

Коммуникации в эпоху 6G

Часть 1

Хариш Вишванатан, Пребен Могенсен (Nokia Bell Labs)

В статье рассматриваются перспективы внедрения сети 6G, при этом внимание уделяется не только технологиям, но и человеческой трансформации, которая ожидается с приходом шестого поколения связи. Такой подход помогает получить представление о требованиях к производительности и принципах проектирования 6G.

Вступление

В то время как развёртывание систем 5G идёт полным ходом, специалисты в области разработки систем коммуникации всё больше внимания уделяют будущим вызовам, связанным с 6G. Как известно, поколения сотовых систем меняются раз в 10 лет. Ожидается, что стандартизация и развёртывание связи шестого поколения произойдёт к 2030 году.

Авторы статьи попытались нарисовать картину коммуникационных потребностей и технологий во времена появления 6G. Возможно, некоторые из требований уже могут быть выполнены за счёт добавления новых технологий в структуру 5G. Для удовлетворения растущих запросов к производительности в рамках эволюции 5G ожидается введение модификаций, которые могут быть внесены обратно совместимым образом и по разумной цене. С другой стороны, модификации, являющиеся фундаментальными и несовместимыми с существующей структурой 5G, могут быть включены только ценой высоких затрат для сети или устройств.

Ожидается, что, помимо усовершенствованной мобильной широкополосной связи для потребителей, 5G

приблизит наступление четвёртой промышленной революции (индустрии 4.0) за счёт дигитализации и подключения всех устройств в одну экосистему. Цифровые двойники различных объектов, созданные в облаке, составят фундамент будущего цифрового мира. Миры физических и биологических цифровых двойников объектов станут важной платформой для новых цифровых услуг будущего. Реализация всеобъемлющего цифрового мира, который является полным и истинным представлением мира физического в каждом пространственном и временном моменте, потребует огромной пропускной способности при малой задержке.

Цифровизация также проложит путь к созданию новых виртуальных миров с цифровыми представлениями воображаемых объектов, которые могут быть в различной степени смешаны с миром цифровых «близнецов», что создаст тем самым смешанную реальность, сверхфизический мир.

Со временем умные часы и пульсометры преобразятся в пластыри для кожи, пищевые добавки, имплантаты для тела. Все биологические процессы внутри человека можно будет точно и непрерывно отслеживать. При этом информа-

ция начнёт отображаться в цифровом и виртуальном мирах, что откроет новые, сверхчеловеческие возможности.

Связь будущего – это бесшовная интеграция различных миров (см. рис. 1), призванная создать единый опыт для людей или, скажем, интернет-киборгов. При рассмотрении такого будущего в дополнение к новым коммуникационным потребностям возникает ещё несколько тем:

1. тема конечных устройств: от единичных до совокупности множества локальных сущностей, действующих как единый механизм, человеко-машинный интерфейс;
2. тема повсеместных универсальных вычислений, распределённых между несколькими локальными устройствами и облаками;
3. системы знаний, которые хранят, обрабатывают и преобразуют данные в практические знания;
4. точное определение положения и приведение в действие устройств для управления физическим миром.

Авторы статьи рассматривают уникальную и более широкую перспективу внедрения сети 6G, фокусируясь не только на технологиях, но и на человеческой трансформации. Такой подход помогает получить представление о требованиях к производительности и принципах проектирования 6G. Технологические преобразования будут охватывать и те области, в которых развивается 5G. Также преобразования могут произойти в процедурах стандартизации, необходимых для работы с открытыми платформами.

Во втором разделе статьи будет более подробно рассмотрено, каким может стать мир в 2030-х годах, и на основании этого продуманы сценарии использования 6G. В третьем разделе указаны потенциальные требования и показатели эффективности, которые будут отличать 6G от систем связи прошлых поколений. В четвёртом разделе обсуждены некоторые новые фундаментальные аспекты, которые следует учитывать при проектировании радиоинтерфейсов 6G. В пятом разделе рассматриваются технологии, которые могут лечь в основу сотовых сетей нового поколения. В шестом обсуждается взаимодей-

