

Р. А. Поведа, С. В. Оптасюк

*Кам'янець-Подільський національний університет імені Івана Огієнка
e-mail: povedar@gmail.com; ORCID: 0000-0003-1784-7155***ВИКОРИСТАННЯ ПРОТОКОЛУ «LoRa» У ГЕОФІЗИЧНОМУ ЕКСПЕРИМЕНТІ**

Описано основні характеристики нового енергоефективного з великим радіусом дії протоколу передачі даних «Енергоефективних мереж дальнього радіусу дії» – LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) або «LoRa», розроблений IBM Research і Semtech. Розглянуто класи роботи А, В, С протоколу в контексті геофізичних вимірювань – електрометрії, сейсмометрії, термометрії, магнітометрії та гравіметрії, проаналізовано їх енергоефективність. Запропоновано його використання з мікроконтролером ESP32 компанії Espressif Systems та трансивером RFM95 для створення автономної мережі геодатчиків в типовій структурі мереж «LoRa» в регіональному центрі спеціального контролю.

Ключові слова: геофізичні процеси, геофізичний експеримент, моніторинг, «LoRa», ESP32, RFM95.

Як відомо, дослідження таких факторів геофізичних процесів, як сейсмічна активність, напруженість локальних магнітних полів, електростатичні потенціали, кліматичні параметри тощо, пов'язане з необхідністю створення досить затратної як в апаратному так і в енергетичному розуміння інфраструктури вимірювальних станцій та системи зв'язку між ними. Зв'язок, як правило, є найбільш енергозатратним фактором, що обмежує час автономної роботи вимірювальної станції. Саме тому варто звернути увагу на сучасні високо-ефективні протоколи радіозв'язку, а саме «LoRa».

Геофізичний моніторинг – це система спостереження за природними та штучними геофізичними полями та явищами, а також спостереження, аналіз та прогнозування забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами. Серед геофізичних методів дослідження виділяють шість основних геофізичних методів: електрометрію, сейсмометрію, ядерні методи, термометрію, магнітометрію та гравіметрію. На практиці під час проведення геофізичного експерименту головну роль відіграють магнітометрія і сейсмометрія [1, 2].

Сейсмічний моніторинг базується на спостереженні за процесами, що супроводжуються розповсюдженням сейсмічних хвиль та реєстрації коливань земної поверхні. В регіональному центрі спеціального контролю (РЦСК), де проводились наші спостереження, знаходиться шахта на глибині 40 м з установленою трьохкомпонентною сейсмічною установкою. Зареєстровані нею сигнали підсилюються та подаються на самопишучі прилади. Використання сучасних безпроводних технологій передавання даних дозволить суттєво спростити апаратну частину. Аналіз отриманих сигналів дозволяє обчислювати чіткість, час вступу, амплітуду і період різних типів сейсмічних хвиль (P, S, L, Lg, Lr), магнітуду джерела та інтенсивність у пункті спостереження (для ближніх землетрусів на відстані до 1000 км.). Є можливість розрізнити короткоперіодні (період від 0,1 с) та довгоперіодні (період від 10 с) сейсмічні хвилі.

На РЦСК також розміщена інфразвукова група, що складається з 4 мікробарографів, завадозахисних пристроїв та апаратури збору та збереження інформації. Коливання від збурень реєструються в діапазоні частот 0,003-10 Гц з амплітудами фону на рівні 0,01 Па на відстанях від джерела понад 10000 км. Дані від одного мікробарографа подаються на самопишучий прилад, де цілодобово проводиться іденти-

фікація сигналу та вимірювання його параметрів: часу вступу, максимального перепаду тиску та тривалості. Акустичний фон залежить від погоди, пори року та часу доби і постійно змінюється, тому для ідентифікації сигналу черговою зміною постійно проводиться загрубування та розгрубування підсилення самописця.

Засоби геомагнітного моніторингу. Варіації магнітного поля Землі реєструються ферозондовими магнітометрами за трьома складовими в діапазоні частот 0,005-5 Гц з амплітудами фону (шуму) до 0,03 нТл, на відстанях від джерела понад 10000 км. Сигнали ідентифікуються за зростанням амплітуди чи зміною періоду, обчислюється час вступу окремо на трьох каналах (двох горизонтальних та одному вертикальному), розклад максимального вектора зміни магнітного поля (в нТл) по цих каналах та відповідні значення періодів, а також тривалість сигналу.

