

# Первоначальное распределение сервисов в инфраструктуре «Умного города», состоящей из многоуровневой облачной архитектуры МЕС, кластеров БПЛА и подвижных облаков

В. Н. Коваленко<sup>1</sup>, А. С. А. Мутханна<sup>2</sup>

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

<sup>1</sup>kovalenkovadim1996@gmail.com, <sup>2</sup>ammarexpress@gmail.com

**Аннотация.** С развитием сетей пятого поколения (5G/IMT-2020) и сетей последующего поколения увеличивается потребность в предоставлении сервисов с более низкими значениями задержки передачи. Увеличивающиеся с каждым годом объемы генерируемого трафика и неспособность современных ЦОД обрабатывать большие объемы данных, обеспечивая при этом низкие значения задержек передачи, приводят к необходимости осуществления обработки данных ближе к границе сети радиодоступа.

В то же время трафик в разных районах города будет не однороден – потребность в предоставлении определенного сервиса будет выше в одном районе города и ниже в другом. Поэтому при организации сетевой архитектуры всего города в целом необходимо осуществить распределение предоставляемых сервисом между различными устройствами разных сетевых уровней.

В данной работе предлагается рассмотреть возможность организации распределения сервисов в рамках инфраструктуры «Умного города», сетевая архитектура, которых будет организована многоуровневой облачной системой МЕС, кластерами БПЛА. В сетевой архитектуре для предоставления сервисов и обработки запросов пользователей с меньшими задержками передачи данных предлагается воспользоваться технологией туманных вычислений для организации кластера из FoG-устройств, а также реализовать на общественном транспорте мини-сервера, которые будут осуществлять обработку запросов пользователей ближе к границе радиодоступа, по сравнению с ЦОД и микро-серверами, соединенными с базовыми станциями. Проведена имитация работы сети в программных комплексах Matlab и AnyLogic.

**Ключевые слова:** многоуровневая облачная архитектура; 5G/IMT-2020; МЕС; Микро-облако; Мини-облако; главное облако; кластер БПЛА; подвижное облако; туманные вычисления; FoG устройства; FoG кластер

## I. ВВЕДЕНИЕ

Темпы развития концепции «Интернета Вещей» поражают воображение. Конечно, прогнозы некоторых ученых о том, что к 2020 году количество устройств, подключенных к сети интернет достигнет 50 млрд, не оправдались. Однако проведенный в 2018 году анализ

компании Strategy Analytics, в результате которого было подтверждено, что число устройств «Интернета вещей» достигло 22 млрд, и прогноз данной компании о возможности достижения числа подключенных к сети устройств в количестве до 38,6 млрд и 50 млрд к 2025 и к 2030 годам соответственно свидетельствуют о сохранении высоких темпов развития «Интернета вещей». [1]

Бурные темпы развития концепции «Интернета Вещей» привело к развитию сетей пятого поколения связи 5G/IMT-2020 и к появлению концепции сверхплотных сетей, предполагающей размещение на 1 км<sup>2</sup> до 1 млн сетевых устройств [2, 3]. Вследствие увеличения количества устройств, подключенных к сети, увеличиваются также и объемы генерируемого в сеть трафика. Так по некоторым оценкам объемы генерируемого трафика в 2030 году будут в 20000 раз больше, по сравнению объемами трафика 2010 года. [4]

С другой стороны сети пятого поколения связи 5G/IMT-2020 отличаются не только большим количеством устройств в сети, по сравнению с предыдущими поколениями сетей связи, но также и появлением направлений развития с высокими требованиями к качеству обслуживания [2]. В качестве примеров таких направлений могут выступать концепция «Тактильный Интернет» и «Беспилотный автотранспорт», в которых необходимо обеспечить задержку передачи до 1 мс.

Перспективными направлениями для концепции «Интернета вещей» и сетей пятого поколения 5G/IMT-2020 являются концепция «Беспилотного автотранспорта», сетей VANET и инфраструктуры «Умный город». Стоит отметить, что при организации сетей VANET и «Беспилотного автотранспорта» необходимо учитывать высокую подвижность автотранспорта, а при организации инфраструктуры «Умного города» – неоднородность генерируемого трафика в разных районах и в разные промежутки времени.

