

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ

УДК [004+621.39]:001.18

Е.Б. Дудин, О.В. Сютюренко

Некоторые тенденции развития технологий передачи и обработки данных*

Рассматриваются новые направления и значимые тенденции развития технологий передачи и обработки информации, такие как: пропускная способность каналов связи и скорость передачи данных; беспроводные сенсорные сети; программно-конфигурируемые сети; высокопроизводительные вычисления, сетевые технологии управления; системы обработки и регистрации информации от различных средств обнаружения; системы питания летательных аппаратов энергией лазерного и СВЧ излучения; разработки антенн для базовых станций и подвижных систем связи. Показана взаимосвязь процессов развития информационных технологий с проблемами обеспечения информационной безопасности и задачами реиндустриализации российской экономики.

Ключевые слова: системы обработки данных, каналы связи, передача данных, информационные технологии, высокопроизводительные вычисления, сенсорные сети, скорость передачи данных, антенны

DOI: 10.36535/0548-0019-2023-04-2

ВВЕДЕНИЕ

В современном цифровом пространстве коммуникационные и компьютерные технологии реализуют весь комплекс методов, способов и сервисов, обеспечивающих деловую и информационно-вычислительную среду для решения задач получения, продуцирования, переработки данных в различных сферах промышленности, науки, образования. В настоящее время можно констатировать максимально широкое «вплетение» информационных технологий в ткань любых экономических, производственных, технологических, образовательных и управленческих процессов. На основе глобальной сети Интернет создается единая цифровая среда с подключением к ней машин и оборудования, объектов инфраструктуры, транспорта, логистических цепочек, организаций, целевых аудиторий научно-технической сферы. Во многих странах, в том числе и в Российской Федерации, разрабатываются и финансируются программы по перестройке экономик в соответствии с тенденциями и требованиями цифровой реальности. По версии международного индекса сетевой готовности

(*Networked Readiness Index* – рассчитывается по «62 показателям») за 2021 г. Россия значительно отстает от мировых лидеров, занимая по готовности к цифровой экономике» 43-е место, а по экономическим и цифровым результатам использования цифровых технологий – 38-е место.

Для реализации масштабных задач реиндустриализации, развития цифровой экономики чрезвычайно актуальным является модернизация национальной информационной инфраструктуры, включая топологию сетей, создание новых, более совершенных методов обработки данных, протоколов обмена информацией и управления сетями, информационных и телекоммуникационных технологий, а также повышения их быстродействия и надежности. Приоритетными стали такие перспективные направления, как технологии больших данных (*Big Data*) и широкополосный Интернет, которые в России, в настоящее время, существенно отстают от мирового уровня. Развиваются такие направления, как виртуальная и дополненная реальность, Интернет вещей и технология блокчейна.

В нашей работе рассматривается лишь локальный сегмент новых направлений и значимых, как мы считаем, тенденций развития технологий передачи и обработки информации:

- увеличение пропускной способности каналов связи и скорости передачи данных;

* Статья подготовлена в рамках работ по темам FFFU-2022-0004, FFFU-2019-0003 Исследование мирового потока научной и технической литературы по естественным, точным и техническим наукам.

- беспроводные сенсорные сети;
- программно-конфигурируемые сети;
- высокопроизводительные вычисления (суперкомпьютинг);
- направления развития сетевых технологий управления;
- системы обработки и регистрации информации от различных средств обнаружения;
- системы питания летательных аппаратов энергией лазерного и СВЧ излучения;
- разработки антенн радиосвязи для базовых станций и подвижных систем связи.

При подготовке статьи использованы результаты научно-информационной работы ВИНТИ РАН по перспективным направлениям исследований и разработок в области автоматизации и радиоэлектроники 2022 года [1-21].

