УДК 004.896

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

С. А. ПЯТКОВСКИЙ, Е. Е. ИСТРАТОВА
Новосибирский государственный технический университет
Новосибирск, Россия

Интернет вещей (IoT) представляет собой инфраструктуру взаимодействия физических и виртуальных объектов с использованием информационно-коммуникационных технологий. В последнее время активное развитие сферы телекоммуникаций, в которых ключевую роль играет вопрос улучшения инфраструктуры интернета вещей, стимулирует появление сетей с экстремально высокой плотностью подключенных узлов. Причем для обеспечения их работоспособности применяется широкий спектр коммуникационных решений, что формирует гетерогенную среду IoT, включающую системы сбора информации, машинные взаимодействия (M2M), дистанционное управление и другие элементы. Однако многообразие используемых технологий диктует необходимость классификации направлений и тенденций развития сетей интернета вещей, гарантирующих высокую эффективность и надежность передачи данных в меняющихся условиях.

Цель работы заключалась в изучении современных направлений в развитии сетей интернета вещей. Актуальность этой темы обусловлена как оперативным развитием данной сферы, так и повышением уровня требований, предъявляемых к технической реализации и информационной безопасности передаваемых данных.

Современное развитие сетей IoT связано с увеличением количества подключаемых устройств и ростом требований к сетевой инфраструктуре. При этом ключевыми требованиями являются следующие: масштабируемость; широкая зона покрытия; низкое энергопотребление; минимальные задержки при передаче данных; обеспечение высокого уровня информационной безопасности. Одной из основных тенденций остается распространение энергоэффективных технологий передачи данных. К ним относятся NB-IoT и LTE-M, ориентированные на датчики, счетчики, системы мониторинга и другие устройства, передающие небольшие объемы информации. Данные технологии обеспечивают широкое покрытие и длительное время автономной работы устройств [1].

Значительное влияние на развитие IoT оказывает интеграция с мобильными сетями пятого поколения. Для устройств, которым не требуется полный набор возможностей 5G, развивается технология Reduced Capability (RedCap), а также ее новейшая интерпретация – технология eRedCap, ориентированная на снижение сложности оборудования и энергопотребления [2]. Такие решения занимают промежуточное положение между NB-IoT, LTE-M и высокопроизводительными устройствами 5G.

Еще одним направлением является применение сетей Non-Terrestrial Networks (NTN), позволяющих организовывать подключение устройств в районах, где создание наземной инфраструктуры затруднено или экономически нецелесообразно. Решения на основе данной технологии нашли применение в сельском хозяйстве, транспортных системах, энергетике и экологическом мониторинге [3].

Одновременно развивается концепция граничных вычислений Edge Computing. При традиционной архитектуре данные от множества устройств передаются в удаленные центры обработки, что увеличивает нагрузку на сети и задержки при передаче данных. Multi-access Edge Computing предусматривает размещение вычислительных ресурсов ближе к конечным устройствам, что позволяет выполнять предварительную обработку данных непосредственно на границе сети и уменьшать объем передаваемой информации.

Важной тенденцией становится объединение IoT с технологиями искусственного интеллекта и облачными вычислениями. Такие системы способны не только передавать данные, но и выполнять их анализ, обнаруживать изменения и автоматически формировать управляющие воздействия. Однако в данном случае повышаются риски несовместимости устройств различных производителей и используемых протоколов.

Рост количества подключаемых устройств также повышает требования к информационной безопасности. Уязвимость отдельного элемента IoT может создавать угрозу для всей связанной инфраструктуры.

Таким образом, развитие сетей интернета вещей происходит в направлении повышения масштабируемости, энергоэффективности и доступности связи. Основными тенденциями при этом являются следующие: распространение NB-IoT и LTE-M; интеграция с 5G; развитие RedCap и eRedCap; использование спутниковых сетей; применение граничных вычислений; усиление требований к безопасности. Причем различные технологии используются совместно и выбираются в зависимости от требований конкретной IoT-системы к дальности связи, скорости передачи данных, задержке и энергопотреблению.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Игошева, А. М.** Тенденции развития промышленных сетей и устройств промышленной автоматизации / А. М. Игошева // Перспективы развития информационных технологий. – 2015. – № 26. – С. 16–19.

2. **Касатиков, Н. Н.** Тенденции развития программных систем для обработки и анализа больших данных устройств интернета вещей (IoT) / Н. Н. Касатиков, А. Д. Фадеева, Ш. М. Умаров // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. – 2022. – № 2. – С. 41–49.

3. **Маншуров, Ш. Т.** Новейшие технологии интернета связи: от 5G к будущим стандартам передачи данных / Ш. Т. Маншуров, Ю. Ш. Шахабидинова // Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social sciences. – 2024. – № 3. – С. 315–327.