Подводя итоги по вышеописанному, можно выделить следующие проблемы, возникающие при организации инфраструктуры «Умного города», сети VANET и

взаимодействия автотранспорта в рамках концепции «Беспилотного автотранспорта»:

1. необходимость организации сети с большим количеством подключенных устройств;
2. большие объемы генерируемого трафика, вызванные наличием большого количества устройств в рамках концепции «Умный город»;
3. потребность в обеспечении взаимодействия между беспилотным автотранспортом с задержкой передачи данных до 1 мс;
4. неоднородность генерируемого трафика в разных зонах города и в разные моменты времени;
5. высокая подвижность автотранспорта.

Для решения вышеописанных проблем предлагается воспользоваться сетевой инфраструктурой, состоящей из многоуровневой облачной архитектуры МЕС и кластера БПЛА.

## II. СЕТИ VANET И КОНЦЕПЦИЯ «УМНОГО ГОРОДА»

Сети VANET (Vehicular Ad Hoc Networks) – сети различных автотранспортных средств (например, автобусов, трамваев, троллейбусов, грузовых и легковых машин) для автоматизации управления транспортом, грузоперевозок и транспортировки пассажиропотока [5]. В сетях автотранспорта в соответствии с рекомендацией ITU-T Y.228 реализуются следующие виды взаимодействия: транспортное средство – инфраструктура V2I, транспортное средство – транспортное средство V2V, транспортное средство – вычислительные ресурсы V2G, транспортное средство – дом V2H [5, 6].

Концепция «Умного города» – концепция города нового поколения, реализуемая с целью автоматизации жизнедеятельности всего города благодаря применению инновационных технологий и умных алгоритмов самообучения, позволяющих осуществлять управление городской инфраструктурой [6].

Сети VANET и взаимодействие беспилотного автотранспорта может быть реализовано в рамках инфраструктуры «Умного города». Однако, в данном случае необходимо обеспечить взаимодействие автотранспорта с наземной инфраструктурой: умными светофорами и умными парковками [6].

## III. ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЯ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА МЕС И КЛАСТЕРЫ БПЛА

Основная идея концепции граничных вычислений множественного доступа МЕС (Multi-access Edge Computing), ранее называемой Мобильными граничными вычисления (Mobile Edge Computing) – перенос вычислительного облака ближе к пользователю на границу сети радиодоступа, оставаясь при этом в базовой сети [7].

В основе данной концепции – использование трех видов вычислительных облаков: Микро-облака, Мини-облака и Главного облака (вычислительные облака

представлены в порядке возрастания вычислительных и запоминающих ресурсов облаков) [7, 8].

Так как Микро-облако и Мини-облако необходимо размещать в непосредственной близости к пользовательским устройствам, то его можно разместить в одной из следующих зон [7, 8]:

1. В непосредственной близости от определенной базовой станции LTE (eNB).
2. В непосредственной близости от определенного контроллера базовых станций (RNC).
3. При соединении с несколькими сайтами (несколькими eNB) – в зоне покрытия определенного контроллера базовых станций. Возможно применение вычислительного облака для обработки запросов, поступающих от разных зон базовых станций, находящихся в подчинении разных контроллеров базовых станций.
4. На границе с базовой сетью – в зоне покрытия определенной базовой станции.

Кроме Граничных вычислений множественного доступа МЕС к граничным технологиям относятся туманные вычисления FoG Computing и Cloudlet.

Туманные вычисления – децентрализованная структура с возможностью реализации высокого уровня виртуализации вычислительной платформы [7]. В основе данной концепции – понятие «капли», вычислительных устройств (микрочипов и микропроцессоров), обладающих определенными вычислительными и запоминающими ресурсами, средствами беспроводной связи, интерфейсами передачи информации. Такими устройствами могут выступать маршрутизаторы, компьютеры и ноутбуки, а также мобильные устройства пользователей.