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Увеличение пропускной способности каналов связи и скорости передачи данных

А. Быстро растет число исследований в области создания беспроводной технологии шестого поколения для цифровых сотовых сетей 6G, которые будут использовать верхние пределы радиоспектра и поддерживать скорости 1 Тбит/с (терабайт в секунду). Это снизит задержку связи до одной микросекунды – в 1000 раз быстрее, чем задержки 5G. Реализация технологии 6G создаст условия для развития интеллектуальной связи, более быстрой связи и голографической связи (отображение удаленных объектов). 6G найдет применение в различных реальных приложениях, таких как умный город, военное наблюдение, здравоохранение. Интеллектуальное вождение и отраслевые революции формируют основные требования к 6G, которые приведут к таким классам обслуживания, как повсеместная мобильная сверхширокополосная связь (*uMUB*), сверхвысокая скорость связи с малой задержкой (*uHSLLC*) и сверхвысокая плотность данных (*uHDD*). Принципы подсоединения в любом месте, сформированные Международным союзом электросвязи (*International Telecommunication Union – ITU*) и партнерским проектом 5G PPP (*Infrastructure Public Private Partnership*), подразумевают интеграцию наземного и воздушно-космического сегментов взаимосвязанных спутников *LEO* в архитектуру сети. Платформы *LAPS* и *HAPS* станут частью будущих сетей связи. Низкоподнятые платформы (*LAPS – 10 км*) – это узлы радиодоступа и ретрансляторы. Они осуществляют связь с высокоподнятыми платформами (*HAPS – High Altitude Platform Station*) и территориально-распределенной мобильной сетью 6G. Сети 6G будут включать искусственный интеллект (ИИ) для функций сетевого управления и сетевого контроля, программируемости сетевых элементов и функций сети, а также интеграцию измерений, датчиков и связи, сокращение энергопотребления, использование надежной инфраструктуры, масштабируемость и доступность, повсеместный доступ в Интернет, включая сельские районы, океаны, пусты-

ни, с помощью движущихся телекоммуникационных платформ, размещаемых на спутниках, на кораблях и беспилотных воздушных судах или самолетах. По сравнению с существующей инфраструктурой сетей спутниковой связи одной из важных функций будущих мобильных устройств 6G (смартфоны, планшеты и т.д.) будет возможность напрямую связываться с локально доступным спутником *LEO* без необходимости использовать соединения через традиционную инфраструктуру наземных сетей. В архитектуре сети 6G важнейших инноваций станет сквозное использование протокола *New IP* вместо устаревшего *IP*-протокола с версиями IPv4 и IPv6. В качестве инноваций 6G в структуру *LAPS* вводятся в качестве транзитного соединения оптические линии связи «оптика в свободном пространстве» (*FSO*). Сеть *LEO* с лазерными и радиочастотными каналами может обеспечить связь с меньшей задержкой, чем наземные волоконно-оптические сети при расстоянии, превышающем 3 тыс. км. Наземные территориально-распределенные подсистемы мобильной связи включают архитектуру опорной сети 6G *Core* на базе искусственного интеллекта, а также локальные и распределенные ресурсы с возможностью хранения.

В. По прогнозам Национального научного фонда (*NSF – National Science Foundation*) в 2023 г. число пользователей Интернета превысит 5 млрд. Согласно «*Internet Live Stats*» ежедневно потребляется свыше 3 зеттабайт (10^{21}) интернет-трафика. Прогнозируемое увеличение сетевой активности повлияет на ускоренный переход телекоммуникационных структур от имеющейся сетевой инфраструктуры к реализации концепции мультисервисной сети. Мультисервисная сеть – это сетевая среда, способная передавать аудиовидеопотоки и данные в унифицированном (цифровом) формате по единому протоколу (сетевой уровень: IP v6). Пакетная коммутация, используемая вместо коммутации каналов, делает мультисервисную сеть постоянно готовой к использованию. Протоколы резервирования полосы пропускания, управления приоритетами передачи и качества обслуживания позволяют дифференцировать услуги, предоставляемые для различных типов трафика. Это гарантирует прозрачное и единообразное подключение к сети и получение доступа к сетевым ресурсам и сервисам как для существующих клиентских устройств, так и для тех, что появятся в ближайшем будущем. В последнее десятилетие активно развивается глобальная широкополосная сеть Интернета (≥ 10 Гбит/с), которая теперь рассматривается как перспективный базовый элемент информационной инфраструктуры. Однако следует отметить, что в настоящее время беспроводные сети обеспечивают покрытие ~50% мирового трафика. В ближайшие пять лет ожидается появление новых типов беспроводных коммуникаций, которые станут основой развития перспективных технологий, например, робототехники, автономного наземного и авиатранспорта, медицинских гаджетов. Сети *Wi-Fi* являются сегодня и останутся на ближайшие годы основой высокопроизводительных беспроводных сетей (прежде всего *Wi-Fi 6* – поддерживает диапазоны 2,4 ГГц и 5 ГГц). Запуск первых сетей сотовой связи пятого поколения (5G)

