

АНАЛИЗ ПРИЛОЖЕНИЙ И ПЕРСПЕКТИВ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГРАНИЧНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ С МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ В СЕТЯХ СВЯЗИ

Д. В. Кашкаров¹, А. Е. Кучерявый^{2*}

¹ООО «Сигма», Санкт-Петербург, 191014, Российская Федерация

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, 193232, Российская Федерация

*Адрес для переписки: akouch@mail.ru

Аннотация—Предмет исследования. Статья посвящена анализу применения и перспективам развития технологий граничных вычислений в сетях связи пятого и последующих поколений. **Метод.** Системный анализ. **Основные результаты.** Определение перспектив развития технологий граничных вычислений в сетях связи пятого и последующих поколений. **Практическая значимость.** Результаты статьи могут быть использованы научными организациями при планировании развития сетей связи, а также университетами в учебном процессе.

Ключевые слова—Сети связи пятого и последующих поколений, сети связи с ультрамалыми задержками, мобильные граничные вычисления, граничные вычисления с множественным доступом.

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 27.03.2020, принята к печати 10.04.20.

Ссылка для цитирования: Кашкаров Д. В., Кучерявый А. Е. Анализ приложений и перспектив развития технологий граничных вычислений с множественным доступом в сетях связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 28–33. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-28-33.

THE MULTI-ACCESS EDGE COMPUTING APPLICATIONS AND DEVELOPMENT ANALYSIS FOR TELECOMMUNICATION NETWORKS

D. Kashkarov¹, A. Koucheryavy^{2*}

¹SIGMA LLC, St. Petersburg, 191014, Russian Federation

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

*Corresponding author: akouch@mail.ru

Abstract—Research subject. The article is devoted to the analysis of the applications and development of the multi-access edge computing on fifth-generation and beyond telecommunication networks. **Method.** System analysis. **Core results.** The identification of development perspectives of a multi-access edge computing on fifth-generation and beyond telecommunication networks. **Practical relevance.** The results of the article can be used by scientific organizations when planning the development of telecommunication networks, as well as universities in the educational process.

Key words—Fifth-generation and beyond telecommunication networks, telecommunication networks with ultra low latency, mobile edge computing, multi-access edge computing.

Article info

Article in Russian.

Received 27.03.2020, accepted 30.03.2020.

For citation: Kashkarov D., Koucheryavy A.: The Multi-Access Edge Computing Applications and Development Analysis for Telecommunication Networks // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 28–33 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-28-33.

Введение

Появление концепции Тактильного Интернета [1, 2, 3] привело к формированию иного взгляда на архитектуру сетей связи. Действительно, для обеспечения круговой задержки в 1мс требуется переместить ресурсы сети как можно ближе к пользователям, заинтересованным в услугах Тактильного Интернета. Не случайно, концепция Тактильного Интернета способствует децентрализации сети и создает предпосылки для децентрализации экономики в целом [4].

Сети, в которых реализуется требование по круговой задержке в 1 мс для Тактильного Интернета, 5 мс для дополненной реальности [5], 10 мс для беспилотных автомобилей [6] и т. п. с учетом одновременно высоких требований по надежности сети назвали сверх высоконадежными сетями с ультрамалыми задержками uRLLC (*ultra Reliable and Low Latency Communications*) [7, 8, 9]. Требования по сверх высокой надежности исходят из важности предоставляемых услуг. При этом коэффициент готовности может составлять 0,999999, а время недоступности сети 4 мс в год [10]. Следует отметить также, что задержка для сетей uRLLC определяется в диапазоне от 1 мс до 10 мс [6].

Первоначально институт ETSI для граничных вычислений ввел аббревиатуру MEC, которая до последнего времени расшифровывалась как Mobile Edge Computing¹. Однако на сегодняшний день с учетом существенного расширения области применения граничных вычислений и гетерогенного характера сетей доступа [11, 12] этот же институт предложил расшифровывать MEC как Multi-access Edge Computing², что и будем дальше подразумевать при использовании аббревиатуры MEC.

