

# Обзор протоколов сетей связи шестого поколения и сетей 2030

М. А. Галактионов, М. А. Маколкина, Р. В. Киричек  
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. профессора М.А. Бонч-Бруевича  
mgalaktionov4@gmail.com, kirichek@sut.ru, makolkina@list.ru

**Аннотация.** Данная статья посвящена обзору технологий, которые могут быть применены для воплощения стандарта связи шестого поколения, рассмотрению пользовательских приложений и бизнес-кейсов, которые планируется решить с помощью сетей связи шестого поколения, а также обоснованию необходимости уже сейчас начать разработку принципиально нового распределенного протокола передачи данных, основанного на предиктивной аналитике и распределенном кластере вычислительных ресурсов.

**Ключевые слова:** сети связи 2030; Интернет вещей; сетевая задержка

## I. ВВЕДЕНИЕ

Сегодня индустрия информационных технологий развивается колоссальными темпами. В том числе развиваются и способы передачи данных [1]. Казалось бы, совсем недавно, в 2001 г., японский оператор NTT DoCoMo запустил первую коммерческую 3G сеть на базе стандарта W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) [2], а уже сегодня человечество приступило к реализации инфраструктуры 5G. Более того, инженеры уже разработали документ планирующий стандарт связи шестого поколения или сети связи 2030. Возникает закономерный вопрос, зачем планировать стандарт связи, который должен появиться только через 10 лет, если стандарт связи актуальный сегодня до конца не реализован, с какой целью инженеры так далеко заглядывают? Ответ прост, вызовы, которые бросает будущее, становятся все труднее. Спрос на качественные телекоммуникационные и информационные услуги только растет и вряд ли вообще когда-то будет удовлетворён. Уже на подходе голографические конференции [3] с эффектом присутствия, полностью автономные производства, автопилотируемые транспортные средства [4], системы устойчивых умных городов, которые самостоятельно способны управлять трафиком и оповещать население о чрезвычайных ситуациях [5], боевые дроны, способные собираться в организованный рой [6], медицинские роботы хирурги, nano лекарства и мультисенсорные услуги, симулирующие взаимодействие со всеми органами чувств человека, начиная со зрения и заканчивая обонянием. Все эти технологии будут производить огромную нагрузку на сети связи. По итогам 2019 г. зарегистрировано 22 млрд объектов интернета вещей, предполагается, что к 2030 г. это количество возрастет более чем в 2 раза и достигнет

50 млрд устройств. График прогноза роста числа объектов IoT представлен на рис. 1.

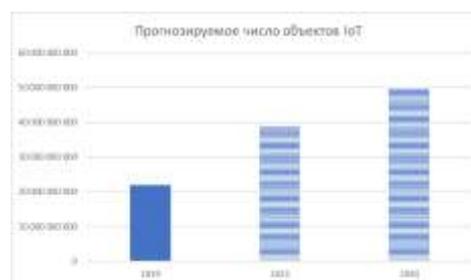


Рис. 1. Прогноз роста числа объектов IoT

Важно понимать, что каждое из этих устройств подключено к интернету и регулярно передает и получает определенный объем трафика. В тоже время, сегодня далеко не все могут посмотреть фильм в High Definition онлайн из-за низкой пропускной способности сети. Современные сети не способны обеспечить пропускную способность, задержку и качество передачи данных, которые понадобятся в скором времени. Именно поэтому очень важно уже сейчас начать планировать облик технологии, за которой будущее – сетей 2030.

В мае 2019 г. фокус группа FG NET-2030, организованная Международным союзом электросвязи, разработала и приняла документ «Network 2030 — A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond» (Сеть 2030 – план технологии, Приложения и Факторы, определяющие рынок до 2030 г. и в последующий период). Целью данного документа является определение набора технологий, которые должны быть реализованы во второй половине 20-х годов для того, чтобы такие вещи как умный интернет вещей, мультимедийный контент высокого разрешения, будь то 4K видео или аудио в формате lossless, передаваемый по сети интернет, автоматизированные производства и полностью автономные транспортные средства стали реальностью [7].