начался еще в 2018 г., однако, по мнению аналитиков компании *Gartner*, на развертывание сетей 5G в глобальном масштабе уйдет пять-восемь лет. Под эгидой Международного союза связи (МСЭ/ITU) ведутся исследования и разработки в рамках мегапроекта *Network 2030*. *Network 2030* – это собирательное название исследования, направленного на создание новых и развитие существующих сетей передачи данных. Проект затрагивает фиксированную связь (LAN, WAN, спутники), при этом существенное внимание уделяется увязыванию между собой разнотипных сетей передачи данных. В состав мегапроекта входят такие проекты, как: *Holographic type communications (HTC)* – создание реалистичных трёхмерных изображений либо совсем без очков, либо с помощью устройств дополненной реальности. Пропускная способность – гигабиты в секунду; *Tactile Internet for remote operations (TIRO)* – удалённая работа с роботами, предназначенными для различных целей – автоматизации производства и проведения операций; *Human System Interface (HSI)* – 360-градусное видео (широкий канал), задержки соответствуют возможностям глаза; *Industrial IoT (IIoT) with cloudification* – облако для обслуживания процессов автоматизированного производства. Фактически, создаётся изолированная инфраструктура, элементы которой постоянно обмениваются небольшими порциями данных; *Intelligent operation network (ION)* – множество точек снятия параметров, использование ИИ для анализа, динамическая реакция (требования: низкие задержки и реакция на события), динамическая конфигурация сетей; *Network and computing convergence (NCC)* – объединение сетей различных типов, в том числе и беспроводных. Единые протоколы, гибкая адресация, отсутствие привязки к географии, способность к быстрому изменению конфигурации сети; *Space-terrestrial integrated network (STIN)* – инфраструктура передачи данных с предсказуемой траекторией движения спутников. Скорость передачи данных сильно зависит от энергетики канала и метеорологических явлений (на которые повлиять оператор не может).

Беспроводные сенсорные сети

В сфере исследований и разработок большое внимание уделяется «Интернету вещей» (*IoT – Internet of Things*) и беспроводным сенсорным сетям. Это мониторинг среды обитания и сельское хозяйство, военное дело и промышленный мониторинг, мониторинг здравоохранения, а также транспортная логистика, отслеживание местонахождения транспорта, отслеживание состояния водителя, датчики, имплантаты. От таких сетей требуется точность, надежность, достоверность, энергоэффективность, безопасность, отказоустойчивость, достаточный срок жизни. Обсуждаются вопросы сбора и обработки информации, ее актуальность. По существу *IoT* – это сеть физических предметов (вещей), которые оснащены встроенной технологией взаимодействия и внешней телекоммуникационной средой. Именно *IoT* обеспечивает лавинообразное увеличение доли автоматически генерируемых данных в глобальной цифровой среде. Уже сегодня большинство IP-адресов принадлежит системам управления вещами, а также

