

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛОТНОСТИ УСТРОЙСТВ В СЕТЯХ СВЯЗИ ПЯТОГО ПОКОЛЕНИЯ

Е. В. Тонких

Научно-исследовательский институт радио, Москва, 105064, Российская Федерация
Адрес для переписки: et@niir.ru

Аннотация—Предмет исследования. Статья посвящена анализу характеристик плотности устройств в сетях связи пятого поколения. Рассматриваются характеристики плотности устройств и их влияние на построение сетей связи пятого поколения. **Метод.** Системный анализ. **Основные результаты.** Определение научных задач в области построения высокоплотных и сверхплотных сетей связи пятого поколения и последующих. **Практическая значимость.** Результаты статьи могут быть использованы научными и проектными организациями при планировании развития сетей связи, а также университетами в учебном процессе.

Ключевые слова—Сети связи пятого поколения, высокоплотные сети, сверхплотные сети, сети связи с ультрамалыми задержками, взаимодействие устройство–устройство D2D.

Информация о статье

УДК 621.391

Язык статьи – русский.

Поступила в редакцию 26.03.20, принята к печати 10.04.20.

Ссылка для цитирования: Тонких В. В. Анализ характеристик плотности устройств в сетях связи пятого поколения // Информационные технологии и телекоммуникации. 2020. Том 8. № 1. С. 22–27. DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-22-27.

THE DENSE OF DEVICES ANALYSIS FOR 5G NETWORKS

E. Tonkikh

Radio research and development institute

Corresponding author: kirichek.sut@mail.ru

Abstract—Research subject. The article is devoted to the analysis of the characteristics of the density of devices in fifth-generation telecommunication networks. The characteristics of the density of devices and their influence on the structure of fifth-generation telecommunication networks are considered. **Method.** System analysis. **Core results.** The scientific tasks in the field of building high-dense and ultra high-dense telecommunication networks of the fifth generation and subsequent are determined. **Practical relevance.** The results of the article can be used by scientific and design

organizations when planning the development of telecommunication networks, as well as universities in the educational process.

Key words—Fifth-generation telecommunication networks, high-dense and ultra high-dense telecommunication networks, telecommunication networks with ultra low latency, device-to-device communications D2D.

Article info

Article in Russian.

Received 26.03.20, accepted 10.04.20.

For citation: Tonkikh E.: The Dense of Devices Analysis for 5G Networks // Telecom IT. 2020. Vol. 8. Iss. 1. pp. 22-27 (in Russian). DOI 10.31854/2307-1303-2020-8-1-22-27.

Введение

Появление концепции Интернета Вещей [1, 2] принципиальным образом изменило понимание количественных характеристик клиентской базы сетей связи. Вещи, как физические, так и виртуальные¹ точно так же, как и иные терминалы сети для целей их идентификации и адресации в сети должны были иметь и IP адрес, и интерфейс с сетью. Поскольку вещей существенно больше, чем людей, прогнозы количественного развития сетей связи [3] привели к пониманию того, что со временем должны появиться триллионные сети [4].

Самым важным при этом оказалось даже не просто количество вещей, а их плотность. Первая попытка стандартизовать плотность пользователей, включая вещи, на 1 кв. км была предпринята 3GPP, в соответствии с 3GPP TR 38.913² предельное число пользователей было определено в 1 млн на 1 кв. км. Это привело к понятию высокоплотных (*high dense*) [5] сверхплотных (*ultra dense*) [6] сетей. В дальнейшем при работах над сетями шестого поколения [7] и сетями 2030 [8, 9] эти значения были экстраполированы и на случай трехмерного пространства. В соответствии с [10] предельное число пользователей на 1 кубический метр составляет 10 млн. Поэтому, далее будем использовать термин высокоплотные сети для плоскости, а термин сверхплотные сети для трехмерного пространства.

