



МОДЕЛЬ ВЫГРУЗКИ ТРАФИКА В МНОГОУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЕ ПОГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

А. М. Аль-Свейти Малик, В. Н. Коваленко, А. С. А. Мутханна*

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

* Адрес для переписки: muthanna.asa@spbgut.ru

Аннотация—Предмет исследования. Автономные сети управления беспилотными автомобилями. **Метод исследования.** Изучение основных функциональных элементов и мест их размещения для технологий MEC, Fog; изучение видов взаимодействия устройств в сетях автотранспорта; выявление основных проблем, возникающих в сетях автотранспорта. **Основные результаты.** Подробно описаны технологии MEC, V2X; рассмотрена система, которая будет выполнена с использованием граничных вычислений, а также позволит поддерживать сверхнизкую задержку и высокую плотность для беспилотных автомобилей; создана модель для среды VANET, демонстрирующая обработку сигналов на двух уровнях граничных вычислений. **Практическая значимость.** Представленная архитектура позволит уменьшить нагрузку на базовую сеть и обеспечить предоставление сверхнизких задержек передачи, что также в будущем может способствовать внедрению в массовое применение сетей беспилотного автотранспорта. Предлагаемая архитектура может использоваться в рамках концепции «Умного города». Также стоит отметить, что многоуровневая система благодаря более близкому расположению к пользователю, будет более эффективна при формировании кластера Fog, чем при стандартной сетевой архитектуре, когда для формирования кластера будет использоваться удаленный сервер.

Ключевые слова—беспилотные автомобили, граничные вычисления, V2X.

Информация о статье

УДК 621.396.93

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 17.04.2022, принята к печати 01.06.2022.

Для цитирования: Аль-Свейти Малик А. М., Коваленко В. Н., Мутханна А. С. А. Модель выгрузки трафика в многоуровневой системе пограничных вычислений для беспилотных автомобилей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2022. Том 10. № 1. С. 1–8. DOI 10.31854/2307-1303-2022-10-1-1-8.



TRAFFIC OFFLOADING MODEL IN A MULTI-LEVEL EDGE COMPUTING SYSTEM FOR AUTONOMOUS VEHICLES

A. M. Al-Sveiti Malik, V. Kovalenko, A. Muthanna*

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

*Corresponding author: muthanna.asa@spbgut.ru

Abstract—Research subject is autonomous control networks for unmanned vehicles. **Research method** – study of the main functional elements and their locations for MEC, Fog technologies; studying the types of interaction between devices in vehicle networks; identification of the main problems arising in vehicle networks. **Main results** – MEC, V2X technologies are described in detail; considered a system that will be implemented using edge computing, and will also support ultra-low latency and high density for unmanned vehicles; a model was created for the VANET environment, demonstrating signal processing at two levels of edge computing. **Practical significance** – The presented architecture will reduce the load on the core network and ensure the provision of ultra-low transmission delays, which can also contribute to the introduction of unmanned vehicle networks into mass use in the future. The proposed architecture can be used as part of the «Smart City» concept. It is also worth noting that a multi-level system, due to its closer location to the user, will be more effective in forming a Fog cluster than with a standard network architecture, when a remote server will be used to form a cluster.

Keywords—self-driving cars, Edge Computing, V2X.

Article info

Article in Russia.

Received 17.04.2022, accepted 01.06.2022.

For citation: Al-Sveiti Malik A. M., Kovalenko V., Muthanna A.: Traffic offloading model in a multi-level edge computing system for autonomous vehicles // Telecom IT. 2022. Vol. 10. Iss. 1. pp. 1–8. DOI 10.31854/2307-1303-2022-10-1-1-8.



Введение

В последнее время технология V2X привлекает все больше внимания. Она имеет объемный круг беспроводных технологий такие, как например: Vehicle-to-Vehicle (V2V) связи автомобилей между собой, Vehicle-to-Infrastructure (V2I) связь автомобиля и инфраструктуры, Vehicle-to-Pedestrian (V2P) связь автомобиля и пешехода или велосипедиста, а также другие [1, 2]. Для решения данной проблемы была разработана технология 5G New Radio (5G NR) V2X. Также в выпуске 15 3GPP была усовершенствована производительность интерфейса PC5 (LTE-eV2X).

Однако ожидается быстрый рост количества автомобилей. Это приведет к большому увеличению количества сетевых устройств. Также эти устройства должны будут поддерживать новые функции, от более плавного движения экрана до даже голографических изображений. Такой объем данных от высокоплотной сети, в которой передача данных должна передаваться с сверхнизкой задержкой 1 мс. Этот уровень характеристик не может поддерживаться на базе сетей 5G. Решением этой проблемы будет использование в такой сети технологии 6G.