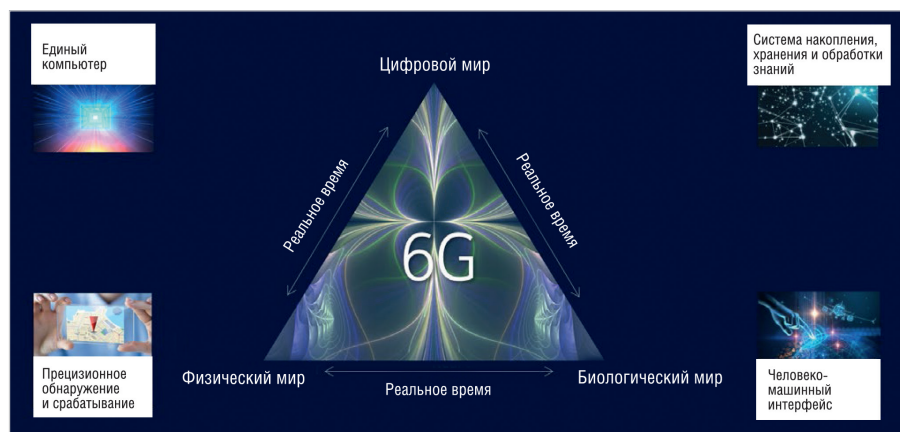


Рис. 1. 6G для взаимодействия физического, биологического и цифрового миров

стве открытой платформы будущего и мобильных сетей, направленное на удовлетворение всё более специализированных требований для эволюции стандартизации. Шестой раздел завершается кратким резюме.

Для каких целей будет использоваться 6G

Как будет выглядеть жизнь и цифровое общество после 2030 года? Начнём с устройств, используемых для подключения к Сети. Несмотря на то что смартфоны и планшеты всё ещё будут существовать, вероятно, появятся новые, человеко-машинные интерфейсы, которые сделают получение и контроль информации гораздо более удобными. Авторы статьи ожидают, что:

- носимые устройства, такие как наушники-вкладыши и гаджеты, встроенные в одежду, умные кожные пластыри и биоимплантаты, станут обычным явлением;
- возможно, люди начнут полагаться на новые сенсоры мозга для приведения машин в действие. Появится несколько носимых устройств, легко взаимодействующих с человеком через интуитивно понятные интерфейсы. На рисунке 2 показана потенциальная эволюция устройств;
- набор текста на сенсорном экране, скорее всего, устареет. Жестикуляция и голосовой ввод станут нормой;
- устройства, используемые сегодня, будут полностью контекстно-зависимы. Сеть продолжит усложняться для более точного прогнозирования потребностей человека. Понимание устройствами контекста в сочетании с новыми человеко-машинными интерфейсами сделает взаимодействие с физическим и цифровым мирами гораздо более понятным и эффективным. Вычисления, необходимые для этих устройств, скорее всего, не все будут производиться в самих устройствах. Такое решение будет обусловлено форм-фактором и более экономичным потреблением батареи в устройствах. Скорее всего, для выполнения задач за пределами облака гаджетам придётся полагаться на вычислительные ресурсы локального компьютера. Всё это говорит о том, что сети начнут играть значительную роль в человеко-машинном интерфейсе завтрашнего дня.

Потребителей ожидает следующее:

- автомобили с автономным управлением выйдут на масс-маркет к 2030-м годам. Большую часть вре-

мени машины будут управляться без участия человека, однако в некоторых случаях всё же без удалённого водителя или пассажира за рулём не обойтись. Массовое использование автопилотов существенно увеличит время для потребления контента из Интернета: развлечений, социальных сетей и образовательных медиа. Сами автомобили также начнут потреблять значительно больше информации. Данные датчиков транспортных средств будут загружаться в Сеть в режиме реального времени, будут автоматически загружаться карты с высоким разрешением, а находящиеся рядом автомобили станут напрямую связываться друг с другом;

- в качестве датчиков будут массово использоваться беспроводные камеры. Благодаря достижениям в области искусственного интеллекта (ИИ) и машинного зрения, компьютер уже может распознавать людей и объекты (или, в более общем плане, автоматически выделять информацию из изображений и видео). Камера станет универсальным датчиком, используемым повсеместно. Проблемы конфиденциальности будут решены путём ограничения доступа к данным и анонимизации информации. Кроме того, для сбора информации об окружающей среде будет использоваться радиозондирование, а также другие методы определения положения, в частности с помощью акустики;
- в системах безопасности будут использоваться передовые методы. Комбинация различных способов восприятия будет использоваться для идентификации людей в толпе не только у входов в общественные здания. Радиозондирование окажется важным компонентом для решения этой задачи;
- цифровые деньги и ключи станут нормой, поскольку транзакции как в физическом, так и в цифровом мире станут проводиться с помощью множества устройств. Сеть будущего должна обеспечивать безопасность и конфиденциальность – эти два критерия имеют фундаментальное значение для цифровой трансформации;
- бытовых роботов станет больше, и это будут не только роботы-пылесосы и газонокосилки. Новые устройства смогут группироваться для выполнения более серьёзных задач. Роботы будут оснащены видеокамерами с потоковой передачей данных для об-

работки на локальный сервер. С увеличением количества устройств повысятся требования и к пропускной способности домашних сетей;

- здравоохранение претерпит существенные изменения: круглосуточный мониторинг жизненно важных параметров как для здоровых, так и для больных людей с помощью многочисленных носимых устройств. Мониторинг состояния здоровья будет осуществляться с помощью внутренних и внешних устройств.