Следует отметить, что еще одной принципиально важной особенностью сетей связи пятого и последующих поколений является требование по ультрамалой задержке в 1 мс. Происходящее из концепции сетей связи с малыми задержками [11] и Тактильного Интернета [12, 13, 14] это требование также существенно влияет на построение сетей связи. В данной работе основное внимание уделяется высокоплотным и сверхплотным сетям связи, тем не менее в необходимых случаях учитываются и требования по ультрамалой задержке, например, при исследованиях в области взаимодействий устройство-устройство D2D (*Device-to-Device*) [15, 16].

¹ Recommendation Y.2060. Overview of Internet of Things. ITU-T, Geneva. June 2012.

² 3GPP TR 38.913, Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies, Ver. 14.3.0, June. 2017.

Анализ существующих работ в предметной области

Научные проблемы, которые возникли вследствие появления высокоплотных и сверхплотных сетей, можно разделить на несколько классов:

1. Скопление чрезмерно большого числа устройств на сети доступа.
2. Значительное увеличение нагрузки не только на сеть доступа, но и на ядро сети.
3. Отсутствие методов маршрутизации трафика внутри сети доступа.
4. Отсутствие методов эксплуатационно-технического управления для высокоплотных и сверхплотных сетей доступа, в том числе организации системы оперативно-розыскных мероприятий.

Можно было бы назвать и еще ряд проблем, вызванных появлением высокоплотных и сверхплотных сетей доступа, но и так понятно, что для решения уже указанных требуются новые системно-сетевые решения.

Одним из первых, и надо признать достаточно эффективных методов, обеспечивающих решение ряда вышеперечисленных проблем, являлась так называемая выгрузка трафика. В работах [17, 18] были предложены достаточно эффективные методы выгрузки трафика, не решающие, к сожалению, проблемы перегрузки ядра сети. Существенный прорыв в этом направлении исследований наступил при реализации концепции граничных вычислений MEC (*Mobile Edge Computing*)³, что позволило не только разгрузить ядро сети, но и решить вопросы по уменьшению задержки в рамках концептуальных положений по Тактильному Интернету при построении многоуровневых облачных систем [19, 20].

Однако решить все вышеуказанные проблемы в комплексе оказывается возможным только при реализации взаимодействия устройство-устройство D2D [21]. Конечно же, важную роль при этом играют и технологии граничных вычислений, и методы выгрузки трафика, но только использование D2D вместе с ними, например, позволяет существенным образом уменьшить потери [22].

Вплоть до последнего времени технология D2D рассматривалась как обеспечение взаимодействия между устройствами без использования ядра сети и/или базовой станции. Однако в работах [23, 24] был сделан определяющий шаг в данном направлении исследований: было предложено рассматривать D2D как сеть, и тогда появилась возможность реализации соответствующего эксплуатационно-технического управления, например, при установке дополнительных маршрутизаторов, имеющих такое же функциональное исполнение, как и иные терминалы, работающие в сети D2D. Следует также отметить, что, если ранее в области маршрутизации предпочтение отдавалось наикратчайшим маршрутам, то в сверхплотных D2D сетях следует искать компромисс между длиной маршрута и маршрутом, обеспечивающим наилучшую пропускную способность [24].

Продолжая исследования в данном направлении, можно выделить следующие научные задачи, которые еще подлежат решению:

- маршрутизация сообщений в сетях D2D с учетом неоднородностей среды распространения сигнала;
- построение сетей D2D в трехмерных сверхплотных сетях и маршрутизация сообщений в таких сетях;

³ Mobile Edge Computing A key technology towards 5G, ETSI White Paper, No. 11, September 2015.

– маршрутизация сообщений в сверхплотных сетях D2D для миллиметрового диапазона, когда человеческое тело становится непреодолимым препятствием для распространения сигнала.

Заключение

В статье проанализированы характеристики высокоплотных и сверхплотных сетей, которые являются одной из важных особенностей при построении сетей связи пятого и последующих поколений. На основе анализа существующего состояния с исследованиями в этой области сформулированы три ключевые научные проблемы, которые должны быть решены в условиях предстоящего широкого внедрения таких сетей.

