

УДК 621.3.019.3

## **Стандарты LPWAN для группового взаимодействия мобильных узлов**

**Талаев А.Д.\*, Бородин В.В.\*\***

*Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

*\*e-mail: [talaev.ad@yandex.ru](mailto:talaev.ad@yandex.ru)*

*\*\*e-mail: [doc\\_bor1@mail.ru](mailto:doc_bor1@mail.ru)*

### **Аннотация**

С развитием концепции промышленного интернета происходит быстрое развитие сенсорных сетей. Повышение эффективности можно достичь за счет создания сетей группового взаимодействия мобильных узлов и датчиков, расположенных на борту БПЛА или автомобиля, так и стационарных. Использование БПЛА существенно расширяет возможности сенсорных сетей в вопросах группового взаимодействия узлов сети, в частности за счет ретрансляции и увеличении зон покрытия. Для таких сетей важна надежность передачи информации и минимизация задержек. В статье сформулированы особенности использования сетей стандарта LPWAN и возможности применения в сетях группового взаимодействия.

**Ключевые слова:** LPWAN, IoT, промышленный интернет, NB-IoT, LoRa, Bluetooth Mesh, ZigBee, групповое взаимодействие, беспилотные летательные аппараты.

## Введение

Современные тенденции в области сенсорных сетей подразумевает развитие концепции «интернет – вещей», промышленный интернет, «умный город», M2M-технологии («machine-to-machine»), где упор делается на долговечность работы датчиков, их дешевизну, количество и интеграцию в единое информационное пространство. Такие IT-технологии способны улучшить все сферы жизни. Практическая реализация концепции подразумевает получение каждым устройством возможности обмена информацией между собой, а также с пользователями для того, чтобы обеспечить оперативное взаимодействие и автоматизацию.

Множество независимых исследований прогнозируют бурное развитие и прирост выручки от «Интернета – вещей» и от M2M-индустрии в ближайшие десять лет. Поэтому ставятся вопросы повышения интеграции систем M2M в различные сферы жизни [1-3].

Для повышения эффективности сети сенсоров перспективным выглядит объединение отдельных датчиков в единую сеть для выполнения одной задачи. В связи с этим представляется актуальным вопрос анализа особенностей сетей LPWAN для создания единой сети из разнообразных групп датчиков, для которых важна синхронность работы, минимизация задержек и надежность передачи информации для создания оперативной картины состояний объектов мониторинга. Опираясь на современные тенденции в развитии беспроводных технологий, перспективным выглядит использование датчиков, расположенных на борту БПЛА,

которые могут быть объединены в группы. Использование БПЛА позволит обеспечить связь удалённых сегментов сетей группового взаимодействия [4].

### **Особенности группового взаимодействия узлов**

Для каждого датчика такой сети важно с минимальными задержками и без потерь передать информацию по сети. Объем передаваемой информации с каждого датчика может быть невелик, однако необходимо обеспечить сбор информации без потерь с большого количества датчиков за ограниченный период времени.

Следует отметить, что узлы с датчиками для группового взаимодействия могут быть мобильными, например, располагаться на борту автомобиля или БПЛА. В такой сети может наблюдаться существенное изменение условий распространения сигнала. Поэтому необходимо повышать надежность сети для обеспечения успешного группового взаимодействия узлов [5].

Можно выделить следующие особенности сетей группового взаимодействия:

- Необходимость скоростных адаптивных механизмов функционирования сети – это обусловлено мало предсказуемыми перемещениями узлов в пространстве или изменяющимися условиями распространения сигнала.
- Достаточная дальность для обеспечения связности сети датчиков друг с другом, в условиях как прямой видимости, так и через ретрансляторные узлы в условиях городской застройки
- Пониженное энергопотребление, обусловленное ограниченными ресурсами узла.

- Предпочтительна сеть связи типа «равный с равным» (Peer-to-peer), с возможностью быстрого расширения сети.
- Возможность датчиков в течение длительного времени передавать данные без потерь, так как это важно для успешной групповой обработки.

