**УДК 621.311**

**ЦИФРОВЫЕ СРЕДСТВА РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ IOT УСТРОЙСТВ**

**Карманов А.А., Савостин А.А.**

*(СКУ им. М. Козыбаева)*

Настоящая статья обобщает и систематизирует данные, полученные в результате исследования по теме «ЦИФРОВЫЕ СРЕДСТВА РАДИОТЕЛЕМЕТРИИ ДЛЯ IOT УСТРОЙСТВ».

Целью исследования является оценка возможности использования современных цифровых видов радиосвязи с малой мощностью излучения в качестве средств телеметрии для IoT устройств, а также создание макета радиолинии для определения оптимальных параметров средства телеметрии.

В качестве базовых ориентиров для исследования выбраны энергоэффективные сети радиосвязи дальнего радиуса действия - LPWAN. Технические решения, принятые стандартами сетей, обеспечивают оптимизацию энергопотребления, радиуса действия и помехоустойчивость.

Проведён анализ сетей связи построенных на принципах сотовой связи: LTE-M; NB-IoT; EC-GSM-IoT, а так же сетей на основе стандартов LoRa; Symphony Link; Sigfox Ingenu (RPMA); Weightless; Nwave.

В ходе анализа установлено, что наиболее предпочтительным средством телеметрии для IoT устройств на сегодняшний день является использование стандарта LoRa как оптимального по скорости передачи, использованию спектра частот и доступности выбора аппаратных средств реализации радиолинии.

LoRa является самым универсальным из несотовых стандартов LPWAN. Этот стандарт поддерживается консорциумом из более чем 500 компаний, включая Cisco, IBM, SK Telecom и др., что означает широкую гамму выпускаемой аппаратной части, а так же непрерывное развитие.

LoRa относится к физическому уровню PHY радиосетей, эта технология принадлежит компании Semtech Corporation, LoRaWAN относится к подуровню управления доступом к среде (MAC) и развивается консорциумом LoRa Alliance. LoRa является проприетарной технологией, и компания Semtech. В отличие от стандарта Sigfox, полезную ёмкость сообщения стандарта LoRaWAN 256 байт, что подходит для широкого круга применения.

Метод основывается на технологии модуляции с расширенным спектром и вариации линейной частотной модуляции (Chirp Spread Spectrum, CSS) с интегрированной прямой коррекцией ошибок (Forward Error Correction, FEC).

Технология LoRa значительно повышает чувствительность приемника и, аналогично другим методам модуляции с расширенным спектром, использует всю ширину полосы пропускания канала для передачи сигнала, что делает его устойчивым к канальным шумам и нечувствительным к смещениям, вызванным неточностями в настройке частот при использовании недорогих опорных кварцевых резонаторов.

Технология LoRa позволяет осуществлять демодуляцию сигналов с уровнями на 19,5 дБ ниже уровня шумов, притом что для правильной демодуляции большинству систем с частотной манипуляцией (Frequency Shift Keying, FSK) нужна мощность сигнала как минимум на 8-10 дБ выше уровня шума. Модуляция LoRa определяет тот физический уровень1 (Physical Layer, PHY, иногда его называют слой), который может быть использован с различными протоколами и в различных вариантах сетевой архитектуры, таких как сетка (Mesh), звезда (Star), точка-к‑точке (point-to-point).

Проведен сравнительный анализ доступных аппаратных платформ для реализации радиолинии передачи информации с использованием широкого спектра частот и низкой мощности. Рассмотрены БИС для беспроводных приемопередающих систем, доступные на рынке полупроводниковых приборов, которые производят фирмы «Analog Device», «Granansen AS», «Honeywell Infineon Technologies AG», «Inova», «Maxim», «Microchip», «NEC Electronics», «RF Monolithics Inc.», «Semtech», «STMicroelectronics», «Texas Instruments», «Xemics».

В ходе анализа сделан вывод о том, что наиболее перспективные БИС, построенные с использованием гибридных технологий и имеющие в своем составе модем, это микросхемы – приёмопередатчики компании «Semtech» и их аналоги.

Эти БИС имеют большую базу данных программного обеспечения с открытым кодом для разработки приложений. Диапазон рабочих частот включает частоты 137 – 175 МГц, 410 – 525 МГц, 862 – 1020 МГц. Имеется возможность выбора видов модуляции и кодовых конструкций. Используются стандартные виды последовательных интерфейсов.

Альтернативным решением может быть использование БИС фирмы «Analog Device», однако они используют безлицензионные частоты в узком диапазоне ISM и имеют меньшую чувствительность приёмной части при использовании модуляций FSK. Кроме того, выходная мощность передающей части требует использования дополнительных усилительных структур для удовлетворения энергетических потребностей радиолинии

Для подтверждения полученных в ходе исследования результатов проведено макетирование радиолинии с использованием необходимых наборов БИС, средств кодирования речи (вокодеров) и преобразования данных.

Экспериментальные радиолинии испытаны на БИС SX1276 с параметрами, определёнными расчётным путём, с использованием рекомендаций производителя «Semtech» для оптимальных значений выходной мощности, вида модуляции, ширины полосы пропускания и скорости передачи данных (Таблица 1).

Таблица 1 – Расчётные параметры экспериментальной радиолинии

| **Параметр SX1276** | **Значение** | |
| --- | --- | --- |
| **для диапазона**  **137 – 175 МГц** | **для диапазонов**  **410-525 и 862-1020 МГц** |
| Spreading Factor (SF) | 7 | 9 |
| Bandwidth (BW) | 125 кГц | 500 кГц |
| Coding Rate (CR) | 2 | |
| Payload Length | 32 | |
| Low Data Rate Optimize (DE) | 0 | |
| Preamble Length (PL) | 10 (total 14.25) | |
| Implicit Header Mode On (IH) | 0 | |
| Sync Word | 0 – широковещательный ID  1…51; 53…255 – избирательный ID  52 – зарезервирован производителем | |
| CRC On Payload | 1 | |
| Rx Payload CRC On | 1 | |
| **Рассчитанные выходные результаты (на основе вышеуказанных настроек):** | | |
| Техническая скорость | ~ 4,55729 кбит/с | ~ 5,85938 кбит/с |
| Информационная скорость | ~ 3,278 кбит/с | ~ 3,891 кбит/с |
| Чувствительность приёмника | минус 123 дБ | |
| Бюджет канала связи (при мощности 1 Вт) | ~150 дБ | |

Научно технический уровень проведённой работы позволяет использовать модель исследования для дальнейшей разработки средств телеметрии для IoT устройств.

**Литература**

1. Антонюк, Л. Я. Эффективность радиосвязи и метод ее оценки / Л. Я. Антонюк, В. В. Игнатов. – Санкт-Петербург: ВОЛКАС, 1994. – 138 с.
2. Обзор технологии LoRa. К.С. Верхулевский Журнал «Технологии связи».
3. Оценка условий осуществления радиосвязи на радиолиниях различной протяженности с учетом особенностей распространения радиоволн / В. С. Лазоренко, В. В. Сергеев, А. М. Кокорин. – Орёл : Академия ФСО России, 2011. – 172 с.
4. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев, В. Г. Кочержинский; подред. Г. А. Ерохина. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2007. – 491 с.
5. Принятие оптимальных решений при проектировании сетей датчиков Шмидбауэр Харди (Hardy Schmidbauer) Журнал «Беспроводные технологии».
6. Стандарты Беспроводной связи диапазона ISM. Д. Петров журнал «Беспроводные технологии».