¹ Mobile Edge Computing A key technology towards 5G, ETSI White Paper, No. 11, September 2015.

² ETSI GS MEC 003 V2.1.1. Multi-access Edge Computing; Framework and Reference Architecture, January, 2019.

Приложения МЕС для Тактильного Интернета

Классической работой по использованию МЕС для реализации Тактильного Интернета является работа по многоуровневой облачной архитектуре [13]. На рисунке изображена многоуровневая облачная архитектура из этой статьи.

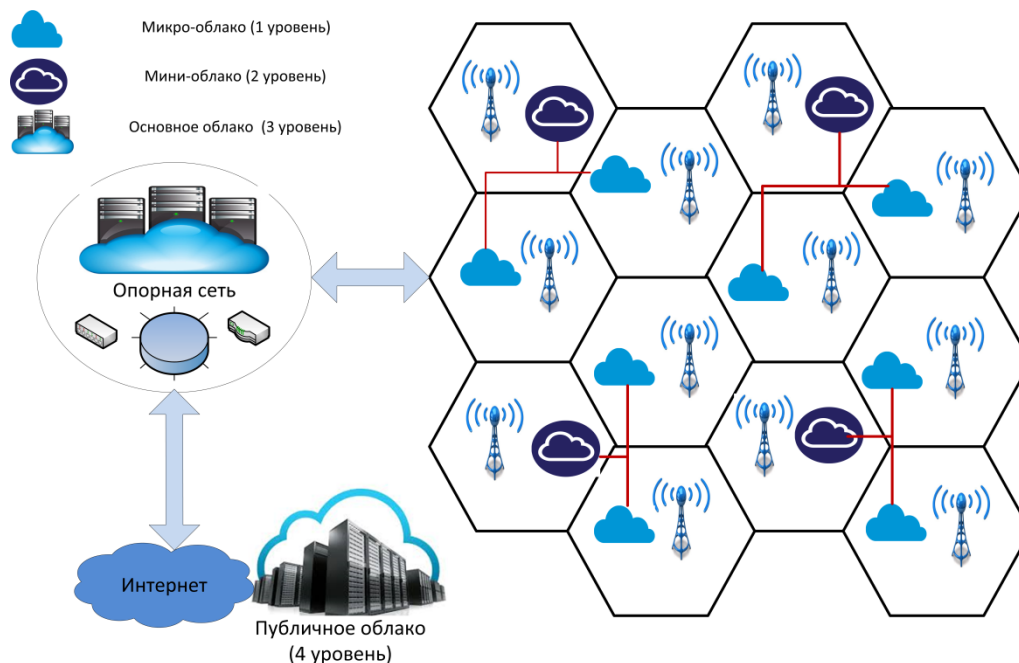


Рисунок. многоуровневая облачная архитектура [13]

Как видим, существует несколько уровней облаков, в том числе операторское облако в ядре сети и публичные облака различных провайдеров, в том числе Google, Amazon и т. д. Очевидным представляется то, что публичные облака могут предоставлять разнообразные услуги пользователям, но услуги Тактильного Интернета с требуемым качеством обслуживания с помощью таких облаков предоставлять практически невозможно вследствие фундаментальных ограничений по скорости распространения света. Как показано в [4], при предположении о мгновенной обработке сообщений программно-аппаратными средствами сети в идеальном случае услуги Тактильного Интернета могут быть оказаны с требуемым качеством в круге радиусом не более 50 км. При этом, для операторских компаний также возникает целый ряд территориальных ограничений по оказанию услуг Тактильного Интернета с использованием операторского облака.

Поэтому, единственным реальным выходом является использование технологии МЕС. В данном случае микро и мини облака устанавливаются на уровне базовых станций (уровень доступа) и связываются между собой высокоскоростными оптическими трактами. Как доказано в [13, 14], такое решение обеспечивает круговую задержку для услуг Тактильного Интернета величиной в 1 мс.