## II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В данной части будут рассмотрены приложения и бизнес-кейсы, представленные в документе Network 2030. Но сперва необходимо определиться с понятиями: приложение – пользовательское решение, имеющее какой-

либо интерфейс (визуальный, тактильный и т. д.), бизнес-кейс – предпринимательская задача (потребность бизнеса), которая в перспективе может быть удовлетворена с помощью сетей 2030.

Начать стоит с НТС (Holographic Type Communications) или голографических коммуникаций. Планируется, что к 2030 году понимание технологии построения качественных голограмм уже придет к инженерам, и встанет вопрос о возможности качественной трансляции этих голограмм с различных удаленных ресурсов, а также повседневной коммуникации с помощью них, примерно также, как в «Звездных Войнах» (рис. 2).



Рис. 2. Пример использования голограмм с целью коммуникации.

Коммуникация с помощью голограмм выдвинет новые, куда более серьезные требования к сетям, нежели чем те, что существуют сейчас. Таким образом, сетям будущего придется колоссально нарастить пропускную способность в связи с очень большим объемом передаваемой информации. Достаточно привести в пример современные стриминговые сервисы, такие как Netflix, в которых есть отдельные тарифные планы, ранжируемые в зависимости от максимального качества видео, которое доступно пользователю. [8] Из-за низкой пропускной способности сети пользователь далеко не всегда может воспользоваться (это важно) уже приобретенным контентом высокого разрешения. При этом речь идет всего лишь о видео 2-4К. Теперь представим, что речь идет о 4К Голограмме. Для начала, стоит отметить, что 1 секунда 4 к видео с разрешением  $3840 \times 2160$  которое имеет битрейт 50 Мбит/с и 30 fps весит около 6,01 Мб, если же рассматривать идеальный вариант (60 fps) то 12,02 Мб. Теперь представим, что помимо видео, нужно еще передавать пространственные данные, данные о точке наблюдения, угол и позицию наблюдения, а также около 43 различных перспектив для каждой точки изображения, именно такие требования к сетям связи предъявят голографические коммуникации в будущем. [12]

Ожидается, что Multi-sense networks предъявят менее серьезные требования к сети чем голографическая коммуникация. Подразумевается, что качество восприятия (Quality of Experience QoE) ощутимо возрастет, когда станет технически доступным воздействие на другие органы чувств, кроме слуха и зрения, например тактильные ощущения, вкусы и запахи. Для предоставления подобного сервиса необходимо обеспечить минимальную задержку, а также синхронизацию потоков данных, направленных на различные органы чувств. Более того технологии воспроизведения вкуса и запаха требуют отдельных

устройств, т.к. необходимо либо воспроизводить химическую реакцию, либо воздействовать на нервные окончания иным способом. Это потребует тесной интеграции программных и аппаратных компонент сетей передачи данных, данный подход не достаточно распространён на сегодняшний день, однако в дальнейшем возможно появятся нейросетевые решения, которые будут дополнять и обогащать данные получаемые по сети перед непосредственным предоставлением их конечному пользователю.

Приложения реального времени также бросят вызов современным сетям. Когда речь идет о таких двигателях рынка как промышленная автоматизация, автономные системы и сенсорные сети, в которых человек не является конечной точкой, временной фактор становится очень важным аспектом, так как в отличие от людей, большинство машин не способно адаптироваться. Человеческое восприятие может быстро приспособиться к задержкам при передаче аудио или видео сигнала, но не машина, как правило, не запрограммирована на процесс приспособления, наоборот, она спроектирована для выполнения конкретной задачи. Более того приложения реального времени, тесно связаны с максимизацией утилизации ресурсов, чем меньше задержке тем сильнее время простоя оборудования стремится к нулю. Умные устойчивые города также требуют минимизации задержек, в пример можно привести автономную систему управления дорожным трафиком. В данном случае важна только своевременная информация, следовательно данные должны быть доставлены «вовремя», все что доставлено раньше или позже не будет иметь никакого смысла, например, если произойдет ДТП ИИ должен мгновенно узнать об этом, чтобы иметь возможность спрогнозировать образование пробки и постараться разгрузить участок дороги, на котором произошла авария.

