

Конвергентные технологии в беспроводной инфокоммуникационной системе шестого поколения 6G

Converged technologies in the sixth generation wireless infocommunication system

Деев / Deev V.

Владимир Викторович

(vka@mail.ru)

доктор технических наук, профессор,

действительный член МАИ.

ФГБВОУ ВО «Военно-космическая академия

имени А. Ф. Можайского» МО РФ,

преподаватель кафедры технологий и средств

автоматизации обработки и анализа

информации космических средств.

г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: геоинформационное пространство – geoinformation space; киберпространство – cyberspace; подключенный интеллект – connected intelligence; машинное обучение – machine learning; когнитивный цикл – cognitive cycle; сети как сенсоры – networks-as-sensors; неназемная сеть – non-terrestrial network.

В статье рассматриваются конвергентные технологии, которые определены международным технологическим сообществом при формировании облика беспроводной сети шестого поколения 6G. Основное внимание обращено на виртуальную модель геопространства, модели искусственного интеллекта, на интеграцию спутниковых систем с ретрансляцией сигналов через малоразмерные космические аппараты на низких орбитах с наземной системой мобильной связи. Используется концептуальный подход, исключающий глубокое рассмотрение технологий.

In article discusses converged technologies, which are defined by international technological community is shaping the appearance of sixth-generation 6G wireless network. The main attention is paid to the virtual model of geospatial space, artificial intelligence models and the integration of satellite systems with signal relay through mobile communication systems. A conceptual approach is used excludes a deep review of technologies.

Введение

В настоящее время активно проводятся работы по формированию облика беспроводной сети шестого поколения [1]. На этапе выбора окончательного видения

сети определялись беспроводные технологии. Обоснование выбора проводилось на основе эволюционного подхода к развитию технологий. Происходит взаимное слияние, конвергенция различных технологий. В результате появились инфокоммуникационные системы, мобильный телефон и мобильный интернет. В беспроводных сетях радиосвязи объединились технологии цифровой радиосвязи и вычислительных систем. В результате развития искусственного интеллекта происходит конвергенция технологий инфокоммуникационных и интеллектуальных систем. В [2] предлагается построение сети 6G как мобильной когнитивной инфокоммуникационной системы. Основное отличие 6G от предыдущих поколений заключается в сочетании прорывных технологий и инноваций. В предлагаемой статье рассматриваются некоторые ключевые конвергентные технологии сети 6G, которые окажут огромное влияние на общество в течение ближайших десятилетий.

Конвергентные технологии в беспроводной сети 6G

Беспроводная сеть создаётся на протяженных участках земной поверхности, на географическом пространстве. Построение и использование сети мобильной связи осуществляется с применением моделей, образов, отображений, формируемых человеческим сознанием [3, 4, 5, 6]. На современном уровне развития науки и технологий моделирование объектов, процессов и явлений геопространства осуществляется в цифровой форме для обеспечения её компьютерного восприятия. Реальное физическое пространство отображается в киберпространство. Физический мир отображается в кибернетический мир (геоинформа-

ционное пространство). При работе с киберпространством восприятие реального мира идет не напрямую, а опосредовано через виртуальные модели. В киберпространстве человек перемещает сознание и опыт, меняет его. Наиболее ярким применением киберпространства (в производстве) являются технологии цифровых двойников [1, 3]. Цифровой двойник представляет собой цифровую или виртуальную копию физического объекта, которым могут быть активы, процессы, системы и т. д.

Цифровые аналоги физических объектов используются при моделировании производственных операций [1, 3], на моделях при проектировании систем выбирались решения для снижения общих затрат, повышения производительности и обеспечения качества продукции, для пространственного анализа и выработки пространственных решений.