У березні 2015 року дослідницький центр IBM Research і компанія Semtech представили нову технологію Енергоефективних Мереж дальнього радіусу дії – LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), яка має ряд переваг в порівнянні з стільниковими мережами і Wi-Fi для забезпечення комунікацій.

Протягом багатьох років величезний потенціал Інтернету Речей (IoT) стримувався технічними проблемами, такими як малий термін служби пристроїв, що працюють від батарей, короткою довжиною зв'язку, високою вартістю і відсутністю єдиних стандартів.

Технологія, яка отримала назву LoRaWAN (Long Range wide-area networks) дозволила подолати всі ці перешкоди. На основі нової специфікації і нового протоколу для LPWAN, що використовує неліцензований діапазон частот, технологія LoRaWAN дозволила знімати дані з датчиків на великих відстанях, пропонуючи при цьому оптимальний час автономної роботи датчиків і мінімальні вимоги до інфраструктури.

Для підтримки LPWAN технології, компанії IBM, Semtech і ряд інших (ST, Cisco і т.д.), оголосили про створення LoRa Alliance – нової асоціації для підтримки, розвитку та стандартизації LoRaWAN [3].

LoRa – це технологія модуляції, скорочено Long Range. Дана технологія забезпечує значну дальність зв'язку при низьких енергозатратах, в порівнянні з існуючими альтернативами такими як Bluetooth, Wi-Fi (стандартів 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n), 2G, 3G, LTE, ZigBee. У LoRa модуляція базується на технології розширення спектру SSM і варіації лінійної частот-

ної модуляції CSS з інтегрованою корекцією помилок FEC – Forward Error Correction.

LoRa дозволяє декодувати сигнали на рівні 20 дБ нижче рівня шумів, в той час як більшість систем з частотної маніпуляцією FSK працюють тільки з сигналами не нижче 8-10 дБ рівня шумів.

Тобто, LoRa – це технологія і метод модуляції. LoRa визначає фізичний рівень системи.

LoRaWAN – це відкритий протокол для мереж, в яких:

- висока ємність, до 1 000 000 пристроїв в одній мережі. Великий радіус дії (до 10-15 км на відкритій місцевості);
- низький рівень споживання енергії;
- LPWAN – енергоефективна мережа дальнього радіусу дії – бездротова технологія передачі невеликих за обсягом даних на дальні відстані.

Якщо підсумувати, то модуляція LoRa відповідає за фізичний рівень, LoRaWAN є протоколом (MAC-рівень) для мереж з високою ємністю, великим радіусом дії і низьким енергоспоживанням, встановленим організацією LoRa Alliance для мереж LPWAN.

Протокол LoRaWAN забезпечує повний двосторонній зв'язок між вузлами мережі і володіє спеціальними методами шифрування, для забезпечення надійності та безпеки системи.

Типову мережу LoRaWAN можна представити у вигляді кінцевих пристроїв (точок, вузлів), дані з яких передаються в зашифрованому вигляді на шлюзи, далі на сервер мережі провайдера і далі на сервер додатків провайдера, звідки все це вже надходить до кінцевого користувача. У LoRaWAN мережі шлюзи також називають концентраторами, кінцеві пристрої – точками або вузлами.

Проаналізуємо трохи детальніше інформацію про вузли LoRaWAN. Вузли мережі LoRaWAN можуть виконувати різні функції, такі як: вимірювання, управління і контроль. Зазвичай такі вузли розташовуються віддалено один від одного, і до всього цього мають живлення від батареї. За допомогою протоколу LoRaWAN ці вузли/точки налаштовуються для зв'язку зі шлюзом/ концентратором LoRa.

Дані від вузлів передаються в обидві сторони – від вузла до сервера і назад (рис. 1). Вузли працюють в режимі передачі лише короткі проміжки часу, далі відкривається тимчасове вікно на прийом даних. Решту часу вузли знаходяться або у сплячому стані, або у стані прийому, яке залежить від класу пристрою (клас А, В, С).