В дальнейшем на основе этого подхода были разработаны решения для сетей связи пятого поколения [15], в том числе при использовании технологии взаимодействия устройство-устройство D2D (*Device-to-Device*) [16], для сетей автомобильного транспорта VANET (*Vehicular Ad Hoc Networks*) [17] и для дополненной реальности [18].

Перспективы развития технологий граничных вычислений в сетях связи пятого и последующих поколений

Сети связи пятого и последующих поколений являются гетерогенными сетями, поэтому использование MEC-технологий и далее будет находить широкое применение в различных сетях и системах, входящих в состав сетей 5G, 6G [19] и сетей 2030 [20, 21]. При этом уже сегодня можно выделить следующие, заслуживающие пристального внимания приложения MEC:

- беспилотные летательные аппараты как программно-технические средства как для выгрузки трафика, так и для использования в качестве микро и мини облачных структур [22];

- наземно-спутниковые сети, включающие в свой состав как наноспутники, так и беспилотные летательные аппараты для уменьшения расстояния между наземными объектами и объектами спутниковых сетей [23], в англоязычной литературе получили название Space-Terrestrial Networks (STN);

- применение MEC для обеспечения характеристик надежности, требующихся в uRLLC, а именно: коэффициента готовности значением 0,99999 и недоступности сети 4 мс в сутки. Здесь потребуются разработка новых методов построения D2D сетей.

Конечно же, этим перечнем не исчерпываются направления исследований в области технологий MEC, но на сегодняшний день эти направления представляются нам одними из наиболее значимых.

Заключение

В статье проанализированы приложения и перспективы развития технологий граничных вычислений в сетях связи пятого и последующих поколений. На основе анализа существующего состояния с достижениями в этой области сформулированы перспективные направления исследований в области применения технологий MEC для сетей связи.

Литература

1. G. P. Fettweis, The tactile internet: Applications and challenges // IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 9, no. 1, pp. 64–70, 2014.
2. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
3. Кучерявый А. Е., Выборнова А. И. Тактильный Интернет // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании: V Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. АПИНО. 2016. Том 1. С. 6–11.
4. Бородин А. С., Кучерявый А. Е. Сети связи пятого поколения как основа цифровой экономики // Электросвязь. 2017. № 5. С. 45–49.
5. Маколкина М. А. Разработка и исследование комплекса моделей трафика и методов оценки качества для дополненной реальности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.12.13 / Маколкина Мария Александровна. СПб., 2020. 40 с.
6. Z. Li, M. Uusitalo, H. Shariatmadari, B. Singh. 5G URLLC: Design Challenges and System Concepts // 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), October 8–9. Tokyo, Japan, 2018, 6 p.
7. P. Popovski and all. Wireless Access for Ultra-Reliable Low Latency Communications // IEEE Network, v. 32, iss. 2. March–April 2018, pp. 16–23.
8. G. P. Povolni and all. Achieving Ultra-Reliable Low-Latency Communications: Challenges and Envisioned System Enhancements // IEEE Network, 32 (2), March 2018, pp. 8–15.