Для поддержания должного уровня задержек также необходимы промежуточные серверы для вычислений между облаком и оконечными устройствами. Такие сервера называются серверами граничных вычислений (MEC) [3, 4]. В данной работе мы рассмотрим сравнение одноуровневой и двухуровневой системы MEC.

Описание модели

Mobile Edge Computing (MEC) – технология, которая позволяет нам выполнять оперативные вычисления на близком расстоянии оконечных устройств, которыми также могут являться беспилотные автомобили [3, 4]. Эта технология значительно уменьшает задержку и выгружает сеть, что делает возможным использование таких технологий как Интернет Вещей, Дополненная Реальность, в частности голография.

В нашей модели будут использованы 3 уровня. Первый уровень включает в себя оконечные устройства, то есть автомобили, которые оснащены бортовыми блоками (OBU). Второй уровень состоит из серверов граничных вычислений на границе сети радиодоступа. Этот уровень состоит из двух видов серверов: микрооблачный сервер, который находится в непосредственной близости к оконечным устройствам и миниоблачного сервера который объединяет несколько микрооблачных. Третий уровень представляет из себя центральный облачный сервер, который находится далеко от оконечных устройств, но обладает большой вычислительной областью. Данная структура представлена на рис. 1.

Также на рис. 1 отображена зона 5G BackHaul, состоящая из двух частей: мобильной и сети доступа/базовой сети. На коммутаторах и маршрутизаторах могут быть реализованы технологии программно-конфигурируемых сетей SDN и виртуализации сетевых функций NFV.

Уровень сервисов может быть реализован на 3 уровне предлагаемой архитектуры (рис. 1).



На рис. 1 представлено 2 Мини-облака и 2 зоны с подконтрольными им Микро-облаками.

Сбор данных от автотранспорта может осуществляться базовыми станциями, расположенными на различных зданиях и соединенных с Микро-облаками.