Cloudlet можно рассматривать в качестве небольшого облачного ЦОД, отличительной особенностью которого можно считать повышенную мобильностью и расположение на границе с сетью радиодоступа. В некоторых случаях могут выступать в качестве узлов вычислительного тумана [7].

Сети БПЛА относятся к Беспроводным сенсорным сетям, состоящими из двух сегментов [8, 9]:

- наземного в состав которого входят базовая сетевая инфраструктура (базовые станции) сенсорные устройства, а также в перспективе и мобильные устройства пользователей;
- воздушного, организованного отдельными БПЛА (Беспилотными Летательными Аппаратами) или их группами.

В данной статье рассматривается кластерный способ организации летающего сегмента БПЛА. В данном способе взаимодействие БПЛА в рамках одного кластера и БПЛА одного кластера с БПЛА другого или с наземной инфраструктурой осуществляется с использованием головного узла.



предлагает отнести обработку запросов от мобильных устройств пассажиров автотранспорта, сбор данных от сенсорных устройств по маршруту следования автотранспорта, а также обеспечение взаимодействия автомобилей между собой в зоне подвижного облака.

Третий уровень – уровень кластеров БПЛА. На данном уровне предполагается, что БПЛА будут обладать функциями FoG устройств: для выполнения определенной задачи из БПЛА одного кластера будет осуществляться формирование кластера FoG.

Четвертый уровень – уровень Микро-облака, данное облако предлагается соединять с Базовыми станциями. Также предполагается, что кластер БПЛА будет прикреплен изначально к определенной Базовой станции, и Микро-облако, связанной с данной Базовой станцией, будет выполнять функции сервера FoG, заключающиеся в формировании FoG под кластера из БПЛА одного кластера.

Пятый уровень – уровень Мини-облака. Данное вычислительное облако предлагается реализовать при подключении к контроллеру Базовых станций. Выбор уровня обработки запросов устройств пешеходов и пассажиров автотранспорта, (если запрос пассажиров невозможно обработать на уровне подвижного облака) предлагается осуществлять на данном уровне.

Шестой уровень – уровень Главного облака, представляющий собой удаленный ЦОД. Функции оркестрации сети предлагается реализовать на данном уровне.

#### V. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ПРИ ПЕРВОНАЧАЛЬНОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ СЕРВИСОВ

В данной работе предлагается рассмотреть алгоритм (последовательность действий при первоначальном распределении сервисов).

Данный алгоритм будет состоять из следующих этапов:

1. Определение зон повышенной нагрузки.
2. Определение соотношения нагрузки различных зон.
3. Подсчет суммарных ресурсов отдельных БПЛА, Микро-облака, Мини-облака, Главного облака и микро-сервера Cloudlet.
4. Формирования Таблицы ресурсов БПЛА в порядке убывания суммарных ресурсов.
5. Распределение БПЛА по зонам повышенной нагрузки. Формирование кластеров БПЛА. В каждом БПЛА выбирается устройство с наибольшими суммарными ресурсами.
6. Подсчет суммарных ресурсов каждого сформированного кластера БПЛА.
7. Определение уровня, на который необходимо мигрировать сервис.
8. Осуществление миграции сервисов.

9. Отправка БПЛА в зоны повышенной нагрузки. Определяется Базовая станция, наиболее близко располагаемая к предполагаемому центру обработки данных. За формирование FoG под кластера будет отвечать Микро-облако, связанное с Базовой станцией, к которой был отправлен кластер БПЛА.

В качестве основных критериев подсчета суммарных ресурсов БПЛА предлагается использовать:

- производительность CPU;
- оперативную память (RAM);
- пропускную способность сети
- постоянную память (ROM);
- заряд батареи.

В качестве критериев для вычисления суммарных ресурсов Микро, Мини и Главного облака, а также микро-сервера Cloudlet предлагается воспользоваться критериями оперативной и постоянной памяти, пропускной способности и производительности.