Переход к индустрии 4.0 и первая волна автоматизации с поддержкой беспроводной связи произойдут до 2030-х годов. Сети 5G, обеспечивающие сверхнадёжную связь с малой задержкой (URLLC), упростят для облаков обработку данных в реальном времени. Однако промышленные варианты использования, основанные на гораздо более жёстких требованиях к беспроводной связи, потребуют 6G:

- голографическое дистанционное присутствие станет нормой как для работы, так и для социального взаимодействия. Например, человек вещает из офиса, а на самом деле – из салона автомобиля. Будут созданы системы, объединяющие реальные выражения лица с виртуальным «я» в цифровом представлении любого физического мира;
- массовое использование мобильных роботов и дронов в различных отраслях: гостиничном бизнесе, здравоохранении и логистике;
- динамические цифровые двойники станут точными и будут синхронизироваться с физическим миром.

Основываясь на приведённой ранее концепции будущего, можно предположить следующие ключевые варианты использования устройств (см. таблицу).

Шесть требований и ключевых показателей эффективности 6G

Множество новых сценариев использования будут определять требования, которые должны быть учтены в 6G. Ключевые показатели производительности (KPI) 5G (скорость, пропускная способность, объём передачи данных, задержка, надёжность, масштабируемость и гибкость) будут важными показателями производительности и для 6G. Несколько новых характеристик также станут значимыми: на рисунке 2 сгруппированы требования для 6G. Всего там шесть категорий – три категории с KPI, аналогичными 5G, и три новые:

Таблица. Примеры использования 6G

Вариант использования (возможности)	5G	6G
Дополненная реальность для промышленности	Задачи низкого разрешения и высокого уровня	Высокое разрешение, мультисенсорные и подробные задачи, совместный дизайн
Телеприсутствие (ёмкость)	Высокое качество видео, ограниченный масштаб	Смешанная голографическая реальность
Наблюдение за безопасностью, обнаружение дефектов (позиционирование и зондирование)	Внешнее зондирование, ограниченная автоматизация	Интегрированное, полностью автоматизированное радиообнаружение
Распределённые вычисления, автоматизация (синхронизация времени)	Задачи микросекундного уровня	Задачи наносекундного уровня с более высокой точностью
Динамические цифровые двойники и виртуальные миры (мультисенсорное картографирование и рендеринг в реальном времени)	Нет	Да
Беспроводная связь в центре обработки данных (пиковые скорость и ёмкость)	Нет	Да
Устройства с нулевым энергопотреблением (обратное рассеяние)	Нет	Да
Группирование роботов и дронов	Может быть	Да
Искусственный интеллект и биосенсоры	Ограничено	Да



Рис. 2. Вероятная эволюция устройств



Рис. 3. Основные требования и характеристики 6G. Обнаружение объекта характеризуется числом пропущенных объектов и ложными срабатываниями

1. локализация и обнаружение с помощью сети связи окажутся важной особенностью 6G. Точность и аккуратность – главные критерии качества локализации и обнаружения. Будет достигнута точность позиционирования до сантиметра. Также точность обнаружения объекта станет измеряться с точки зрения вероятности пропуска обнаружения (missed detection – MD), ложной тревоги (false alarm – FA) и ошибок оценки параметров;

2. сети начнут проектировать с использованием искусственного интеллекта, встроенного в различные узлы. То, насколько быстро ИИ адаптируется к новым условиям в сети, является важным показателем. Сетевая автоматизация станет нормой, и поэтому другим важным критерием станет то, насколько близка сеть к полной автоматизации, для которой вообще не требуется человеческое вмешательство;

3. настоящая революция с приходом 6G произойдёт в конечных устройствах. Во многих сценариях они начнут развиваться как сеть устройств или подсеть, осуществляющая соединение нескольких частей одной машины. Появится гораздо более интуитивно понятный интерфейс с управлением посредством жестов, а не набора текста. Также, вероятно, активно начнут продвигаться на рынок устройства с очень низким энергопотреблением и даже, возможно, без батарей, поскольку для питания устройства будет использоваться сеть.