промышленным, транспортным, коммунальным и инфраструктурным объектам. По прогнозам компании *Cisco*, число таких IP-адресов возрастет до ~50 млрд в 2025 г. По оценкам аналитической компании *Neilsen* в настоящее время сегмент интернета вещей составляет >70% интернет-трафика. По данным *Business Insider Intelligence*, к 2027 г. в мире будет более 41 млрд установленных *IoT*-устройств. Создание и развитие таких сетей рассматривается как технология, способная перестроить как экономические, так и общественные процессы посредством исключения из части действий и операций необходимости участия человека. Из разных типов *IoT*-решений преобладает удаленный мониторинг. Промышленные компании используют *IoT*-решения преимущественно для оптимизации и автоматизации технологических процессов. Среди самых перспективных технологий – граничные вычисления, 5G и искусственный интеллект. Внедрение 5G (и в перспективе 6G), в частности, будет иметь большое влияние на формирование интернета вещей. Развитие сетевых технологий *IoT* позволит реализовать новые объекты передачи в Интернет, например – запах. Сенсорные электронные приборы анализируют молекулярный состав воздуха в одной точке и передает эти данные по сети. В другой точке сети этот молекулярный состав, т.е. запах синтезируется. Прототип подобного устройства (*web-генератор*) уже выпустила американская компания *Mint Foundry*, называется она *Olly*.

Программно-конфигурируемые сети

С ростом количественных показателей нагрузки на сети усложнились задачи управления ими – увеличились их перечень, значимость и критичность, причем на фоне повышения требований к безопасности и надежности. Взрывоподобный рост и распространение мобильных устройств и контента для них, виртуализация серверов и появление облачных сервисов – это основные тренды для трансформации традиционных сетевых архитектур. Перспективным направлением развития компьютерных сетей стало появление принципиально нового подхода к их построению – программно-конфигурируемых сетей (*Software Defined Networks – SDN*). В *SDN* уровни управления сетью и передачи данных разделяются за счет переноса функций управления (маршрутизаторами, коммутаторами и т. п.) в приложения, работающие на отдельном сервере (с сетевой операционной системой). Фактически реализуется виртуализация физических ресурсов сети. Технологии на основе *SDN* позволяют поднять на 25–30% эффективность сетевого оборудования, снизить на 30% затраты на эксплуатацию сетей, повысить безопасность и предоставить пользователям возможность программно создавать новые сервисы и оперативно загружать их в сетевое оборудование. В России проблематикой программно-конфигурируемых сетей занимается Центр прикладных исследований компьютерных сетей (факультет Вычислительной математики и кибернетики МГУ им. М.В. Ломоносова) – резидент *IT*-кластера инновационного Фонда Сколково – совместно с центром обработки данных ОАО «Ростелеком».

Высокопроизводительные вычисления (суперкомпьютинг)

В ближайшем будущем следует ожидать конвергенции технологии больших данных и высокопроизводительных вычислений с использованием одного суперкомпьютера или большого кластера компьютеров, используемых для анализа больших данных, решения сложных расчетных задач, моделирования. По мере объединения этих двух тенденций вычислительная мощность и емкость и больших данных, и высокопроизводительных вычислений будут расти, что откроет возможности для появления качественно новых результатов исследований и инноваций. В настоящее время лидерами рейтинга *Top500* являются новые китайские суперкомпьютеры *Oceanlite* и *Tianhe-3*, производительность которых, по некоторым данным, составляет 1,3 эксафлопс (1,3 млн терафлопс, т.е. 10^{18} операций с плавающей точкой в секунду). Сразу три суперкомпьютера с сопоставимой производительностью разрабатываются сейчас в США по заказу Министерства энергетики. Создание эксафлопсных суперкомпьютеров идет по двум направлениям: эволюционному и инновационному. Первое предполагает постепенное улучшение существующих суперкомпьютеров на легких и тяжелых суперскалярных процессорных ядрах. Задача инновационных проектов — поиск новых решений и технологий для создания эффективных и отказоустойчивых суперкомпьютеров с реальной эксафлопсной производительностью на широком круге задач. Перспективное направление в архитектуре суперкомпьютеров — это *квантовые вычислительные системы* — устройства, использующие явления квантовой суперпозиции и квантовой запутанности для передачи и обработки данных. Такие устройства оперируют *кубитами* (квантовыми битами), которые могут одновременно принимать значение и логического ноля, и логической единицы. Поэтому с ростом количества используемых кубитов число обрабатываемых одновременно значений увеличивается в геометрической прогрессии. Фазовый кубит был впервые реализован в лаборатории Делфтского университета (Нидерланды).