Подсчет суммарных ресурсов осуществляется как суммирование произведений всех коэффициентов значимости критериев на отношении значения критерия данного устройства, по отношению к максимальному значению по определенному критерию.

#### VI. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В рамках данной работы было проведено два имитационных моделирования: в программном комплексе Anylogic и в Matlab, демонстрирующих работу предлагаемой инфраструктуры и работу алгоритма по распределению сервисов (в части формирования кластеров БПЛА для последующей миграции на них сервисов)

В программном комплексе Anylogic была проведена имитация работы предлагаемой архитектуры.

В программном комплексе Matlab проводилась имитация выполнения одной из задач предложенного алгоритма: Распределение БПЛА по зонам повышенной нагрузки с последующим формированием кластеров БПЛА и выбором головных узлов.

#### VII. ВЫВОДЫ

В данной работе была предложена инфраструктура, включающая в себя многоуровневую облачную архитектуру МЕС, кластеры БПЛА и подвижное облако на общественном автотранспорте, реализуемое микро-сервером Cloudlet. Предлагаемая инфраструктура была рассчитана на применение для сетей VANET и для концепции «Умного города», в рамках которой реализовано также взаимодействие между беспилотным автотранспортом.

В данной работе также было предложено сформировывать под кластер FoG из БПЛА одного кластера для обработки запросов пользователей.

Был предложен алгоритм (последовательность действий) по первоначальному распределению сервисов, включающий в себя также этапы по подсчету суммарных ресурсов вычислительных облаков и БПЛА, распределении БПЛА по зонам повышенной нагрузки, формировании кластера БПЛА и выборе головного узла.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Количество IoT-устройств в мире достигло 22 млрд единиц [Электронный ресурс]. – URL: <https://profit.kz/news/53350/Kolichestvo-IoT-ustrojstv-v-mire-dostiglo-22-mlrd-edinic/>
- [2] V. Nikolayevich, A. Alzaghir, A. Volkov, A. Muthanna, A. Koucheryavy, Clustering algorithms for UAV placement in 5G and Beyond Networks // 2020 12th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT).
- [3] Волков А.Н., Коваленко В.Н., Мутханна А.С.А., Родакова А.О. Система распределенных вычислений на основе летающего сегмента сети, глубоко имплементированного в архитектуру сетей связи 5g/imt-2020 и сетей 2030 // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. X Юбилейная Международная научно-техническая и научно-методическая конференция. 2021. Т. 5. С. 403-408.
- [4] Коваленко В.Н., Волков А.Н., Мутханна А.С.А, Способ снижения круговой задержки и нагрузки в сети при взаимодействии соседних вычислительных облаков многоуровневой облачной архитектуры // 74-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. 2019. 435 с.
- [5] Гольдштейн Б.С. Сети связи пост-NGN / Б.С. Гольдштейн, А.Е. Кучерявый. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 160 с.
- [6] Коваленко В.Н., Мутханна А.С.А., Интеграция контроллеров SDN и многоуровневой облачной архитектуры MEC в сети транспортных средств VANET в рамках концепции умного города // 77-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная Дню радио. 2022. 330 с.
- [7] Коваленко В.Н., Мутханна А.С.А. Перспективные технологии для снижения нагрузки на базовую сеть, применяемые на границе с сетью радиодоступа // 76 Региональную научно-техническую конференцию студентов, аспирантов и молодых ученых «СТУДЕНЧЕСКАЯ ВЕСНА – 2022», 2022. Том 1. С. 67-72.
- [8] Коваленко В.Н., Аль-Свейти Малик А.М., Мутханна А.С.А. Архитектура сети автотранспорта на основе БПЛА, SDN и гетерогенных граничных вычислений // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Том 10. № 2. С. 25–35.
- [9] Коваленко В.Н., Родакова А.О., Мутханна А.С.А., Энергоэффективный метод миграции сервисов в сетях БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации. 2021. Том 9. № 3. С. 34–47.