На современном этапе развития общества и технологий особую ценность представляет не информация и данные об объектах и явлениях, а знания о них [4]. Возникает все большая потребность в использовании геопространственных знаний, в частности с помощью самой системы мобильной связи. В сети 6G используется большое количество датчиков различных параметров, собирающих информацию о состоянии и работе физических объектов. Для получения данных о положении объектов в пространстве применяется сканирование физического пространства с использованием облучения объектов радиоволнами и полученного отражения. Радиоволна 6G будет играть роль органа чувств на всех узлах и устройствах радиодоступа, включая базовые станции и мобильные устройства. Данные с датчиков и измерителей пространственных свойств передаются потребителям по отдельным каналам сети в режиме многостанционный доступа. Таким образом, сеть 6G может рассматриваться как распределенный сетевой сенсор, кибернетический орган чувств, который собирает и передает данные. Сеть 6G радикально отличается от беспроводных систем предыдущих поколений, просто передающих данные. В [8, 9, 10] предложены способы цифрового формирования радиосигналов при передаче телеизмерений с использованием OFDM-символов. Формирование группового сигнала реализуется цифровой обработкой на основе дискретного преобразования Фурье. Данные способы целесообразно применять в сети 6G.

В настоящее время из-за интенсивного развития технологий искусственного интеллекта (ИИ) происходит процесс конвергенции этих технологий с информационно-телекоммуникационными технологиями. Этот процесс приводит к видению 6G как мобильной когнитивной инфокоммуникационной системы [2].

Базовой процедурой мыслительной деятельности является когнитивный цикл. Каждый когнитивный цикл воспринимает текущую ситуацию, интерпретирует ее в соответствии с текущими целями, а затем выбирает внутреннее или внешнее ответное

действие. Решается задача создания систем с искусственными когнитивными циклами. Мыслительный процесс направлен на выбор, определение действия, на своевременное решение проблем, новых сложных задач.

По мере движения общества ко всеобъемлющему интеллекту увеличивается количество разнообразных интеллектуальных устройств, образующих службу ИИ. Эта служба является внешней для сети 6G. Беспроводная сеть поставляет данные для обработки и машинного обучения, обеспечит подключение абонентов к службе, это сеть для поддержки ИИ.

С другой стороны, сеть 6G изначально подразумевает наличие собственного (встроенного в сеть) распределенного искусственного интеллекта. Встроенная поддержка в сети 6G направлена на предоставление услуг ИИ в любом месте и в любое время, что является главным преимуществом мобильной связи. Абонентский когнитивный терминал (АТ) имеет возможность выполнять сбор данных в реальном масштабе времени через сети беспроводных датчиков, а также запрашивать и получать услуги от исполнительных устройств в ближней пространственной зоне. Например, АТ может собирать персональные данные по медицинским анализам, анализировать их и вырабатывать заключения о состоянии здоровья и рекомендации по лечению.

Искусственный интеллект предполагается применять на всех уровнях сетевой архитектуры. Для этого в сетевую архитектуру, включающую плоскости данных и управления, предусматривается ввести третью плоскость искусственного интеллекта. На плоскость ИИ возлагается задача интеллектуального анализа и принятия решений в интересах повышения эффективности и качества функционирования сетей.

Сеть 6G станет ключевой технологией распространения ИИ, соединяя с распределенным интеллектом каждого человека дом, автомобиль и бизнес. Сетевая архитектура 6G с внутренней поддержкой ИИ принесет «сетевой искусственный интеллект», отойдя от сегодняшнего централизованного «облачного» ИИ. Как следствие, ИИ станет движущей силой для всех видов автоматизации и будет потреблять большие объемы данных для преобразования ситуационной осведомленности в реальном времени в принимаемые решения (также в режиме реального времени). Огромное количество широкополосных датчиков будет задействовано в таких сценариях применения, как умный дом, умное здоровье, умный автомобиль, умный город, умное здание и умная фабрика, чтобы получить огромный объем данных, необходимых для обучения и работы ИИ. Большие данные являются основой успеха машинного обучения, и они становятся основной причиной увеличения пропускной способности сети 6G на порядок.

Интеллектуальное пространство – это пространство, в котором действия многочисленных сетевых

устройств (контролирующих различные аспекты среды) организуются интеллектуальными аппаратными и программно-аппаратными агентами таким образом, чтобы создать гетерогенную целостную функциональность, которая позволяет эффективно решать различные задачи его пользователями.