Интерес и востребованность разных отраслей промышленности к высокопроизводительным вычислениям растет (примерно с 2006 г., когда стал популярен анализ больших данных). Ожидается, что глобальный рынок высокопроизводительных вычислений вырастет с 31 млрд долларов США в 2017 г. до 50 млрд долларов в 2023 г. Поскольку производительность облачных систем продолжает расти, а сами они становятся еще более надежными и мощными, ожидается, что большая часть этого роста будет связана с развертыванием облачных высокопроизводительных вычислений, которые избавляют предприятия от необходимости вкладывать миллионы в инфраструктуру центра обработки данных и нести связанные с этим расходы.

Направления развития сетевых технологий управления

Использование современных сетевых технологий позволяет оптимизировать как процессы управления, так и сбор необходимой информации. Перспектив-

ные направления развития сетевых технологий управления:

- интеллектуальная автоматизация, применение искусственного интеллекта (*Artificial Intelligence – AI*);
- углубленная аналитика и большие данные (*Deep Learning and Bigdata*);
- новые современные средства бизнес-моделирования – имитационное моделирование (*Simulation-modelling*);
- роботизированная автоматизация процессов (*Robotic Processes Automation – RPA*).

Следует отметить, что одна из основных тенденций 2022 г. в промышленной робототехнике – это активное развитие разработки коллаборативных роботов (коботов), которые представляют собой автоматические устройства, работающие совместно с человеком. Они являются продуктом концепции *Human-robot collaboration (HCR)* – сотрудничество человека и робота. Если робот в обычном своем понимании предназначен для автоматической работы по заложенной в него программе независимо от рядом работающих людей, то кобот призван учитывать их расположение и сотрудничать с человеком.

Технологии искусственного интеллекта позволяют собирать статистические данные о работе промышленных установок, анализировать тренды и выявлять аномалии для предотвращения аварий и прогнозирования необходимости техобслуживания. Использование этих технологий наряду с традиционными методами автоматизации позволит повысить энергоэффективность промышленных объектов. В научно-технической сфере перспективу представляет конвергенция сетевых технологий, методов наукометрии и сопоставительного анализа для управления научными исследованиями и разработками. Далее сетевые технологии управления будут использовать суперкомпьютинг, облачные хранилища и облачную обработку данных, программно-конфигурируемые сети, мобильные устройства для визуализации (*Android, iOS*), беспроводные технологии с малым потреблением энергии (*LoRa, ZigBee, BLE*). В частности, последние найдут применение в автономных датчиках. Обобщая, можно констатировать макротенденцию перманентного активного проникновения сетевых технологий управления в различные сферы экономики и социума.

Системы обработки и регистрации информации от различных средств обнаружения

Значительный удельный вес имеют исследования и разработки в области систем обработки и регистрации информации от различных средств обнаружения. Круг задач очень широк. Не теряют актуальности исследования и разработки в области обработки радиолокационной информации, как в гражданских, так и в военных приложениях. В частности, разрабатываются подходы к построению универсального классификатора сигналов бортовой системы обработки и регистрации информации от средств обнаружения морских целей в составе целевой нагрузки беспилотных летательных аппаратов ВМФ, выполняющих обнаружение морских объектов в различных диапазонах проявления их признаков.

Однако мейнстримом являются исследования и разработки в области систем идентификации и позиционирования (определения местонахождения) материальных объектов – людей, транспортных средств, подвижных механизмов и различных предметов, обеспечения информационной безопасности, охраны объектов (предприятий), оперативно-розыскной деятельности, а также ведения разведывательных действий с помощью радиоэлектронных средств (РЭС) и другой электронной техники. Разнообразие областей и направлений использования таких систем порождает разнообразие технологий.