Литература

1. Кучерявый А. Е., Прокопьев А. В., Кучерявый Е. А. Самоорганизующиеся сети. СПб.: Любавич, 2011. 312 с.
2. Кучерявый А. Е. Интернет Вещей// Электросвязь. 2013. № 1. С. 21–24.
3. Waldner, J.-B. Nanocomputers and Swarm Intelligence // ISTE, John Wiley & Sons, 2008.
4. Кучерявый А. Е. Триллонные сети // Телекоммуникации. 2013. № 7. С. 19–22.
5. MHD Nour Hindia and all. Interference Cancelation for High-Density Fifth-Generation Relaying Network using Stochastic Geometrical Approach // International Journal of Distributed Sensor Networks, v. 15, issue 3, July 3, 2019.
6. O. Galinina, A. Pyattaev, S. Andreev, M. Dohler, Y. Koucheryavy. 5G Multi-RAT LTE-WiFi Ultra-Dense Small Cells: Performance, Dynamics, Architecture, and Trends // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, March 2015, pp. 1224–1240.
7. Девяткин Е. Е., Бочечка Г. С., Тихвинский В. О., Бородин А. С. 6G на старте // Электросвязь. 2020. № 1. С. 12–17.
8. Кучерявый А. Е., Бородин А. С., Киричек Р. В. Сети связи 2030 // Электросвязь. 2018. № 11. С. 52–56.
9. 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.
10. 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>
11. Кучерявый А. Е., Парамонов А. И., Аль-Наггар Я. М. Сети связи с малыми задержками // Электросвязь. 2013. № 12. С. 15–19.
12. Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J. and Fettweis, G. 5G-enabled tactile internet // IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 34 (3), pp. 460–473. 2016.
13. Кучерявый А. Е., Маколкина М. А., Киричек Р. В. Тактильный интернет. Сети связи со сверхмалыми задержками // Электросвязь. 2016. № 1. С. 44–46.
14. 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.
15. Хуссейн О. А., Парамонов А. И., Кучерявый А. Е. Анализ кластеризации D2D-устройств в сетях пятого поколения // Электросвязь. 2018. № 9. С. 32–38.
16. Хуссейн О. А., Парамонов А. И. Анализ влияния технологий D2D на функционирование беспроводных сетей связи // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6. № 2. С. 79–86.
17. A. Pyattaev, K. Johnsson, A. Surak, R. Florea, S. Andreev, Y. Koucheryavy. Network-assisted D2D communications: Implementing a technology prototype for cellular traffic offloading // 2014. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 3266–3271.

18. E. Markova, D. Moltchanov, I. Gudkova, K. Samouylov, Y. Koucheryavy. Performance assessment of QoS-aware LTE sessions offloading onto LAA/WiFi systems // *IEEE Access* 7, pp. 36300–36311, 2019.
19. 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.
20. Атея А. А., Выборнова А. И., Кучерявый А. Е. Многоуровневая облачная архитектура для услуг Тактильного Интернета // *Электросвязь*. 2017. № 2. С. 26–30.
21. Paramonov A., Hussain O., Samouylov K., Koucheryavy A., Kirichek R., Koucheryavy Y. Clustering Optimization for Out-of-Band D2D Communications // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2017. Т. 2017. pp. 6747052.
22. 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.
23. Бородин А. С., Кучерявый А. Е., Парамонов А. И. Особенности использования D2D-технологий в зависимости от плотности пользователей и устройств // *Электросвязь*. 2018. № 10. С. 40–45.
24. Бородин А. С., Кучерявый А. Е., Парамонов А. И. Метод построения сетей связи на базе D2D-технологий с использованием дополнительных маршрутизаторов // *Электросвязь*. 2019. № 4. С. 20–26.