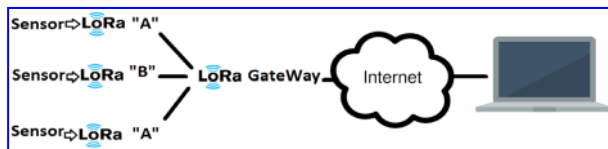


Рис. 1. Структура типової мережі LoRaWAN

Розглянемо **клас А**. Вузол end-node передає дані на шлюз короткими послідовностями за заданим графіком. Ініціатором обміну виступає сам кінцевий вузол end-node. Точка end-node, як правило, не вимагає підтвердження свого повідомлення додатком, однак протокол передбачає і повідомлення, на які сервер додатків формує спеціальну відповідь, “квитанцію”, а мережевий сервер вибирає найкращий маршрут (шлюз) для від-

правки підтвердження (ACK від англ. *acknowledgment* – підтвердження) в момент відкриття вузлом вікна прийому (повідомлення з квотуванням). Вузол end-node переходить в режим прийому (відкриває вікно прийому) відразу після відправки даних на деякий нетривалий час і більш тривалий час, знаходиться в режимі енергозбереження або сну (sleep). Сервер накопичує для точок end-node повідомлення і пересилає їх відразу, як точка end-node виходить на зв'язок. Цей клас кінцевих end-node вузлів найбільш економічний у використанні енергії та найбільш поширений на практиці.

Клас В. Вузол end-node включає приймач за графіком, що визначається сервером. Сервер відправляє повідомлення вузлу end-node відповідно до розкладу. Ініціатором обміну може бути і сервер LoRaWAN мережі. Пристрої end-node цього класу синхронізують власний час з часом мережі за допомогою маяків (від англійського beacon), які регулярно отримує від шлюзу. Вузли end-node цього класу мають відносно низьку часову затримку в обміні даними і відкривають більш широке часові вікно прийому, в порівнянні з класом А. Точки end-node класу В також мають всі функціональні можливості пристроїв end-node класу А.

Клас С. У точок end-node цього класу вікно прийому відкрито постійно і закривається тільки на період короточасної передачі даних. Сервер може ініціювати обмін в будь-який час, і передати повідомлення вузлу end-node відразу, у міру їх появи. Цей клас пристроїв end-node споживає найбільшу кількість енергії (в порівнянні з класами А і В), тому зазвичай не використовує батарейне живлення, але отримує дані від сервера LoRaWAN мережі з найменшими затримками. Пристрої класу С end-node також мають всі можливості пристроїв класу А і В.

Практично реалізувати таку мережу з геофізичними сенсорами можна з використанням популярного мікроконтролера із вбудованою периферією ESP32, що має інтегровані контролери Wi-Fi і Bluetooth, низьке енергоспоживання і невисоку ціну. У серії ESP32 використовується мікропроцесор Tensilica Xtensa LX6 в двоядерних та одноядерних варіаціях та включає вбудовані, ЦАП, АЦП, приймач з низьким рівнем шумів, фільтри та модулі керування живленням. ESP32 створений та розроблений китайською компанією, розташованою у Шанхаї Espressif Systems, а виробляється компанією TSMC (рис. 2).

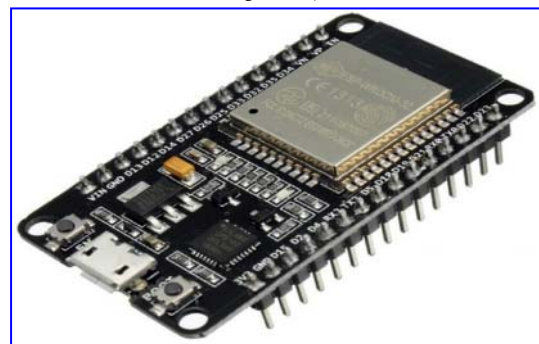


Рис. 2. Мікроконтролер ESP32

Крім того, оскільки частоти LoRa (868, 915 або 433 МГц) відрізняються від частот на яких працює Wi-Fi або Bluetooth (2,4 ГГц) то є необхідним застосування плати апаратного трансивера, що реалізує да-

ний протокол на фізичному рівні. Наприклад RFM95 або сумісні RFM96W, RFM98W (рис. 3).