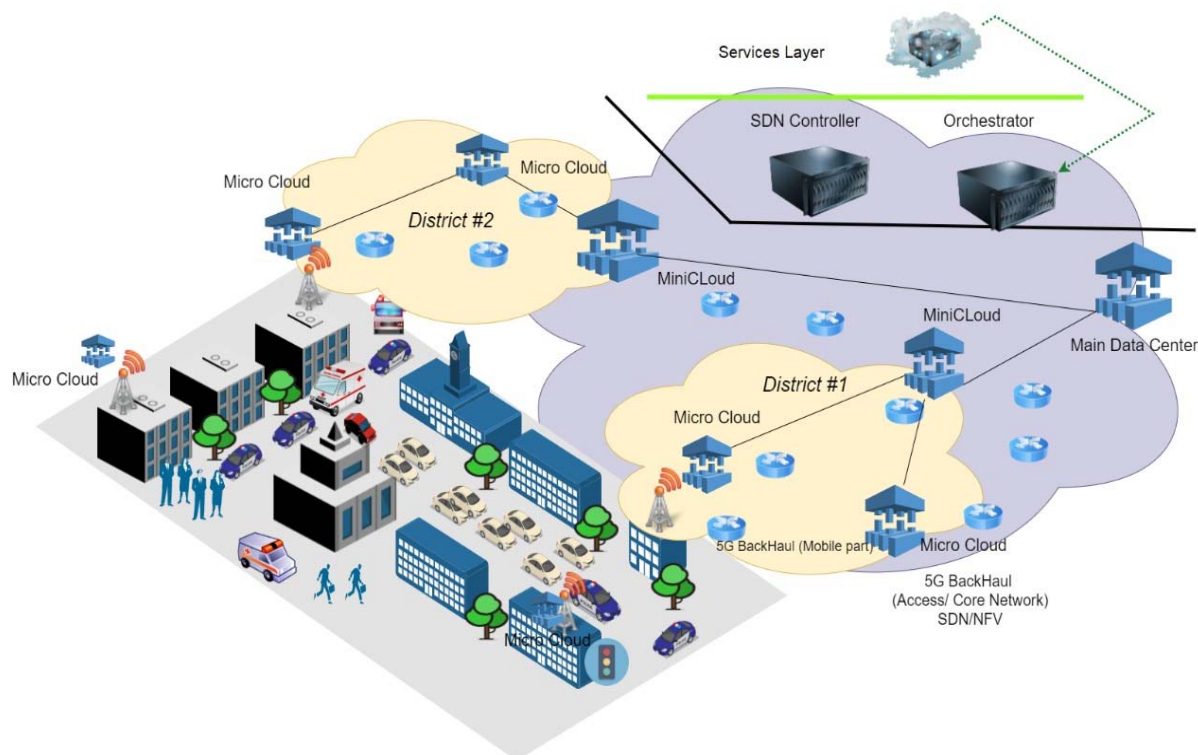


Рис. 1. Многоуровневая система облачной системы

Далее рассмотрим немного подробнее второй уровень нашей системы. Как и говорилось ранее она состоит из двух уровней. Первый уровень, представляющий из себя микрооблачные сервера, которые получают сигнал от базовой станции, получающей сигналы от оконечных устройств. Эта станция образует небольшую область, которую будет обрабатывать данный сервер. Несколько микрооблачных серверов в свою очередь связаны с Мини-облачным сервером с помощью антенны, которая формирует пучки и обслуживает Микро-облачные сервера.

Мини-облачные сервера для снижения задержек передачи пакетов данных, предлагается, как и Микро-облачные сервера, размещать в непосредственной близости от границы сети радиодоступа. Микро-облако может быть развернуто вблизи от базовой станции, через которую и осуществляется передача потоков данных от пользовательских устройств на данное Микро-облако, или в зоне покрытия базовой станции. Мини-облако в свою очередь может быть развернуто в непосредственной близости от контроллера базовых станций. В данном случае предлагается связать Мини-облако с Микро-облаками, получающие сигналы от базовых станций, подконтрольных данному контроллеру базовых станций. Мини-облако может также быть организовано на логическом уровне контроллера базовых станций, но без подключения к определенному контроллеру. В данном



случае Мини-облако будет использоваться для объединения Микро-облаков, получающих сигналы от базовых станций нескольких различных контроллеров базовых станций.

В том случае, если, например, микро-облачные сервера не справляются с потоком данных в его области, они отправляют эти данные на следующий уровень. Поэтому процесс обработки потока данных будет представлять из себя систему очередей. Запросы, которые не были своевременно обработаны на одном уровне, будут перенесены на следующий пока не дойдут самого высокого.

На третьем уровне предлагаемой системы вместе с центральным облачным сервисом предлагается размещать контроллер SDN и оркестратор (рис. 1).

Управление логической передачи данных от Микро-облако до Мини облака, а также от Мини-облака до центрального облачного сервера предлагается осуществлять с помощью контроллера программно-конфигурируемых сетей SDN [5]. Для осуществления управления потоками данных в рамках концепции SDN также потребуется реализовать функции коммутаторов SDN на Микро-облаках и Мини-облаках.

Такая система может быть использована, как для сети VANET, все запросы в которой являются одноприоритетными, так и для туманных вычислений, запросы в которой могут быть разного приоритета.

Стоит отметить, что вычислительным облакам второго уровня предлагаемой нами архитектуры (Микро-облаку и Мини облаку) могут быть переданы функции сервера Fog, заключающиеся в формировании кластера из устройств Fog для обработки потоков данных [6]. При этом в качестве устройств Fog могут рассматриваться как умные светофоры, камеры видеонаблюдения и информационные стенды, реализуемые в рамках еще одной перспективной концепции в сетях инфокоммуникаций – концепции Умного города, так и мобильные устройства пешеходов и пассажиров общественного автотранспорта¹.

Для примера рассмотрим модель, основанную на среде VANET.

Анализ моделирования для среды VANET

Была создана модель, которая показывает обработку сигналов на двух уровнях граничных вычислений. Запросы второго уровня представляют из себя, те запросы, которые не были обработаны на первом уровне

Распределение отклика для одноуровневой и двухуровневой систем, полученных по результатам моделирования можно увидеть на рис. 2 (см. ниже).

Трафик, идущий ко второму уровню в зависимости от времени представлен на рис. 3 (см. ниже).

На рис. 2 и 3 используются следующие обозначения, $f(t)$ или $f(T)$ – функции распределения времени отклика и времени поступления, t – значение времени отклика, T – время поступления трафика, мс или МС указывают, что время отклика и время поступления измеряются в миллисекундах.