Для применения в групповые обработки требуются беспроводные сети связи, которые могут не обладать высокой скоростью передачи, но надежные, живучие (способные к самовосстановлению), простые в развертывании и эксплуатации. Протоколы функционирования таких сетей должны обеспечивать целостность сети и резервирование маршрутов передачи данных. Важно также, чтобы оборудование таких сетей допускало длительную работу от автономных источников питания, имело низкую стоимость, и было компактным [6].

### **Сети LPWAN**

Одними из возможных решений могут являться сети LWPAN. Под термином LPWAN (LPWA Network, от англ. Low-power Wide-area Network) следует понимать несколько технологий для распределённых сетей телеметрии, промышленного интернета, межмашинного взаимодействия и интернета вещей. LPWAN является технологией, обеспечивающих среду сбора данных с различного оборудования: датчиков, счётчиков и сенсоров. Использование сетей Wi-Fi и сотовой связи при этом сведено к минимуму. Первые прототипы таких сетей появились в 90-х годах и существенно проигрывали другим развивающимся стандартам. Однако сейчас, сети LWPAN способны составить конкуренцию перспективным сетям. Это обусловлено широким охватом, низкой стоимостью оборудования и обслуживания. Такие

энергоэффективные сети незаменимы в управлении инфраструктурой, промышленном интернете (IoT) и реализации концепций «умный город» [7, 8].

Среди многообразия стандартов сетей LPWAN, можно выделить два крупных сегмента. Это сети, требующие лицензирование рабочих частот и сети, развертываемые в не лицензируемых полосах.

К первому относится NB-IoT которая была разработана на базе существующих стандартов мобильной связи. Сети NB-IoT работают в лицензируемом спектре частот. Стандартизация технологии завершилась в июне 2016 года. Курирует разработку этой сети 3GPP. NB-IoT относится к технологии ультра узкой полосы модуляции Ultra Narrow Band (UNB). В связи с необходимостью использования сетей мобильной связи с ограниченным ресурсом, развертывание сетей группового взаимодействия потребует выделения достаточно большого ресурса сети, и зависимость от существующего покрытия.

С другой стороны, использование не лицензируемых диапазонов существенно повышает простоту развертывания сетей группового взаимодействия. Разворачивание собственной инфраструктуры в не лицензируемых диапазонах позволит производить резервирование узлов и повышать общую надежность передачи информации.

LoRaWAN – стандарт протокола LPWAN, работающий в технологической среде LoRa. LoRa — это тип модуляции для связи IoT. LoRa не является сотовым стандартом и для ее работы не требуется получение лицензий на использование частот [9].

Основной применяемой топологией в этих сетях является «Звезда».

В архитектуре LoRa нет необходимости синхронизации с сетью. В асинхронных диапазонах, только природа конечного приложения определяет, профиль энергопотребления устройства.

Ранее эксперты ассоциации GSMA провели множественные тесты работы LPWAN. Выяснилось, что автономность LoRaWAN-устройств в три-пять раз выше, чем у девайсов, работающих в других LPWAN [10].

Как уже писалось выше сети LPWAN не имеют больших скоростей. Так, например, средняя скорость передачи данных в сетях NB-IoT оценивается в 200 Кбит/с, в сетях LoRaWAN – от 300 бит/с до 50Кбит в секунду [11]. Однако данные скорости могут быть достаточны для основного круга задач, возлагающихся сенсорные сети.

Данные системы являются узкополосными с полосой несколько сотен килогерц, что накладывает некоторые проблемы в помехоустойчивости [12, 13]. Проблемы помехоустойчивости и надежности в таких сетях решаются кодированием.

Рассматривая возможное покрытие сетей следует учитывать регионы развертывания групп датчиков (автономных, подвижных, стационарных) для интеграции в «умный город». Многообразие стандартов LPWAN ориентировано под разные спектры задач и перспективным направлением является объединение различных стандартов промышленного интернета для создания единого информационного пространства [14].