Теперь необходимо рассмотреть технологии и протоколы, которые планируется использовать в сетях 2030. Одной из планируемых технологий является использование радиофотонных цифровых антенных решёток на базовых станциях в сочетании с технологией Massive MIMO. Данная технология позволяет существенно увеличить пропускную способность за счет расширения полосы частот. Говоря простыми словами, кодирование происходит по пространственно-временному принципу: поток данных разбивается на блоки, при этом блок ретранслируется в разные временные интервалы. Таким образом соблюдается принцип неоднократной посылки данных и улучшается помехоустойчивость схемы MIMO как таковой [13]. В свою очередь Massive MIMO подразумевает, что количество антенн базовой станции значительно превосходит количество пользовательских терминалов, например, 128, 256 и более. При этом для более эффективного использования многоканальных решеток в них применяются оптоволоконные интерфейсы.

Одной из наиболее перспективных технологий является терагерцовая связь. Уже сегодня Китай отчитался о выводе 13 спутников на околоземную орбиту, один из которых - Tiyuan 05 создаст приёмопередающую линию в терагерцовом диапазоне. Несмотря на то, что эта

технология очень перспективная, аналитики считают, что ее коммерческое использование будет возможно только ближе к 2030 г. Системы, основанные на этой технологии, обеспечат скорость передачи данных более 100 Гбит/сек. и вплоть до нескольких Тбит/сек., а также обеспечит задержку, не превышающую одной миллисекунды, что вполне удовлетворяет 6G. [14]

Подводя итоги, стоит отметить, что поставленная цель была полностью достигнута, были проанализированы приложения, бизнес-кейсы и бизнес-требования, которые возникнут в будущем, были проанализированы технологии, которые гипотетически могут быть применены в сетях шестого поколения. Исходя из полученных сведений можно сделать вывод, что сети связи 6G на данный момент находятся в зачаточном состоянии, сейчас не существует даже стандарта, а только план технологии. Очевидно только одно, современное развитие технологии совершенно точно не удовлетворит потребности грядущего десятилетия. Это значит, что уже сегодня необходимо задуматься о создании принципиально новых подходов к передаче данных, подходов, которые бы объединяли в себе все доступные человечеству технологии, начиная от спутников, и заканчивая искусственным интеллектом. Время, когда передача данных зависела исключительно от аппаратных характеристик передатчика подходит к концу, будущее за решениями, которые интегрируют в себе как аппаратный, так и программный и интеллектуальный подходы. Технологии, рассмотренные в статье, имеют ряд недостатков:

- необходимость реновации существующей телекоммуникационной инфраструктуры, вплоть до перекаладывания оптоволоконка;
- огромные объемы инвестиций, например Южная Корея планирует инвестировать в сети 2030 порядка 168 миллионов долларов США;
- необходимость запуска дорогостоящего оборудования на земную орбиту.

Отсюда вытекает необходимость разработки такой технологии, которая позволит с минимальными издержками со стороны существующей инфраструктуры сделать сети 2030 частью российских реалий. Для минимизации упомянутых издержек планируется разработать протокол, который базируется на совмещении нескольких подходов, среди которых:

- интеграция искусственного интеллекта в существующую телекоммуникационную инфраструктуру;
- DPI – Deep packet Inspection;
- предиктивная аналитика;
- кластеризация распределенных вычислительных ресурсов.

Суть данного протокола заключается в минимизации сетевой задержки за счет интеграции искусственного интеллекта в существующую сетевую инфраструктуру.