Системы питания летательных аппаратов энергией лазерного и СВЧ-излучения

Рост числа публикаций, посвященных системам питания летательных аппаратов энергией СВЧ, отмечен в 2022 г. Сегодня идея транспортировки электроэнергии с помощью лазерного или СВЧ-излучения возрождается в связи с проблемами энергоснабжения беспилотных летательных аппаратов, труднодоступных объектов (в гористой местности, на островах и т.п.), восстановления подачи энергии при чрезвычайных ситуациях. При этом мощность от единиц до десятков киловатт требуется передавать с помощью компактных передатчика и приемника. Рабочая частота системы транспортировки определяется наличием мощных эффективных источников СВЧ-энергии, и требование компактности системы заставляет отдавать предпочтение более коротковолновым приборам. По этой причине наряду с магнетронами дециметрового диапазона в качестве перспективных кандидатов рассматриваются клистроны сантиметрового диапазона и промышленные гиротроны длинноволновой части миллиметрового диапазона, которые имеют высокий КПД, используют постоянные магниты для фокусировки электронного пучка и могут работать без криогенной системы.

Такие системы могут применяться как к космическим аппаратам, так и к воздушным пунктам наблюдения. Интерес к использованию передачи энергии по СВЧ – лучу для питания двигателей аэрокосмических летательных аппаратов – обусловлен тем, что в этом случае аппараты обладают улучшенными и даже уникальными параметрами, так как источник энергии, потребляемой двигателем, удален от самого аппарата. Например, вертолет, питаемый энергией СВЧ, поступающей по вертикальному лучу, может служить в качестве наблюдательного пункта или пункта радиосвязи. Снабжение такого аппарата энергией по лучу может продолжаться неопределенно долго – дни, недели и даже месяцы.

Разработки антенн радиосвязи для базовых станций и подвижных систем связи

Рост публикационной активности отмечается и в области разработки антенн радиосвязи, в частности, для базовых станций и подвижных систем связи. Современные системы мобильной связи пятого поколения позволяют работать наряду со стандартными диапазонами в диапазонах нелицензируемых частот, например, 2,4 ГГц. Антенные системы, которые бу-

дут работать в этих диапазонах, должны разделять свой частотный ресурс с существующими системами Wi-Fi. Для разделения ресурсов можно использовать пространственную избирательность, управляя диаграммой направленности. Основные требования к радиотехническим параметрам таких антенн заключаются в следующем: достаточная широкополосность, необходимая для обеспечения большого числа частотных каналов; наличие диаграммы направленности заданной формы.

В качестве некоторого отступления следует отметить, что развитие сетей сотовой связи в России происходит в значительной мере на основе зарубежных технологий и с использованием оборудования, произведенного зарубежными фирмами. Лидирующее положение на российском рынке занимает продукция германской компании *KATHREN*. Число выпускаемых этой фирмой различных моделей всенаправленных антенн достигает 40, а панельных антенн – 200. Однако условия России требуют подчас специфического подхода, например, для обслуживания обширных малонаселенных районов сельской местности не рационально строить большое число близко расположенных базовых станций, как это принято на Западе. В этом случае целесообразно создавать базовые станции с максимальной дальностью связи, а поскольку мощности передатчиков ограничены, необходимо применять антенны с большим коэффициентом усиления и с ориентацией главного максимума диаграммы направленности на линию горизонта.

В этой связи интерес представляют исследования и разработки по беспроводной передаче данных на основе стандарта *IEEE 802.11 ax*, что может способствовать решению проблем связи в труднодоступных населенных пунктах. В частности, описывается антенная решетка базовой станции сети *Wi-Fi* с вертикальной и горизонтальной поляризацией. Применение такого типа антенной решетки на основе антенны Вивальди с экспоненциальным изменением ширины щели для систем беспроводного широкополосного доступа позволяет значительно расширить полосу пропускания, увеличить зону покрытия, скорость передачи, а также дает возможность построения сверхширокополосных интегрированных антенных систем. Эта антенна позволяет выполнять адаптацию своих характеристик излучения под конечных абонентов с целью обеспечения максимального уровня сигнала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наряду с рассмотренными в настоящей статье технологическими тенденциями следует особо отметить, что конвергенция информационных, сетевых и телекоммуникационных технологий – одна из ключевых тенденций и мегатренд ИТ-отрасли, обеспечивающий качественно новый уровень интеграции технологий, сближение функциональных свойств систем различных классов и существенное расширение спектра ИТ-инфраструктуры. Конвергенция означает не только взаимное влияние, но и взаимопроникновение технологий, когда границы между отдельными технологиями стираются, а многие важные эффекты возникают именно в рамках междисциплинарной работы на стыке тематических областей. Результатом