Кроме того, новые технологические решения, такие как сети сенсоров (networks-as-sensors) и наземная связь, станут неотъемлемой частью мобильных систем 6G, что позволит осуществлять мониторинг окружающей среды и съемку на больших территориях в режиме реального времени.

В настоящее время используются системы спутниковой связи с ретрансляцией сигналов через мало-размерные космические аппараты на низких орбитах (VLEO, very low Earth orbit) [7]. Большое количество плотно размещенных в космическом пространстве небольших спутников позволяют создать сеть связи для покрытия всей земной поверхности. Например, в системе Starlink применяются КА на круговой орбите с высотой над поверхностью Земли $H=500$ км. Используются 72 орбитальные плоскости с $i=53^\circ$ по 22 спутника в каждой плоскости. Небольшая высота этих спутников обеспечивает значительное снижение потерь мощности при распространении волн в радиолиниях. Поэтому требуемая энергия радиосигнала при его приеме в абонентском терминале достигается при высоких скоростях модуляции. Лучший бюджет мощности и спутниковые каналы с полосой 250 МГц обеспечивают большую скорость передачи данных и работу интернета. Низкие спутники устраи-

вают запаздывание сигнала связи, присущее традиционным спутниковым системам на геостационарной и средневысотной околоземной орбите. Кроме того, меньшая высота спутника уменьшает зону охвата земной поверхности лучом бортовой антенны, тем самым повышая возможность повторного использования частоты при фиксированном покрытии сотами. В сети 6G планируется интеграция таких спутниковых систем с наземной системой мобильной связи. Это является ключевым фактором и приводит к значительному отличию сетевой архитектура 6G от систем предыдущих поколений.

Интеграция наземных и спутниковых систем организуется различными способами. В Starlink осуществляется соединение абонентского терминала через спутник, станцию сопряжения к базовой станции и обслуживаемым ей абонентским терминалам. В течение многих лет такое соединение было чрезвычайно дорогим и предлагало низкую скорость передачи данных. Кроме того, абонентам приходилось иметь два разных АТ: один для доступа к спутниковой сети, а другой – для доступа к сотовой сети. В будущем 6G позволит интегрировать все типы доступа в один АТ, обеспечивая плавное переключение между услугами. Предполагается создание спутниковых группировок с межспутниковыми линиями связи. Это позволит спутниковой системой соединять базовые станции наземной сети.

Интегрированная сеть 6G расширит спектр предоставляемых услуг. Сегодня даже в развитых странах во многих сельских и отдаленных районах по-прежнему

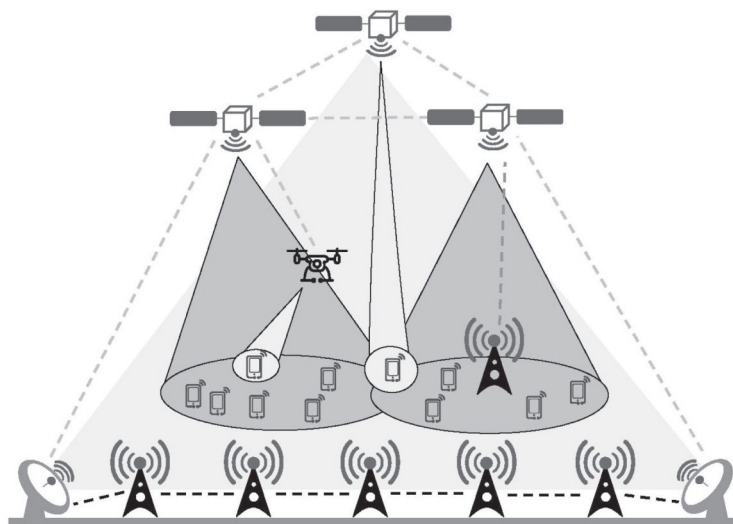


Рис. 1. Интегрированная наземная и неназемная сеть (серые пунктирные линии обозначают беспроводные транзитные соединения, а черные пунктирные линии – оптоволоконные соединения)

отсутствует высокоскоростное подключение к Интернету. Ситуация в развивающихся странах еще хуже. Фактически более 3 миллиардов человек во всем мире все еще не имеют доступа к Интернету, что создает серьезный разрыв в развитии цифровизации между различными регионами [4]. Ожидается, что интеграция наземных и спутниковых сетей станет экономически эффективным решением и позволит обеспечить широкополосную связь и услуги Интернета в регионах и областях, где отсутствует покрытие наземной сетью, включая удаленные объекты.