Нейронная сеть, используя подход DPI (Deep packet Inspection), а также принципы предиктивной аналитики будет генерировать ответный трафик вместо конечного узла.

Таким образом при широком территориальном разбросе клиента и сервера появится возможность сократить сетевую задержку за счет интеграции искусственного интеллекта в качестве промежуточного узла. На начальном этапе трафик будет перехватываться для составления обучающего набора данных, после того как нейросеть будет обучена, она сможет предсказывать ответные данные, которые обладают признаком самоподобия, и отправлять их клиенту. Предположим, что клиент и сервер обмениваются большими последовательностями самоподобного трафика, в этом случае, обученная нейросеть, считав первый пакет информации, уже будет способна предсказать, что в себя включает вся остальная последовательность, после чего сразу может отдать кэшированный ответ тем самым подменяя сервер для клиента, а для сервера подменяя клиента, что в свою очередь значительно сокращает сетевой маршрут пакетов и минимизирует задержку. Такой подход требует наличия очень крупной распределенной инфраструктуры с очень высокой суммарной вычислительной мощностью. Планируется, что данная инфраструктура будет представлена кластером всех возможных вычислительных ресурсов, начиная виртуальными машинами в облаке и заканчивая фермами для добычи криптовалюты, при этом участие в данной сети будет поощряться определенным образом, на каждом узле кластера будет развернута обученная нейронная сеть, при этом специально разработанный планировщик будет строить оптимальный маршрут от клиента до сервера, используя доступные узлы кластера, который, как говорилось ранее, территориально распределен. Данный подход позволит наиболее эффективно реализовать алгоритм предсказания и генерации ответного трафика. Упрощенная схема предоставления данной услуги изображена на рис. 3.

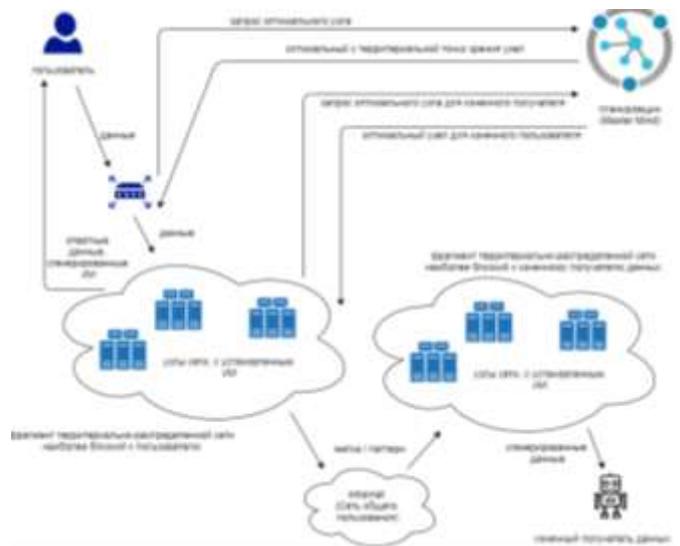


Рис. 3. Упрощенная схема предоставления услуги

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение хочется отметить, что не смотря на то, что сети связи 2030 должны появиться только через десять лет, очень важно уже сейчас планировать образ этой технологии, делать первые шаги к ее реализации и тогда сети связи 2030 станут не красивой мечтой а нашей обыденной действительностью, и тогда человечество сможет проводить голографические видеоконференции, хирурги смогут оперировать пациентов, которые находятся на другой стороне земли, заказывая столик в ресторане посетитель сможет ощутить вкус блюда перед тем как заказать его, а пробок на дорогах не будет совсем, так как умные устойчивые города позволят наиболее эффективно управлять транспортным потоком. Это мир, в котором хочется жить, поэтому повторяюсь, уже сейчас очень важно спланировать технологию, поставить цели и задачи, составить дорожную карту и начать делать первые шаги в будущее, ведь технологический прогресс уже с трудом успевает за безгранично растущими потребностями человека. Шестое поколение связи должно стать тем самым технологическим прорывом, который подстегнет не только развитие технологий, но и всю мировую экономику.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

