vladko A., Koucheryavy A. Interaction of the IoT Traffic Generated by a Smart City Segment with SDN Core Network // 2017 International Conference on Wired/Wireless Internet Communication (WWIC). 2017. pp. 115–126.
17. Ateya A., Muthanna A., Gudkova I., Vybornova A., Koucheryavy A. Intelligent core network for Tactile Internet system // International Conference on Future Networks and Distributed Systems. 2017.

**Мутханна Аммар Салех Али**

– кандидат технических наук, ассистент, СПбГУТ,  
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация,  
ammarexpress@gmail.com

**Атея Абдельмоталеб  
Абдельхамид Ашраф**

– аспирант, СПбГУТ, Санкт-Петербург,  
193232, Российская Федерация,  
eng.abdelhamied@hotmail.com

**Филимонова Мария Игоревна**

– студентка, СПбГУТ, Санкт-Петербург,  
193232, Российская Федерация,  
filimonova\_sar@mail.ru

**Muthanna Ammar**

– Candidate of Engineering Sciences, Assistant,  
SPbSUT, St. Petersburg, 193232, Russian Federation,  
ammarexpress@gmail.com

**Ateya Abdelhamied A.**

– Postgraduate student, SPbSUT, St. Petersburg,  
193232, Russian Federation,  
[eng.abdelhamied@hotmail.com](mailto:eng.abdelhamied@hotmail.com)

**Filimonova Maria**

– Student, SPbSUT, St. Petersburg, 193232,  
Russian Federation, [filimonova\\_sar@mail.ru](mailto:filimonova_sar@mail.ru)