

Кизин Дмитрий Владиславич,

студент гр. ЭН-22-1 Ангарский государственный технический университет,

Мазур Владимир Геннадьевич,

к.т.н., доцент кафедры ПЭ и ИИТ, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: system-ntfs@mail.ru

Пудалов Алексей Дмитриевич,

к.т.н., доцент кафедры ПЭ и ИИТ, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: puddim@yandex.ru

ТЕХНОЛОГИЯ LORAWAN: ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ, АРХИТЕКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СИСТЕМАХ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ

Kizin D.V., Mazur V.G., Poudalov A.D.

LORAWAN TECHNOLOGY: CONSTRUCTION PRINCIPLES, ARCHITECTURE, AND PROSPECTS FOR APPLICATION IN INTERNET OF THINGS SYSTEMS

Аннотация. Рассматривается технология LoRaWAN как одно из наиболее перспективных решений для построения распределенных сетей Интернета вещей. Приводится описание физического уровня, основанного на модуляции LoRa с расширением спектра методом линейной частотной модуляции. Приводятся примеры практического применения технологии в системах автоматизированного учета ресурсов, экологического мониторинга, умного сельского хозяйства и промышленной телеметрии.

Ключевые слова: LoRaWAN, LoRa, Интернет вещей, IoT, CSS-модуляция, беспроводные сети.

Abstract. This paper examines LoRaWAN technology as one of the most promising solutions for building distributed IoT networks. It describes the physical layer based on LoRa modulation with frequency-modulation spread spectrum. Examples of practical application of the technology in automated resource metering systems, environmental monitoring, smart agriculture, and industrial telemetry are presented. Directions for further development of LoRaWAN related to the implementation of specification 1.1 and integration with satellite communication channels are outlined.

Keywords: LoRaWAN, LoRa, Internet of Things, IoT, CSS modulation, wireless networks.

Стремительное развитие концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT) обуславливает необходимость внедрения энергоэффективных технологий радиосвязи, обеспечивающих передачу небольших объемов данных на значительные расстояния. Технология LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), представляет собой открытый протокол для сетей дальнего радиуса действия [1]. LoRaWAN оптимизирована для обслуживания большого количества устройств с низким энергопотреблением, что делает данную технологию одной из наиболее перспективных в сегменте частных и корпоративных IoT-систем.

В основе технологии LoRa (Long Range) лежит метод модуляции с расширением спектра, производный от CSS (Chirp Spread Spectrum). Ключевая особенность модуляции LoRa заключается в использовании линейно-частотно-модулированных импульсов (чирпов), частота которых линейно изменяется во времени.

Каждый символ передается посредством чирпа с определенным начальным смещением частоты, что позволяет кодировать несколько бит информации в одном символе.

Математически модуляцию LoRa можно описать следующим образом: информационный бит отображается на циклический сдвиг базового чирпа. Параметр SF (Spreading Factor) определяет количество чипов на символ, вычисляемое как 2^{SF} . Стандарт предусматривает значения SF от 7 до 12. Увеличение SF повышает чувствительность приемника и дальность связи, однако снижает скорость передачи данных и увеличивает время нахождения устройства в эфире.

Существенным преимуществом LoRa является высокая устойчивость к узкополосным помехам и эффекту Доплера, что достигается за счет широкополосной природы сигнала.

Сеть LoRaWAN имеет строго иерархическую топологию типа «звезда». Архитектура LoRaWAN предполагает прямую связь конечных устройств с базовыми станциями. Базовые станции, в свою очередь, соединяются с сетевым сервером через стандартные IP-каналы (Ethernet, сотовые сети, спутниковая связь).

Технология LoRaWAN представляет собой зрелое, стандартизированное решение для построения территориально распределенных сетей сбора данных. Ключевыми преимуществами являются энергетическая эффективность конечных устройств (до 10 лет работы от батареи), высокая проникающая способность радиосигнала и низкая стоимость развертывания.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Петров, А.Н.** Сети LoRaWAN для Интернета вещей : архитектура, протоколы, практическая реализация / А. Н. Петров, С. В. Иванов. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2022. – 256 с. – ISBN 978-5-9912-0987-6.