Шесть основных аспектов проектирования сетей 6G

Как и до появления 5G, три основных параметра (измерение спектра, спектральная эффективность и пространственное повторное использование) задавали путь наращивания пропускной способности (см. рис. 3). Тенденция продолжится и с развёртыванием 6G. Радиочастотные технологии будут продвигаться к экономичному использованию спектра на ещё более высоких частотах. Есть возможность как минимум десятикратного увеличения спектра за счёт перехода в терагерцовые диапазоны частот.

Спектральная эффективность улучшится путём использования массивного многопользовательского многоканального обмена данными (MIMO) не только в сантиметровых (cmWave), но и в миллиметровых (mmWave) диапазонах по мере перехода от аналогового к гибриднему/цифровому формированию луча в нижних диапазонах. Поскольку стоимость массового MIMO падает, для дальнейшего повышения спектральной эффективности могут быть развёрнуты ещё более крупные массивы.



Рис. 4. Три новых фундаментальных аспекта проектирования системы

Уплотнение сети, несомненно, продолжится не только ради пропускной способности. Уплотнение необходимо для обеспечения большего покрытия в более высоких частотных диапазонах, с более высокими скоростями передачи данных и большей надёжностью. Кроме того, расширится и доступ к частотному спектру. Совместное использование операторами лицензированного спектра на основе программно-определяемого радио (SDR), ИИ и машинного обучения (МО) позволит многократно использовать спектр частот. Эффективное повторное использование спектра особенно важно в нижних диапазонах, поскольку последние обладают хорошими характеристиками распространения вне зоны прямой видимости (NLOS). Ресурсы спектра в этих диапазонах ограничены.

Шестое поколение связи будет коренным образом отличаться от предыдущих поколений тем, что в дополнение к упомянутым трём традиционным измерениям появятся ещё три (голубой треугольник на рис. 3). Эти измерения представляют собой фундаментальные ресурсы данных, вычислений и энергии.

Методы ИИ и машинного обучения основаны на обработке данных. Тот, кто имеет доступ к большим объёмам предметно-ориентированных данных, будет успешнее применять эти методы. Фундаментальное значение в проектировании систем 6G будут иметь ИИ и МО. Сетевые и сенсорные данные станут базовыми ресурсами, используемыми для повышения производительности системы.

Хотя вычислительная мощность всегда была важным параметром для сотовых систем, два тренда указывают на то, что вычислительная мощность как ресурс постепенно ограничивается. Первая тенденция – это растущее коли-

чество транзисторов, которые можно упаковать в единицу объёма, что ограничивает вычислительную мощность устройств. Вторая тенденция: для расширения возможностей восприятия человека будет использовано множество гаджетов, таких как очки, наушники и другие носимые устройства, имеющие очень малые форм-факторы и, следовательно, ограниченные по вычислительным возможностям.

Текущий подход к вычислениям, производимым в облаке, вряд ли будет достаточным для удовлетворения потребностей в синхронных вычислениях на различных устройствах. Использование локально доступных, но отдельных от устройств вычислений станет новой темой. Вычисления должны рассматриваться как ещё одно важное измерение, определяющее дизайн новой системы связи.

Энергоёмкость каждого элемента сети будет определять производительность. У некоторых типов устройств затраты энергии будут близки к нулю: на базовых радиостанциях будут выставлены ограничения по энергопотреблению, а также ограничения по мощности в центрах обработки данных.

К 2030-м годам предметом пристального внимания станут решения в области изменения климата, растущее энергопотребление сетей и устройств. Энергоэффективность становится ещё одним важным аспектом при разработке 6G. Качество связи шестого поколения будет оцениваться шестью фундаментальными параметрами. Именно эти параметры необходимо изучить исследователям для достижения целевых показателей эффективности (см. рис. 4).

В продолжении статьи мы расскажем о шести ключевых технологиях, на которых будет базироваться 6G. ☺



Компактные высоковольтные преобразователи напряжения



ПРОПОРЦИОНАЛЬНЫЕ И СТАБИЛИЗИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ

Технические параметры

- Входное напряжение 5,12, 24 В
- Выходные напряжения от 2 до 10 кВ
- Мощность от 2 мВт до 15 Вт
- Диапазон температур от -55 до +70°C
- Длительный ресурс

Применение

- Медицинская диагностика
- Научное оборудование
- Авиационно-космическая техника



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 232-2522 • INFO@PROCHIPRU • WWW.PROCHIPRU