Для обеспечения стабильного и высококачественного обслуживания в сельской местности интегрированная сеть 6G должна обеспечивать высокую скорость передачи данных, аналогичную той, которая предлагается через базовые станции 5G, в частности 50 Мбит/с в нисходящем канале и 25 Мбит/с в восходящем канале в пересчете на пользователя. В будущем интегрированные системы 6G должны обеспечивать мобильное широкополосное подключение для всех пассажиров самолетов и кораблей. Скорость передачи данных для каждого пользователя должна превышать 15 Мбит/с и 7,5 Мбит/с при поступлении информации к абоненту и отправке данных, соответственно [1]. Данные скорости обеспечиваются в системе Starlink [7]. Например, если для передачи данных к АТ используется одно ВО и все 1024 поднесущие колебания, за кадр передается 1024 символов, а за одну секунду $750 \cdot 1024 = 768 \cdot 10^3$ символов. При использовании модуляции ФМ-4 скорость передачи данных к АТ равна 1,536 Мбит/с, а при КАМ-16 – 3,072 Мбит/с. С увеличением количества ВО скорость передачи данных возрастает. Для получения скорости 50 Мбит/с надо использовать 17 ВО.

Кроме того, использование комбинированных средств спутниковых и наземных систем 6G будет способствовать появлению новых применений, таких как высокоточное позиционирование объектов и высококачественная съемка земной поверхности в реальном времени.

В интегрированной сети 6G предусматривается использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и высотных платформ. Эти средства создают промежуточный уровень по высоте между наземными и спутниковыми системами. Интегрированная наземная и неназемная сеть показана на рис. 1.

Главным свойством БПЛА (дронов) является воздушная мобильность. Дрон служит удобной платформой для перемещения в пространстве различных датчиков и камер наблюдения. Это позволяет собирать информацию об объектах и окружающей среде в области контроля, которая находится далеко от потребителя информации. Например, можно получить сведения кругового обзора пространства (360°). Данные с БПЛА могут быть переданы потребителю через систему связи с низкоорбитальными спутниками.

БПЛА применяются в качестве ретранслятора или точки доступа для формирования временной сети и расширения зоны действия мобильной связи, особенно в исключительных сценариях (например, при авариях в горах или стихийных бедствиях). Иными словами, гибкость и маневренность БПЛА могут сделать их альтернативой в критических ситуациях при отсутствии фиксированной инфраструктуры. БПЛА используются в сети 5G, в сети 6G они будут развиваться в направлении получения более высоких показателей эффективности, включая сверхвысокую скорость передачи данных (например, видеопоток с обзором 360° требует канал с пропускной способностью более 10 Гбит/с), сверхвысокую надежность и сверхнизкую задержку (для плавного управления или полностью автономного полета). БПЛА нуждаются в высокоточном позиционировании, и показательный пример заключается в том, что для прямой видеотрансляции 8K, лазерного картографирования/патрулирования и серийных фотоснимков может потребоваться определение местоположения с точностью до одного сантиметра.

Расширение обслуживаемых территорий, введение новых услуг и приложений может быть достигнуто только при изменении структуры сети. Необходимо наличие единой структуры сети, в которой узлы спутниковых группировок с межспутниковыми линиями связи, сетевые узлы на борту БПЛА, а также наземные сетевые узлы могут в равной степени рассматриваться как базовые станции с выполнением операций, обеспечивающих мобильность и многостанционный доступ. Пользовательские устройства должны беспрепятственно получать доступ к наземным и неназемным базовым станциям, управляющим проходящими потоками данных.

Из-за быстрого движения спутников обработка сигналов на борту во время процедур поддержания мобильности с учетом потенциально огромного количества мобильных пользователей в сетях 6G приведет к чрезмерной нагрузке на процессоры и большому потреблению энергии.