9. Кучерявый А. Е. Сети связи с ультрамалыми задержками // Труды ФГУП НИИР, Юбилейный выпуск, 2019.
10. M. F. Zhahi, H. ElBakoury. Introducing FlexNGIA: A Flexible Internet Architecture for the Next-Generation Tactile Internet // 4th ITU Workshop on Network 2030 jointly with ITU FORUM on Future Applications and Services. Perspective 2030. Saint-Petersburg, Russian Federation, 21–23 May 2019, URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Pages/programme.aspx>
11. Кучерявый Е. А. Разработка и исследование комплекса моделей и методов распределения ресурсов в беспроводных гетерогенных сетях связи : дис. ... д-ра техн. наук : 05.12.13 / Кучерявый Евгений Андреевич. М., 2018. 416 с.
12. Andreev S, Gerasimenko M., Galinina O., Koucheryavy Y., Himayat N., Yeh S.-P., Talwar S. Intelligent Access Network Selection in Converged Multi-Radio Heterogeneous Networks // IEEE Wireless Communications, v. 21, No 6, pp. 86–96.
13. Атея А. А., Выборнова А. И., Кучерявый А. Е. Многоуровневая облачная архитектура для услуг Тактильного Интернета // Электросвязь. 2017. № 2. С. 26–30.
14. Ateya, A. A., Vybornova, A., Kirichek, R. and Koucheryavy, A. Multilevel cloud based Tactile Internet system. In Advanced Communication Technology (ICTACT) // 2017 19th International Conference on (pp. 105–110). IEEE. 2017, February.
15. Атея, А. А., Мутханна А. С., Кучерявый А. Е. Интеллектуальное ядро для сетей связи 5G и тактильного интернета на базе программно-конфигурируемых сетей // Электросвязь. 2019. № 3. С. 34–40.
16. A. A. Ateya, A. Muthanna and A. Koucheryavy, 5G framework based on multi-level edge computing with D2D enabled communication // In 2018 20th international conference on advanced communication technology (ICTACT), pp. 507–512. IEEE, 2018.
17. A. Vladyko and all. Distributed Edge Computing to Assist Ultra-Low Latency VANET Application // Future Internet, 11 (6), June 2019.
18. Маколкина М. А., Атея А. А., Мутханна А. С. А., Кучерявый А. Е. Метод выгрузки трафика приложений дополненной реальности в многоуровневой системе граничных вычислений // Электросвязь. 2019. № 6. С. 36–42.
19. K. Leppanen, M. Latva-aho. Key Drivers and Research Challenges for 6G // Fifth ITU Workshop on Network 2030. Geneva, Switzerland, 14–16 October 2019. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/2019101416/Pages/programme.aspx>
20. Кучерявый А. Е., Бородин А. С., Киричек Р. В. Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56.
21. Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Borodin A., Koucheryavy A. Future Networks 2030: Architecture and Requirements // The 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT), November 2018, Moscow. Proceedings, 2018.
22. A. A. A. Ateya, A. Muthanna, R. Kirichek, M. Hammoudeh, A. Koucheryavy, Energy- and Latency-Aware Hybrid Offloading Algorithm for UAVs // IEEE Access. 7, pp. 37587–37600 (2019).
23. A. Anttonen, P. Ruuska, V. Kiviranta. 3GPP nonterrestrial networks. VTT Technical Research Centre of Finland, 01.01.2019.

References

1. G. P. Fettweis, The tactile internet: Applications and challenges // IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 9, no. 1, pp. 64–70, 2014.
2. Koucheryavy, A. E., Makolkina, M. A., Kirichek, R. V. Tactile Internet. Ultra Low Latency Communication Networks // *Elektrosvyaz'*. 2016. No. 1. pp. 44–46.
3. Koucheryavy A., Vybornova A. Tactile Internet // 5th International conference on advanced infotelecommunications. 2016. Vol. 1. pp. 6–11.
4. Borodin A. S., Koucheryavy A. E. Fifth generation networks as a base to the digital economy // *Elektrosvyaz'*. 2017. No 5. pp. 45–49.
5. Makolkina M. A. Razrabotka i issledovaniye kompleksa modeley trafika i metodov otsenki kachestva dlya dopolnennoy realnosti : avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.12.13 / Makolkina Mariya Aleksandrovna. SPb.. 2020. 40 s.

