

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СЕНСОРНЫХ СЕТЯХ

Назаров А.М., Райимов Ф.Т.

Ташкентский государственный технический университет

г.Ташкент, Узбекистан, ул. университетская 2, nazarov_58@rambler.ru;
farruxrayimov16@gmail.com

Аннотация: В статье рассматриваются современные технологии мобильной связи, применяемые для передачи данных в беспроводных сенсорных сетях. Проанализированы особенности использования технологий GSM, LTE, NB-IoT и 5G для передачи контрольно-измерительной информации. Особое внимание уделено энергоэффективности, дальности связи, пропускной способности и надежности передачи данных. Рассмотрены преимущества и ограничения каждой технологии в контексте промышленного мониторинга и систем интернета вещей. Представлены практические рекомендации по выбору оптимальной технологии связи.

Ключевые слова: беспроводные сенсорные сети, мобильная связь, NB-IoT, контрольно-измерительные системы, интернет вещей

Введение

Развитие технологий интернета вещей (IoT) и промышленного интернета вещей (IIoT) привело к широкому распространению беспроводных сенсорных сетей для мониторинга и управления различными процессами. Передача контрольно-измерительной информации требует надежных, энергоэффективных и масштабируемых решений [1]. Современные технологии мобильной связи предлагают различные варианты для организации связи в сенсорных сетях, каждый из которых имеет свои особенности и области применения.

Основная часть

1. Классификация технологий мобильной связи для сенсорных сетей

Технологии мобильной связи, применяемые в сенсорных сетях, можно классифицировать по нескольким критериям: дальность связи, энергопотребление, пропускная способность и стоимость развертывания. Традиционные технологии GSM/GPRS обеспечивают широкое покрытие, но характеризуются высоким энергопотреблением [2]. Технологии 3G и 4G LTE предлагают высокую пропускную способность, однако не всегда оптимальны для устройств с ограниченным энергопотреблением.

Революцию в области IoT произвели технологии LPWAN (Low Power Wide Area Network), среди которых особое место занимает NB-IoT (Narrowband IoT). Эта технология специально разработана для устройств интернета вещей и обеспечивает баланс между дальностью связи, энергоэффективностью и стоимостью [3]. NB-IoT работает в лицензируемых диапазонах частот операторов мобильной связи и обеспечивает глубокое проникновение сигнала в здания.

На рис. 1 показан график сравнительной характеристики технологий мобильной связи.



Рис. 1 – Сравнительная характеристика технологий мобильной связи

2. Технология NB-IoT для передачи контрольно-измерительных данных

NB-IoT представляет собой оптимальное решение для передачи небольших объемов контрольно-измерительной информации на большие расстояния. Технология обеспечивает время автономной работы устройств до 10 лет от одной батареи, что критично для датчиков, установленных в труднодоступных местах [4]. Скорость передачи данных составляет до 250 кбит/с в режиме downlink и до 20 кбит/с в режиме uplink, что достаточно для большинства сенсорных приложений.

Важным преимуществом NB-IoT является улучшенное покрытие в помещениях – технология обеспечивает прирост бюджета линии связи на 20 дБ по сравнению с GSM. Это позволяет использовать датчики в подвалах, шахтах и других местах со сложными условиями распространения радиосигнала. Кроме того, NB-IoT поддерживает массовое подключение устройств – до 50 000 устройств на одну базовую станцию.

3. Применение технологии 5G в сенсорных сетях

Технология 5G открывает новые возможности для сенсорных сетей благодаря концепции mMTC (massive Machine Type Communications). Основные преимущества включают сверхнизкую задержку (менее 1 мс), высокую плотность подключения устройств (до 1 миллиона на км²) и гибкое управление сетевыми ресурсами через технологию сетевых срезов [5].

Для промышленных применений критичным является обеспечение надежности и предсказуемости доставки данных. Технология 5G URLLC (Ultra-Reliable Low Latency Communications) гарантирует доставку пакетов с вероятностью 99,999% и задержкой менее 1 мс, что необходимо для систем управления в реальном времени. Однако высокая стоимость развертывания и энергопотребление ограничивают применение 5G в массовых сенсорных сетях с простыми датчиками.

На рис. 2 показана типичная архитектура беспроводной сенсорной сети с использованием технологий мобильной связи.



Рис. 2 – Архитектура беспроводной сенсорной сети с использованием технологий мобильной связи

4. Практические аспекты выбора технологии

При выборе технологии мобильной связи для сенсорной сети необходимо учитывать несколько факторов. Для стационарных датчиков с редкой передачей данных (несколько раз в сутки) и требованиями к длительной автономной работе оптимальным выбором является NB-IoT. Для мобильных

объектов или систем с высокими требованиями к пропускной способности целесообразно использовать LTE или 5G.

Стоимость владения также играет важную роль. NB-IoT обеспечивает низкую стоимость модулей связи (от \$2-5) и тарифов передачи данных, что критично для массового развертывания. Технология 5G, несмотря на превосходные характеристики, требует более дорогостоящего оборудования и тарифных планов, что ограничивает ее применение специализированными промышленными задачами с высокими требованиями к надежности и минимальной задержке.

Заключение

Современные технологии мобильной связи предоставляют широкий спектр решений для передачи контрольно-измерительной информации в беспроводных сенсорных сетях. Технология NB-IoT зарекомендовала себя как оптимальное решение для массовых применений благодаря балансу между энергоэффективностью, дальностью связи и стоимостью. Технология 5G открывает новые возможности для критических промышленных приложений, требующих минимальной задержки и максимальной надежности.

Выбор конкретной технологии должен основываться на анализе требований конкретного приложения, включая частоту передачи данных, объем информации, требования к автономности, надежности и стоимости решения. Гибридные подходы, комбинирующие различные технологии, позволяют достичь оптимального баланса между производительностью и эффективностью использования ресурсов.

Список литературы

1. Akyildiz I.F., Wang X., Wang W. Wireless mesh networks: a survey // Computer Networks. 2005. Vol. 47, No. 4. P. 445-487.
2. Ratasuk R., Vejlgaard B., Mangalvedhe N., Ghosh A. NB-IoT system for M2M communication // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016. P. 1-5.
3. Mekki K., Bajic E., Chaxel F., Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment // ICT Express. 2019. Vol. 5, No. 1. P. 1-7.
4. Chen M., Miao Y., Hao Y., Hwang K. Narrow Band Internet of Things // IEEE Access. 2017. Vol. 5. P. 20557-20577.
5. Patel S., Kumar A., Majhi S. 5G based wireless sensor network architecture for IoT applications // IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). 2021. P. 1-6.