¹ Умный город: технологии, описание концепции - lot.ru. URL: <https://iot.ru/wiki/umnyy-gorod>

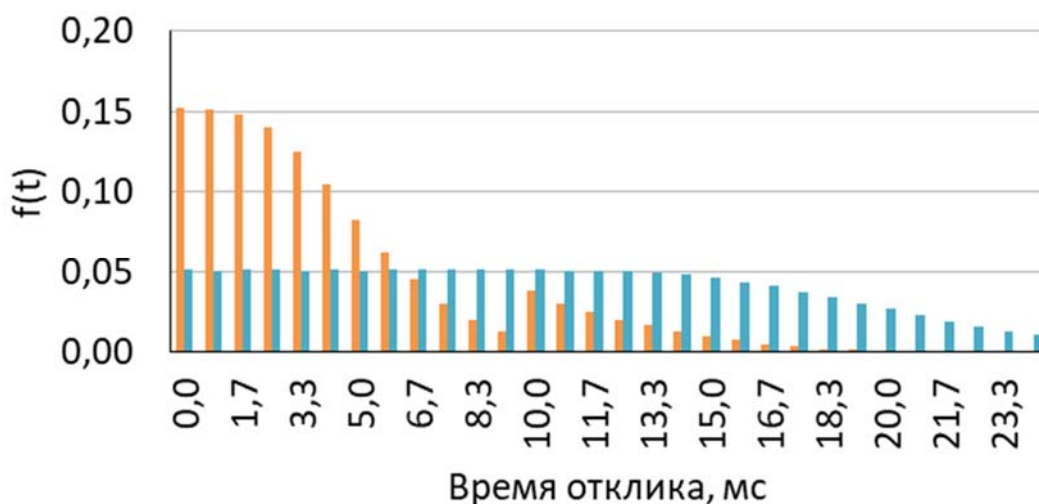


Рис. 2. Распределение времени отклика в двухуровневой системе

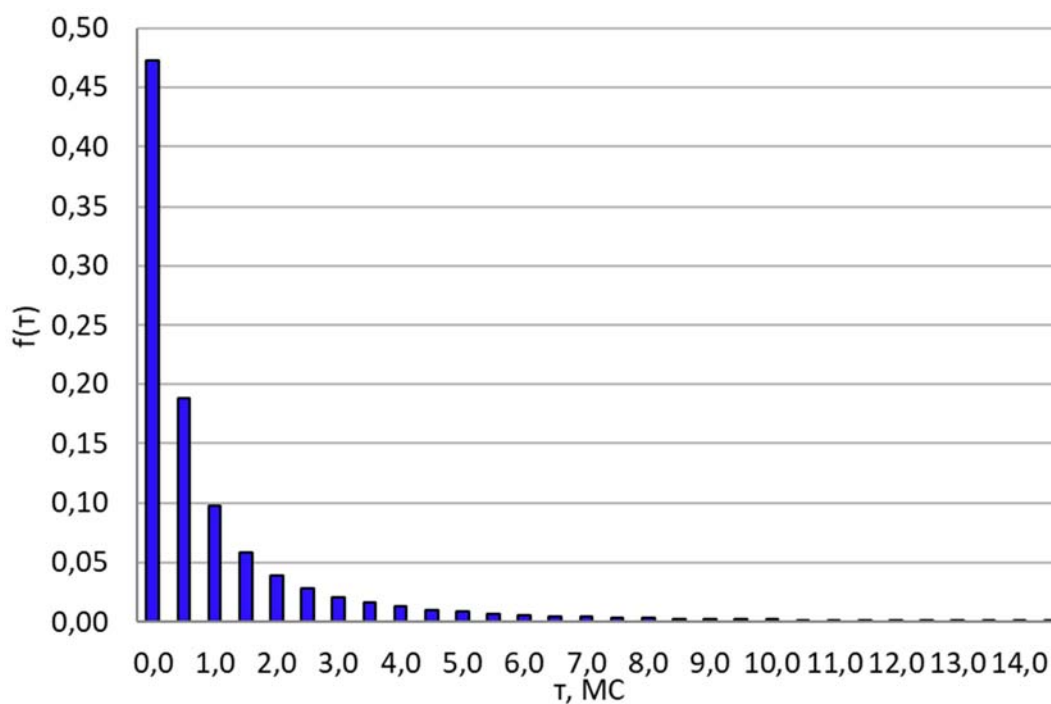


Рис. 3. Распределение времени поступления трафика второго уровня

Результаты моделирования ярко показывают, что двухуровневая система более устойчивая, при помощи ее использования можно существенно поднять скорость обработки и существенно понизить задержку в сети, что и являлось целью разработки такой архитектуры.

Заключение

В качестве заключения хотелось бы выделить, что технология граничных вычислений (МЕС) могут стать отличным решением для таких сетей, как VANET. Это повысит характеристики этой локальной сети, обслуживаемой граничным серверами. Но иногда такая система может не справиться с нагрузкой, которая



постоянно меняется, из-за высокой мобильности пользователей. Для такой проблемы прекрасно подходит многоуровневая система граничных вычислений, где сервер уровня будет обрабатывать излишний трафик, для выгрузки сети и предотвращения ухудшения работы серверов уровня ниже. В этой статье была создана модель, которая обрабатывает сигналы этих уровней, результаты моделирования показали, что двухуровневая система способна поднять скорость обработки и понизить задержку в сети.