конвергенции являются перспективные решения, сети, технологии, сервисы с новыми возможностями. Широкополосный доступ и передовые беспроводные технологии создают общую основу, на базе которой может быть обеспечен «бесшовный» доступ к любой информации, в любое время, в любом месте, с использованием любого устройства. Современные тенденции в области обработки данных свидетельствуют о том, что в ближайшем будущем нас ожидает этап концентрации информационных ресурсов в больших суперкомпьютерных системах нового поколения (технологии *Big Data*). В связи с этим актуализируются задачи: а) воссоздания отечественной отрасли микроэлектроники; б) создания высокоскоростных телекоммуникаций и развития топологии сетей (в т.ч. 5G); в) разработки и развития средств параллельного программирования: коммуникационных интерфейсов, параллельных языков. В перспективе – развитие интегрированных гиперконвергентных систем, предоставляющих в виде единых продуктов функции вычислительной мощности, сетевой поддержки и системы хранения данных.

Следует констатировать, что расширение цифрового информационного пространства, появление новых технологий, обеспечивающих возможность доминирования в различных сферах жизнедеятельности, совершенствование сетевых технологий скрытого управления групповым (и массовым) поведением, программирование деструктивных действий с использованием социальных сетей – все это на качественно новом уровне актуализирует проблему информационной безопасности и информационного суверенитета.

Реиндустриализация России должна быть реализована в ориентации на повышение технической оснащенности промышленного производства, обеспечение и оснащение экономических отраслей технологиями и оборудованием мирового уровня, что предполагает качественное преобразование отдельных экономических отраслей, сфер и экономики в целом на основе широкого использования информационных технологий, которые являются одним из основных базовых элементов создания новых промышленных направлений деятельности, продукции нового типа и реализации преобразований производственной деятельности на всех ее этапах, во всех отраслях промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Yang P., Quek T., Q. S., Chen J., You C., Cao X. Feeling of Presence Maximization: mmWave-Enabled Virtual Reality Meets Deep Reinforcement Learning // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. – 2022. – Vol. 21, № 11. – P. 10005-10019. DOI: 10.1109/TWC.2022.3181674.
- Yin Z., Cheng N., Luan T. H., Hui Y., Wang W. Green Interference Based Symbiotic Security in Integrated Satellite-Terrestrial Communications // Там же. – P. 9962-9973. DOI: 10.1109/TWC.2022.3181277.
- Wang T., Yao Z., Lu M. Carrier Phase Based Autonomous Coordinate Evolution for Narrowband Positioning Systems // Там же. – P. 9879-9891. DOI: 10.1109/TWC.2022.3179966.
- Olson N.R., Andrews J.G., Heath R.W. Coverage and Capacity of Terahertz Cellular Networks With Joint Transmission // Там же. – P. 9865-9878. DOI: 10.1109/TWC.2022.3179963.
- Chen C., Zhang J., Chu X., Zhang J. On the Deployment of Small Cells in 3D HetNets With Multi-Antenna Base Stations // Там же. – P. 9761-9774. DOI: 10.1109/TWC.2022.3179283.
- Roberts I.P., Chopra A., Novlan T., Vishwanath S., Andrews J.G. Beamformed Self-Interference Measurements at 28 GHz: Spatial Insights and Angular Spread // Там же. – P. 9744-9760. DOI: 10.1109/TWC.2022.3179232.
- Fan W. et al. Joint Task Offloading and Service Caching for Multi-Access Edge Computing in WiFi-Cellular Heterogeneous Networks // Там же. – P. 9653-9667. DOI: 10.1109/TWC.2022.3178541.
- Guo S., Hu B.-J., Wen Q. Joint Resource Allocation and Power Control for Full-Duplex V2I Communication in High-Density Vehicular Network // Там же. – P. 9497-9508. DOI: 10.1109/TWC.2022.3177199.
- Shi X., Deng N. Modeling and Analysis of mmWave UAV Swarm Networks: A Stochastic Geometry Approach // Там же. – P. 9447-9459. DOI: 10.1109/TWC.2022.3176906.
- Wang B., Jiao J., Wu S., Lu R., Zhang Q. Age-Critical and Secure Blockchain Sharding Scheme for Satellite-Based Internet of Things // Там же. – P. 9432-9446. DOI: 10.1109/TWC.2022.3176874.
- Liu M., Xia S., Xiong M., Xu M., Fang W., Liu Q. Integrated Communication and Positioning With Resonant Beam // Там же. – P. 9186-9199. DOI: 10.1109/TWC.2022.3173929.
- Fei Z., Wang Y., Zhao J., Wang X., Jiao L. Joint Computational and Wireless Resource Allocation in Multicell Collaborative Fog Computing Networks // Там же. – P. 9155-9169. DOI: 10.1109/TWC.2022.3173365.
- Mohamed Z., Bhowal A., Aïssa S. Distance Distributions and Coverage Probabilities in Poisson-Delaunay Triangular Cells With Application to Coordinated Multipoint Wireless Power Transfer // Там же. – P. 9143-9154. DOI: 10.1109/TWC.2022.3173343.
- Ren Q., Abbasi O., Kurt G., K., Yanikomeroglu H., Chen J. Caching and Computation Offloading in High Altitude Platform Station (HAPS) Assisted Intelligent Transportation Systems // Там же. – P. 9010-9024. DOI: 10.1109/TWC.2022.3171824.
- Setayesh M., Bahrami S., Wong V.W.S. Resource Slicing for eMBB and URLLC Services in Radio Access Network Using Hierarchical Deep Learning // Там же. – P. 8950-8966. DOI: 10.1109/TWC.2022.3171264.
- Zhang S., Cao R. Multi-Objective Optimization for UAV-Enabled Wireless Powered IoT Networks: An LSTM-Based Deep Reinforcement Learning Approach // *IEEE Communications Letters*. – 2022. –