References

1. Koucheryavy A., Prokopiev A., Koucheryavy E. *Self-Organizing Networks*. SPb.: Lyubavich. 2011. 312 p.
2. Koucheryavy A. The Internet of Things // *Electrosvyaz'*. 2013. No. 1. pp. 21–24.
3. Waldner, J.-B. *Nanocomputers and Swarm Intelligence* // ISTE, John Wiley & Sons, 2008.
4. Kucheryavy A. E. Trillionnyye seti // *Telekommunikatsii*. 2013. No 7. pp. 19–22.
5. MHD Nour Hindia and all. Interference Cancelation for High-Density Fifth-Generation Relaying Network using Stochastic Geometrical Approach // *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 15, issue 3, July 3, 2019.
6. O. Galinina, A. Pyattaev, S. Andreev, M. Dohler, Y. Koucheryavy. 5G Multi-RAT LTE-WiFi Ultra-Dense Small Cells: Performance, Dynamics, Architecture, and Trends // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, March 2015, pp. 1224–1240.
7. Devyatkin E. E., Bochechka G. S., Tikhvinskiy V. O., Borodin A. S. 6G at the start // *Electrosvyaz'*. 2020. No 1. pp. 12–17.
8. Koucheryavy A.Eu., Borodin A.S., Kirichek R.V. Network 2030 // *Electrosvyaz'*. 2018. № 11. pp. 52–56.
9. 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.
10. 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>
11. Koucheryavy A. E., Paramonov A. I., Al-Naggar Y. Low delays networks // *Electrosvyaz'*. 2013. No 12. pp. 15–19.
12. Simsek, M., Aijaz, A., Dohler, M., Sachs, J. and Fettweis, G. 5G-enabled tactile internet // *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 34 (3), pp. 460–473. 2016.
13. Koucheryavy, A. E., Makolkina, M. A., Kirichek, R. V. Tactile Internet. Ultra Low Latency Communication Networks // *Elektrosvyaz'*. 2016. No. 1. pp. 44–46.
14. Koucheryavy A., Vybornova A. Tactile Internet // *5th International conference on advanced infotelecommunications*. 2016. Vol. 1. pp. 6–11.
15. Hussein O. A., Paramonov A. I., Koucheryavy A. E. Analysis of D2D clustering in 5G network // *Electrosvyaz'*. 2018. No 9. pp. 32–38.
16. Hussein O., Paramonov A.: Analysis of Influence of the D2D Technologies on Functioning of Wireless Networks of Communication // *Telecom IT*. 2018. Vol. 6. Iss. 2. pp. 79–86 (in Russian).

17. A. Pyattaev, K. Johnsson, A. Surak, R. Florea, S. Andreev, Y. Koucheryavy. Network-assisted D2D communications: Implementing a technology prototype for cellular traffic offloading // 2014. IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 3266–3271.
18. E. Markova, D. Moltchanov, I. Gudkova, K. Samouylov, Y. Koucheryavy. Performance assessment of QoS-aware LTE sessions offloading onto LAA/WiFi systems // IEEE Access 7, pp. 36300–36311, 2019.
19. 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.
20. Ateya A.A., Vybornova A.I., Koucheryavy A.Eu. Multilevel cloud architecture for tactile internet applications // *Elektrosvyaz'*. 2017. No 2. pp. 26–30.
21. Paramonov A., Hussain O., Samouylov K., Koucheryavy A., Kirichek R., Koucheryavy Y. Clustering Optimization for Out-of-Band D2D Communications // *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2017. T. 2017. pp. 6747052.
22. 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.
23. Borodin A. S., Koucheryavy A. E., Paramonov A. I. Features of using D2D communication at various subscriber densities // *Elektrosvyaz'*. 2018. No 10. pp. 40–45.
24. Borodin A. S., Koucheryavy A. E., Paramonov A. I. Method for developing a communication network based on D2D technologies using additional routers // *Elektrosvyaz'*. 2019. No 4. pp. 20–26.

Тонких Евгений Викторович – заместитель начальника отдела Научно-исследовательского института радио,
et@niir.ru
Tonkikh Evgeny – Deputy head of department, Radio research and development institute, et@niir.ru