Стоит также отметить, что предлагаемая система обладает также высокими возможностями интеграции в концепцию умного города, так как позволяет обрабатывать большие объемы данных от систем видеонаблюдения, информационных стендов, и умных светофоров, при этом обеспечивая низкие значения задержек передачи пакетов данных. Предлагаемая система также позволит более эффективно организовывать кластеры Fog, так как сервера Fog (по сравнению с ЦОД) обладают более близким расположением к устройствам Fog, что позволит своевременно получать информацию о их свободных ресурсах (оперативной памяти, пропускной способности каналов связи, заряде батареи, CPU).

Предлагаемая архитектура в будущем может способствовать внедрению различных сервисов для пассажиров наземного автотранспорта, так как позволит обрабатывать данные, поступающие от мобильных устройств пользователей при высоком пассажиропотоке.

Исследование выполнено в рамках выполнения ПНИ по государственному заданию СПбГУТ на 2022 год.

Литература

1. Гольдштейн Б. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пост-NGN. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. 160 с.
2. Коваленко В. Н., Березин В. А., Мутханна А. С. А Система для сетей VANET на основе SDN/MEC // 73-я региональная научно-техническая Конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Студенческая весна – 2019». 2019. Т. 1. С. 57–61.
3. Коваленко В. Н., Волков А. Н., Мутханна А. С. А. Снижение круговой задержки и нагрузки в многоуровневой облачной архитектуре // 74-я Научно-техническая конференция Санкт-Петербургского НТО РЭС им. А. С. Попова, посвященная Дню радио. 2019. № 1 (74). С. 160-161.
4. Филимонова М. И., Атея А. А., Мутханна А. С. Исследование облачных вычислений в сотовых сетях // Информационные технологии и телекоммуникации. 2017. Т. 5, № 3. С. 45-59.
5. Модель М. В., Коваленко В. Н., Волков А. Н., Мутханна А. С. А. Методы реализации контроллеров SDN в сети БПЛА // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 4. С. 23–34. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-23-34.
6. 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. СПб.: СПбГУТ, 2021. Т. 4. С. 403–408.

References

1. Gol'dshtejn B. S., Kucheryavyj A. E. Seti svyazi post-NGN. SPb.: BHV-Peterburg, 2014. 160 s. (in Russian).



2. Kovalenko V. N., Berezin V. A., Muthanna A. S. A Sistema dlya setej VANET na osnove SDN/MEC // 73-ya regional'naya nauchno-tekhnicheskaya Konferenciya studentov, aspirantov i molodyh uchenykh «Studencheskaya vesna – 2019». 2019. T. 1. C. 57–61 (in Russian).

3. Kovalenko V. N., Volkov A. N., Muthanna A. S. A. Snizhenie krugovoj zaderzhki i nagruzki v mnogourovnevoj oblachnoj arhitekture // 74-ya Nauchno-tekhnicheskaya konferenciya Sankt-Peterburgskogo NTO RES im. A.S. Popova, posvyashchennaya Dnyu radio. 2019. № 1 (74). S. 160-161. (in Russian).

4. 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).

5. Model M., Kovalenko V., Volkov A., Muthanna A.: Implementation Methods for SDN Controllers in a UAV Network // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss 4. pp. 23–34 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-4-23-34.

6. Volkov A., Kovalenko V., Muthanna A., Rodakova A. A Distributed computing system based on a flying network segment, deeply implemented in the architecture of 5G / IMT-2020 communication networks and 2030 networks // 10th International Conference on Advanced Infotelecommunications (ICAIT 2021). SPb.: SPbSUT, 2021. Vol. 4. PP. 403–408 (in Russian).

Аль-Свейти Малик А. М.

аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, aldonasmr@gmail.com

Al-Sveiti Malik A. M.

Postgraduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, aldonasmr@gmail.com

Коваленко Вадим Николаевич

аспирант Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, kovalenkovadim1996@gmail.com

Kovalenko Vadim N.

Postgraduate, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, kovalenkovadim1996@gmail.com

Мутханна Аммар Салех Али

кандидат технических наук, доцент кафедры Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, ammarexpress@gmail.com

Muthanna Ammar S.

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor at the Department, The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Telecommunications, ammarexpress@gmail.com