

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2025-59-06>

УДК 004.73:621.396.946

Баєв Віктор Олексійович, магістр

Пузирьов Сергій Володимирович, к. ф.-м. н., доцент

<https://orcid.org/0000-0003-0520-1496>

Чорноморський національний університет імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна

МОНІТОРИНГ ЛОКАЦІЇ КЛІЄНТІВ МЕРЕЖІ LORAWAN З ВИКОРИСТАННЯМ СЕНСОРНИХ ІОТ-ПРИСТРОЇВ

Баєв В. О., Пузирьов С. В. Моніторинг локації клієнтів мережі LoRaWAN з використанням сенсорних ІоТ-пристроїв. У статті розглянуто питання створення системи моніторингу локації клієнтів з використанням сенсорних ІоТ-пристроїв на базі бездротової технології LoRaWAN. Запропоноване рішення орієнтоване на застосування в умовах обмеженого енергоспоживання, відсутності стільникового покриття та необхідності забезпечення безперервного відстеження переміщень. Система складається з клієнтського пристрою, побудованого на мікроконтролері ESP32 з GPS-модулем NEO-6M і LoRa-модулем SX1278, який передає дані про координати, швидкість руху та тривалість зупинок. Операторський блок приймає повідомлення через мережу LoRaWAN та відображає інформацію на моніторі або LCD-дисплеї у режимі реального часу. Кількість операторних модулів не обмежується. Програмне забезпечення реалізоване в середовищі Arduino IDE із застосуванням бібліотек TinyGPSPlus, LoRa та LiquidCrystal_I2C. Визначено стандартний формат передавання даних, що дозволяє масштабувати систему. Проведено порівняльний аналіз LoRaWAN з іншими бездротовими технологіями, зокрема ZigBee та GSM, де LoRaWAN продемонстрував кращі показники енергоефективності, дальності та стабільності зв'язку. Отримане рішення є придатним для використання у сферах туризму, медицини, охорони праці, спорту та транспорту. Воно підвищує безпеку, дозволяє контролювати пересування груп осіб і забезпечує оперативне реагування в надзвичайних ситуаціях, сприяючи впровадженню інтелектуального моніторингу. Окрім цього, представлений прототип системи моніторингу дозволяє масштабувати збір параметрів клієнтів виходячи з кінцевих цілей її застосування. Також операторний блок може бути масштабований до виведення інформації на інші носії (наприклад, OLED-дисплеї) та автоматизації певних процесів прийняття рішень.

Ключові слова: бездротова мережа, моніторинг, ІоТ-пристрої, обмежене енергозабезпечення, логістика маршрутів, LoRaWAN, трекінг пацієнтів, туризм, малі енергоспоживчі сенсори.

Baiev V., Puzyrov S. Monitoring the location of LoRaWAN network clients using sensor IoT devices. The article presents the design of a location monitoring system for clients using sensor-based IoT devices built on LoRaWAN wireless technology. The proposed solution is intended for use in environments with limited power supply, no cellular coverage, and a need for continuous movement tracking. The system consists of a client device based on an ESP32 microcontroller equipped with a NEO-6M GPS module and an SX1278 LoRa transceiver. It transmits data including coordinates, movement speed, and rest duration. The operator module receives messages via the LoRaWAN network and displays real-time information on a LCD display. The number of operator modules is not limited. The software is developed in the Arduino IDE using the TinyGPSPlus, LoRa, and LiquidCrystal_I2C libraries. Here is defined data format for system scalability. A comparative analysis with ZigBee and GSM technologies shows LoRaWAN's superior energy efficiency, coverage range, and communication stability. The solution is suitable for use in tourism, healthcare, occupational safety, sports, and transport. It improves group safety, supports real-time tracking, and enables rapid emergency response, contributing to intelligent monitoring systems. The given prototype allows scalable client data acquisition depending on the use case. The operator unit can also be extended to output data to other displays (e.g., OLED) or automate certain decision-making processes.

Keywords: wireless network, monitoring, IoT devices, limited power supply, route logistics, LoRaWAN, patient tracking, tourism, low-power sensors.