Подводя итог двух стандартов можно отметить, NB-IoT наилучшим образом подходит для приложений, требовательным к времени задержки (оно должно быть

минимальным) и регулярному приему и отправке сообщений, но требуется использовать мощности операторов сотовой связи [15, 16]. LoRaWAN может считаться удачным решением для приложений и устройств, которые нетребовательны к скоростям передачи данных и количеству отправляемых данных. Более низкие инвестиции, необходимые для LoRa, в значительной степени повышают привлекательность системы.

Следует также обратить внимание на недавно выпущенный стандарт Bluetooth mesh, использующая технологию BLE (Bluetooth Low Energy) [17]. Можно выделить следующие ключевые особенности стандарта для обеспечения бесперебойной доставки сообщений. Данная сеть используют два типа связи.

- Peer-to-Peer – одноранговая сеть, называемая «piconet», благодаря которой, все узлы сети могут соединяться друг с другом напрямую без дополнительных специальных узлов с функцией концентратора или маршрутизатора.
- Multipath (message relay): архитектура ретрансляции управляемого потока сообщений с использованием нескольких маршрутов. В связке с простотой развертывания и управления, является надежным способом доставки сообщений.
- Сеть предполагает ретрансляцию управляемого потока сообщений в сочетании с возможностью подписки/предоставления группового обмена сообщениями, что делает ее уникальной для обработки большого объема данных при многоадресной передаче сообщений.

Быстрое масштабирование сети LPWAN Bluetooth-mesh позволяет тысячам устройств взаимодействовать друг с другом при этом, удовлетворяя коммерческие и промышленные требования к производительности. В спецификации указана поддержка до 32000 узлов сети. В настоящее время уже развернуты сети, в которых содержится более 1000 узлов.

Новый стандарт за счет новых методов кодирования предлагает скорость соединения до 2 Мбит/с на расстояниях до 1 км [10].

Другой стек протоколов, который не требует создания дополнительной инфраструктуры — это стандарты IEEE 802.15.4 и ZigBee. Стандарт описывает устойчивые масштабируемые многошаговые беспроводные сети и предусматривает частотные каналы в диапазонах 868 МГц, 915 МГц и 2,4 ГГц. Выделяются особенности данных сетей, например, при построении сетей в масштабе города максимально разумное число ретрансляций пакета для сетей ZigBee не должно превышать 10–30 хопов [18]. С учетом того, что вне помещений максимальная разрешенная мощность составляет 10 мВт, одной сетью ZigBee, в этом случае, можно покрыть площадь только одного небольшого района. Несмотря на то, что ZigBee предусматривает наличие мобильных конечных устройств, о мобильности можно говорить лишь условно. Время вхождения устройства в сеть или переключения между роутерами составляет несколько секунд [19].

### **Заключение**

Несмотря на основное предназначение сетей LPWAN построение инфраструктуры IoT, такие сети дают возможность развертывания сетей группового

взаимодействия и групповой обработки данных, где требуется надежность передачи информации и возможность создания оперативной картины состояния объектов мониторинга. Дешевизна, простота, энергоэффективность, способность сохранять целостность при изменении обстановки позволяет создавать сенсорные с достаточным резервированием и надежностью. Данные сети с малыми скоростями передачи данных являются максимально адаптивными для изменяющейся топологии и большого числа узлов. Интеграция БПЛА позволит связать удаленные сегменты сети и обеспечить охват большего количества датчиков [20].

Существующие стандарты сетей WAN, такие как стандарты семейства Wi-Fi и системы мобильной связи предлагают ограниченные решения в области организации сетей группового взаимодействия с большим количеством датчиков. Данные сети требуют значительно большие энергетические и финансовые затраты, потребность соблюдения регуляторных норм для их развертывания в данном применении.

Использование сетей LPWAN для создания единого информационного пространства и применение сетей группового взаимодействия будут являться важными этапами формирования концепций «Интернет-вещей» и «Промышленный интернет».