- Vol. 26, № 12. – P. 3019-3023. DOI: 10.1109/LCOMM.2022.3210660.
17. Setiawan R., Ganga R.G., Velayutham P. et al. Encrypted Network Traffic Classification and Resource Allocation with Deep Learning in Software Defined Network // *Wireless Pers Commun.* – 2022. – Vol. 127. – P. 749-765. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08403-5>.
18. Kumar S.A.P., Nair R.R., Kannan E. et al. Intelligent Vehicle Parking System (IVPS) Using Wireless Sensor Networks // Там же. – P. 679-694. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08360-z>
19. Hmamouche Y., Benjillali M., Saoudi S. Fresnel Line-of-Sight Probability With Applications in Airborne Platform-Assisted Communications // *IEEE Transactions on Vehicular Technology.* – 2022. – Vol. 71, № 5. – P. 5060-5072. DOI: 10.1109/TVT.2022.3151461.
20. Jaffe Paul. Practical Power Beaming Gets Real // *IEEE Spectrum*, 2022. – URL: <https://spectrum.ieee.org/power-beaming> (дата обращения 16.01.23).
21. Chukhno N., Trilles S., Torres-Sospedra J., Iera A., Araniti G. D2D-Based Cooperative Positioning Paradigm for Future Wireless Systems: A Survey // *IEEE Sensors Journal.* – 2022. – Vol. 22, № 6. – P. 5101-5112. DOI: 10.1109/JSEN.2021.3096730.

Материал поступил в редакцию 17.01.23.

Сведения об авторах

ДУДИН Евгений Борисович – кандидат технических наук, зав. отделом научной информации по автоматике и радиоэлектронике ВИНТИ РАН
e-mail: dudine@viniti.ru

СЮНТЮРЕНКО Олег Васильевич – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ВИНТИ РАН
e-mail: olegasu@mail.ru