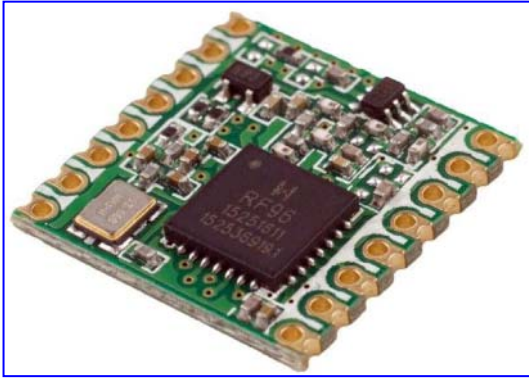


Рис. 3. Плата трансивера RFM95

Для роботи з такою платою необхідно скористатись бібліотекою «arduino-LoRa» та «Adafruit SSD1306» для роботи з дисплеєм при необхідності. Залишається з'єднати RFM95 та ESP32 плати (рис. 4), підключити необхідні сенсори та задіяти їх відповідним програмним кодом [4].

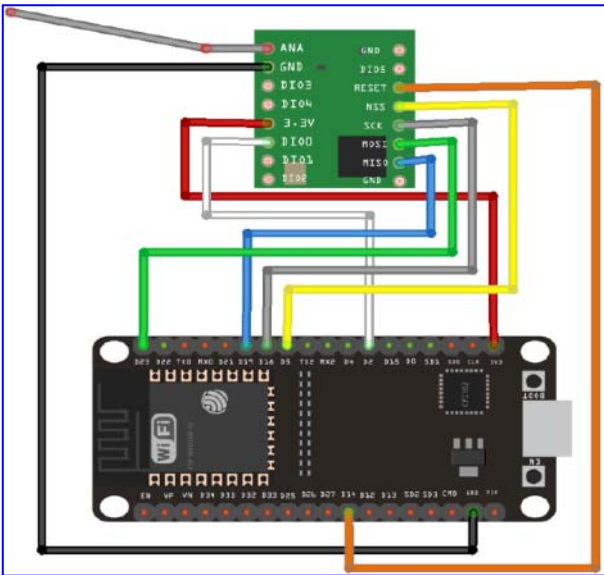


Рис. 4. Схема з'єднання RFM95 та ESP32

Ключовим для роботи на великих відстанях є узгодження антени з вихідними колами, в іншому разі передавач буде працювати не ефективно, з меншим радіусом покриття та можливою перевитратою живлення. Якщо немає можливості скористатись промисловою антеною, можна скористатись простою штирьовою антеною відповідної довжини: для 868 МГц – 86.3 мм, для 915 МГц – 81.9 мм, 433 МГц – 173.1 мм.

Таким чином, застосування прогресивних протоколів передачі даних разом з мікропроцесорними модулями з низьким енергоспоживанням дає можливість побудувати розгалужену на місцевості мережу геофізичних сенсорів з передачею даних в реальному часі та значною автономністю.

Список використаних джерел:

1. Тяпкін К.Ф. Фізика Землі. Київ : Вища шк., 1998. 291 с.
2. Толстой М.І., Гожик А.П., Рева М.В. та ін. Основи геофізики. Київ : Київський університет, 2006. 446 с.
3. LPWAN. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/LPWAN>
4. ESP32: Примеры/Прием и передача LoRa-данных при помощи ESP32. URL: <http://wikihandbk.com/wiki/ESP32>

R. A. Poveda, S. V. Optasyuk

Kamianets-Podilskyi National Ivan Ohienko University

USE OF THE LORA PROTOCOL IN A GEOPHYSICAL EXPERIMENT

Describes the main characteristics of a new energy efficient data transmission protocol – LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) or “LoRa” developed by IBM Research and Semtech. Classes of work A, B, C of the protocol in the context of geophysical measurements – electrometers, seismometers, thermometry, magnetometers and gravimeters are considered. their energy efficiency is analyzed. It is proposed to use it with the ESP32 microcontroller from Espressif Systems and the RFM95 transceiver to create an autonomous network of geosensors in the typical structure of LoRa networks in the regional centre of special control.

Key words: geophysical processes, geophysical experiment, monitoring, «LoRa», ESP32, RFM95.

Отримано: 2.07.2020