6. Z. Li, M. Uusitalo, H. Shariatmadari, B. Singh. 5G URLLC: Design Challenges and System Concepts // 15th International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), October 8–9. Tokyo, Japan, 2018, 6 p.
7. P. Popovski and all. Wireless Access for Ultra-Reliable Low Latency Communications // IEEE Network, v. 32, iss. 2. March–April 2018, pp. 16–23.
8. G. Pocovi and all. Achieving Ultra-Reliable Low-Latency Communications: Challenges and Envisioned System Enhancements // IEEE Network, 32 (2), March 2018, pp. 8–15.
9. Kucheryavy A. E. Seti svyazi s ultramalymi zaderzhkami // Trudy FGUP NIIR. Yubileynyy vypusk. 2019.
10. M. F. Zhahi, H. ElBakoury. Introducing FlexNGIA: A Flexible Internet Architecture for the Next-Generation Tactile Internet // 4th ITU Workshop on Network 2030 jointly with ITU FORUM on Future Applications and Services. Perspective 2030. Saint-Petersburg, Russian Federation, 21–23 May 2019, URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201905/Pages/programme.aspx>
11. Kucheryavy E. A. Razrabotka i issledovaniye kompleksa modeley i metodov raspredeleniya resursov v besprovodnykh geterogennykh setyakh svyazi : dis. ... d-a tekhn. nauk : 05.12.13 / Kucheryavy Evgeniy Andreyevich. M.. 2018. 416 s.
12. Andreev S, Gerasimenko M., Galinina O., Koucheryavy Y., Himayat N., Yeh S.-P., Talwar S. Intelligent Access Network Selection in Converged Multi-Radio Heterogeneous Networks // IEEE Wireless Communications, v. 21, No 6, pp. 86–96.
13. Ateya A. A., Vybornova A. I., Koucheryavy A. E. Multilevel cloud architecture for tactile internet applications // Electrosvyaz'. 2017. No 2. pp. 26–30.
14. Ateya, A. A., Vybornova, A., Kirichek, R. and Koucheryavy, A. Multilevel cloud based Tactile Internet system. In Advanced Communication Technology (ICACT) // 2017 19th International Conference on (pp. 105–110). IEEE. 2017, February.
15. Ateya A. A., Muthanna A. S., Koucheryavy A. E. Intelligent core network for 5G and tactile internet systems based on software defined networks // Electrosvyaz'. 2019. No 3. pp. 34–40.
16. A. A. Ateya, A. Muthanna and A. Koucheryavy, 5G framework based on multi-level edge computing with D2D enabled communication // In 2018 20th international conference on advanced communication technology (ICACT), pp. 507–512. IEEE, 2018.
17. A. Vladyko and all. Distributed Edge Computing to Assist Ultra-Low Latency VANET Application // Future Internet, 11 (6), June 2019.
18. Makolkina M. A., Ateya A. A., Muthanna A. S. A., Koucheryavy A. E. A new multilevel MEC based scheme for traffic management in AR based networks // Electrosvyaz'. 2019. No 6. pp. 36–42.
19. K. Leppanen, M. Latva-aho. Key Drivers and Research Challenges for 6G // Fifth ITU Workshop on Network 2030. Geneva, Switzerland, 14–16 October 2019. URL: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/2019101416/Pages/programme.aspx>
20. Koucheryavy A. E., Borodin A. S., Kirichek R. V. Network 2030 // Electrosvyaz'. 2018. № 11. pp. 52–56.
21. Yastrebova A., Kirichek R., Koucheryavy Y., Borodin A., Koucheryavy A. Future Networks 2030: Architecture and Requirements // The 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems (ICUMT), November 2018, Moscow. Proceedings, 2018.
22. A. A. A. Ateya, A. Muthanna, R. Kirichek, M. Hammoudeh, A. Koucheryavy, Energy- and Latency-Aware Hybrid Offloading Algorithm for UAVs // IEEE Access. 7, pp. 37587–37600 (2019).
23. A. Anttonen, P. Ruuska, V. Kiviranta. 3GPP nonterrestrial networks. VTT Technical Research Centre of Finland, 01.01.2019.

Кашкаров Дмитрий Владимирович – генеральный директор ООО «Сигма»
Kashkarov Dmitry – General Director of Sigma LLC

Кучерявый Андрей Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, akouch@mail.ru
Koucheryavy Andrey – Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Head of the Department, The Bonch-Bruевич Saint-Petersburg State University of Telecommunications, akouch@mail.ru