Услуги и применения не могут быть эффективно реализованы той или иной сетью по отдельности. Однако в сетях 6G будущего ожидается полная интеграция функций и операций, а также управления ресурсами и мобильностью обеих систем. Требуется тесная интеграция совместно работающих наземных и неназемных сетей. Основная цель проектирования интегрированных сетей состоит в том, чтобы достичь лучших общих характеристик за счет эффективной совместной работы нескольких каналов, более гибкого совместного использования функциональных возможностей и более быстрого переключения каналов физического уровня между наземными и неназемными сетями.

Увеличение пропускной способности и уменьшение габаритов абонентской аппаратуры достига-

ется использованием на КА многолучевых антенн, обладающих высоким коэффициентом усиления. Возникает проблема управления узкими лучами антенн при орбитальном движении спутников и отслеживании движения пользовательского оборудования при поддержании мобильности. Решение этой проблемы является важной областью исследований при создании сетей 6G.

Заключение

Расширение объема и качества услуг в сетях 6G обеспечивается конвергенцией новых технологий и принципов функционирования. Введение цифровой модели пространства, сети датчиков, подключенного интеллекта, интеграции спутниковых и наземных систем связи приводит к существенному изменению парадигмы беспроводных мобильных инфокоммуникационных систем. Потребителями услуг станут не только люди, но и устройства различной степени интеллектуальности и их ассоциации, что усилит их влияние на технологическое развитие общества.

Литература

1. Тонг, В. Сети 6G. Путь от 5D к 6G глазами разработчиков / В. Тонг, П. Чжу. – Москва : ДМК-Пресс, 2022. – 624 с.
2. Верхова, Г. В. Исследование эффективности метода и моделей формирования единого геоинформационного пространства постиндустриального общества / В.В. Верхова, С.В. Акимов, С.П. Присяжнюк // Информация и Космос. – 2024. – № 2. – С. 163–172.
3. Присяжнюк, С. П. Вербальная модель формирования единого геоинформационного пространства / С.П. Присяжнюк, Г.К. Осипов, И.В. Чернов // Известия Института инженерной физики. – 2023. – № 3 (69). – С. 44–51.
4. Верхова, Г. В. Метод объединения гетерогенных геопространственных данных на основе многоаспектных моделей / Г.В. Верхова, С.В. Акимов // Телекоммуникации. – 2021. – № 3. – С. 34–40.
5. Kunzmann, G. A new architecture for a new 6G era / G. Kunzmann // Nokia Bell Labs. – URL : <https://www.bell-labs.com/institute/blog/a-new-architecture-for-a-new6g-era> (дата обращения: 20.05.2024).
6. Hoydis, J. In future networks, 6G radios will learn from one another / J. Hoydis, H. Viswanathan // Nokia Bell Labs. – URL : <https://www.bell-labs.com/institute/blog/future-networks-6g-radios-will-learn-one-another> (дата обращения: 20.05.2024).
7. Деев, В. В. Способы многостанционного доступа и цифрового формирования радиосигналов в системе широкополосной спутниковой связи / В.В. Деев // Информация и Космос. – 2024. – № 2. – С. 67–71.
8. Структура сигнала нисходящей линии связи К-диапазона Starlink / Т.Э. Хамфрис, П.А. Яннучи, Э.М. Комодромос, Э.М. Графф // Факультет аэрокосмической техники и

инженерной механики, Техасский университет в Остине, факультет электротехники и вычислительной техники, Техасский университет в Остине. – 2023. – URL : <https://arxiv.org/abs/2210.11578> (дата обращения: 20.08.2025).

9. Деев, В. В. Методы модуляции и кодирования в современных системах связи / В.В. Деев. – Санкт-Петербург : Наука, 2007. – 267 с.

XXIV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: КОСМИЧЕСКИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ, ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

Журнал «Информация и Космос» — официальный
медиа-партнер конференции

22-25 СЕНТЯБРЯ 2025

ЕКАТЕРИНБУРГ



<https://conf.racurs.ru/>
+7 495 720 51 27
conference@racurs.ru



РЕКЛАМА