## Библиографический список

1. Тихвинский В., Коваль В., Бочечка Г. Перспективы стандартизации интернета вещей в международных организациях связи // Первая миля. 2017. № 2 (63). С. 26 - 32.
2. Алексеев В. Технологии «Интернета вещей» для сетей ISM не лицензируемого диапазона частот // Беспроводные технологии. 2017. Т. 1. № 46. С. 44 - 50.
3. Шешалевич В.В. LPWAN – низкопотребляющие сети большого радиуса действия. Связь для интернета вещей // Безопасность информационных технологий. 2017. № 3. С. 6 - 16.
4. Motlagh N. H., Taleb T., Arouk O. Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicles-Based Internet of Things Services: Comprehensive Survey and Future Perspectives // IEEE Internet of Things Journal. New Jersey, US: IEEE, 2016, pp. 899 - 922.
5. Терентьев М.Н. Обзор публикаций, посвящённых самоорганизации беспроводных сенсорных сетей // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudy.mai.ru/published.php?ID=81149>
6. Ронжин А.Л., Ву Д.К., Нгуен В.В., Соленая О.Я. Концептуальная и алгоритмические модели совместного функционирования роботизированной платформы и набора БЛА при выполнении аграрных операций // IV всероссийский научно-практический семинар "Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта". Труды семинара. Казань, 2017, С. 183 – 192.

7. Кумаритова Д.Л., Киричек Р.В. Обзор и сравнительный анализ технологий lpwan сетей // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Т. 4, № 4. С. 33 – 48.
8. Дубков И.С., Сташевский П.С., Яковина И.Н. Решение практических задач на базе технологии интернета вещей. - Новосибирск, Изд-во НГТУ, 2017. - 80 с.
9. LoRaWAN White Papers, available at: <https://www.lora-alliance.org/lorawan-white-papers>
10. Vejlgaard B. et al. Coverage and Capacity Analysis of Sigfox, LoRa, GPRS, and NB-IoT // 2017 IEEE 85th Vehicular Technology Conference (VTC Spring), IEEE, 2017, pp. 1 – 5.
11. Бутусов А. LoRaWAN против NB-IoT: сравнение стандартов. URL: <https://iot.ru/promyshlennost/lorawan-protiv-nb-iot-sravnenie-standartov>
12. Бекмагамбетова Ж.М. и др. Ключевые особенности применения технологии LoRa при разработке сетей беспроводных датчиков // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2017. Т. 2, № 101. С. 164 – 170.
13. Adelantado F. et al. Understanding the Limits of LoRaWAN // IEEE Communications Magazine, 2017, vol. 55, no. 9, pp. 34 – 40.
14. Старичихин М.Г., Графова Н.С., Храпов С.Д., Латипов О.О. LPWAN технологии, применяемые в мире интернета вещей // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 12-4. С. 76 - 78.
15. Narrowband Internet of Things, available at: [https://www.rohde-schwarz.com/ru/applications/white-paper\\_230854-314242.html](https://www.rohde-schwarz.com/ru/applications/white-paper_230854-314242.html)

16. Sinha R.S., Wei Y., Hwang S.-H. A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT // ICT Express. Elsevier, 2017, vol. 3, no. 1, pp. 14 – 21.
17. Mesh Profile Bluetooth, Specification Revision: v1.0 (13.07.2017), available at: <https://www.bluetooth.com/specifications/mesh-specifications>
18. Трифонова С.В., Холодов Я.А. Исследование и оптимизация работы беспроводной сенсорной сети на основе протокола ZigBee // Компьютерные исследования и моделирование. 2012. Т. 4. № 4. С. 855 – 869.
19. Беспроводные сети ZigBee и Thread, available at: <http://www.wless.ru/technology/?tech=1>
20. Бородин В.В., Петраков А.М., Шевцов В.А. Анализ алгоритмов маршрутизации в сети связи группировки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. 2016. № 87. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=69735>