- [1] [http://www.sut.ru/doci/nauka/IAEA/ITT/2020\\_3/1-19.pdf](http://www.sut.ru/doci/nauka/IAEA/ITT/2020_3/1-19.pdf) Дата обращения: 05.11.20
- [2] <https://www.nttdocomo.co.jp/english/corporate/technology/rd/tech/ite/index.html> Дата обращения: 05.11.20
- [3] <https://clck.ru/TNWpE> Дата обращения: 05.11.20
- [4] <https://www.tesla.com/support/full-self-driving-computer> Дата обращения: 05.11.20
- [5] <http://digitalbusinessmodel.ru/page13197150.html> Дата обращения: 05.11.20
- [6] <https://www.mk.ru/politics/2020/03/08/ekspert-obyasnil-taktiku-boevogo-roya-dronov-primennuyu-turkami.html> Дата обращения: 05.11.20
- [7] ITU-T FG-NET-2030. "Network 2030 - A Blueprint of Technology, Applications and Market Drivers Towards the Year 2030 and Beyond". ITU-T. ITU (MAY 2019). Стр.2 Дата обращения: 06.11.20
- [8] [netflix.com/](https://netflix.com/) Дата обращения: 06.11.20
- [9] <https://hi-news.ru/technology/kak-gologrammy-mogut-izmenit-nashu-povsednevnyu-zhizn.html> Как голограммы могут изменить нашу повседневную жизнь? Дарья Елецкая 13.12.2019, Дата обращения: 09.11.20
- [10] Эксперимент с голографическим кодированием/декодированием цветных изображений. *Nabr* (22 июня 2011). Дата обращения: 09.11.20
- [11] Боронин П.Н., Кучерявый Е.А., Молчанов Д.А., Петров В.И., «Исследование терагерцовых сетей и систем связи и их приложений,» Юбилейная 70-я всероссийская научно-техническая конференция, посвященная дню радио, СПб., 2015, pp. 199-200.
- [12] <https://lookingglassfactory.com/product/8k> Дата обращения: 10.11.20
- [13] Бакулин М.Г., Варукина Л.А., Крейнделин В. Б. Технология МИМО: принципы и алгоритмы. М.: Горячая линия - Телеком, 2014. 242 с. ISBN 978-5-9912-0457-6.
- [14] Boronin P., Petrov V., Moltchanov D., Koucheryavy Y., Jornet J.M., Capacity and throughput analysis of nanoscale machine communication through transparency windows in the terahertz band, *Nano Commun. Netw.* (Elsevier), Volume 5, Issue 3 (2014), 72–82.
- [15] Кучерявый Е.А., Молчанов Д.А., Петров В.И., «Обзор возможных приложений для широкополосных систем связи в терагерцовом диапазоне» в Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. iv международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сборник научных статей в 2 томах, СПб., 2015, pp. 358-361 ISBN 978-5-89160-120-8
- [16] Боронин П.Н., Кучерявый Е.А., Молчанов Д.А., «Анализ пропускной способности и характеристик частотного спектра в сетях связи сверхмалого радиуса действия в терагерцовом диапазоне» *Электросвязь* 2014 стр. 18-21 ISSN 0013-5771
- [17] Генерация и усиление сигналов терагерцового диапазона: колл. монография / под ред. А.Е. Храмова, А.Г. Баланова, В.Д. Еремки, В.Е. Запелова, А.А. Короновского. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2016. 460 с. ISBN 978-5-7433-3013-3
- [18] <https://www.popmech.ru/technologies/news-612393-178-terabit-v-sekundu-novyy-rekord-skorosti-seti/> Дата обращения: 15.11.20