Постановка наукової проблеми. Технології моніторингу місцезнаходження (локації) людей на основі бездротових мереж все ширше впроваджуються у різні види діяльності. Такий підхід дозволяє реалізовувати ефективні системи логістики, контролю та управління рухомих об'єктів – від вантажів до людей. У випадках, коли необхідно забезпечити надійне покриття в умовах відсутності інфраструктури та при певних обмеженнях енергозабезпечення, доцільно використовувати технологію LoRa (Long Range). Зокрема, протокол LoRaWAN відкриває перспективи для створення малопотужних сенсорних мереж із великою дальністю передачі сигналу. Однією з перспективних сфер застосування таких рішень є логістика туристичних, рекреаційних та інших маршрутів у важкодоступних місцевостях.

Аналіз досліджень. Використання інтеграції на основі стільникової мережі та смартфона для визначення локації людей на маршрутах було визначено низько-ефективним у зв'язку з:

- високим ступенем енергоживлення;
- низькою якістю покриття стільниковою мережею.

На рис. 1 наведено приклад туристичного маршруту та якості покриття стільниковою мережею даного маршруту.

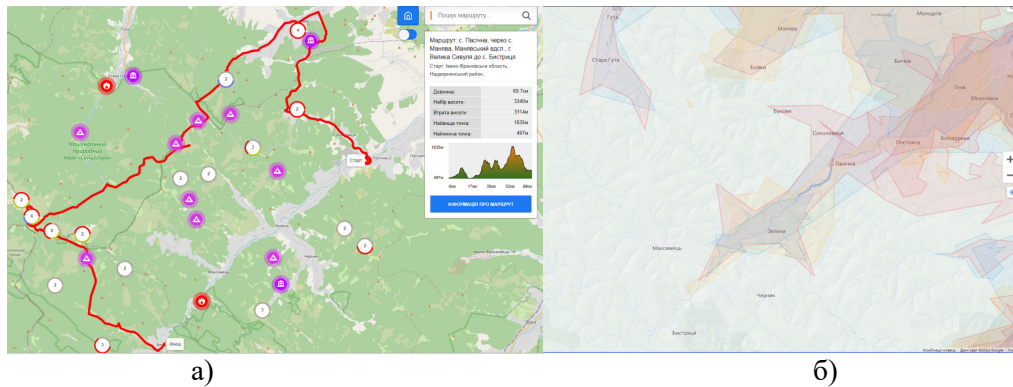


Рис. 1. Приклад туристичного маршруту (а) та якості покриття стільниковою мережею даного маршруту (б)

Найбільш вагомими характеристиками вибору альтернативних стандартів бездротової передачі даних були радіус покриття сигналу та якомога менший ступінь використання енергії [1]. Серед альтернатив були обрані стандарти ZigBee та LoraWan, порівняльна характеристика яких наведена у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика бездротових технологій передачі даних

Технологія	Частота, ГГц	Швидкість передачі, кбіт/с	Радіус покриття, м	Ступінь споживання
LoraWan	0,433; 0,868	0,25–50	Більше ніж 10 000	Низький
ZigBee	0,870; 0,902–0,928; 2,4	20–50	10–100	Низький

У порівнянні з альтернативами, такими як ZigBee або стільниковий зв'язок, LoRaWAN має ряд переваг [2]:

- 1) великий радіус дії (до 10 км і більше);
- 2) низьке енергоспоживання;
- 3) використання безліцензійного частотного діапазону.

Спортивний туризм передбачає проходження визначених маршрутів з подоланням природних і штучних перешкод. Окрім туризму, описані технології знаходять широке застосування в інших галузях:

- а) медицина – відстеження місцезнаходження пацієнтів у лікарнях, особливо з деменцією чи іншими когнітивними порушеннями [3];
- б) спорт – моніторинг переміщення спортсменів під час тренувань або змагань [4];
- в) охорона праці – контроль присутності працівників у небезпечних зонах [5].

Рішення на основі LoRaWAN дозволяють використовувати сенсорні IoT-пристрої для збору даних про маршрут, передачі GPS-координат та фізіологічних показників учасників групи в режимі реального часу [6]. Це значно підвищує безпеку учасників та спрощує процес звітності про проходження маршруту. Визначення найкоротшого маршруту дозволить оптимізувати витрати часу, а також зменшити ймовірність помилок. Використання штучного інтелекту та машинного навчання дозволяє створювати програмні системи, які можуть ефективно координувати процеси логістики маршрутів [7]. Але, враховуючи складність і віддаленість таких маршрутів, зростає потреба у забезпеченні безпеки та автоматизації збору даних про переміщення груп.

Метою статті є дослідження можливостей використання мережі LoRaWAN для моніторингу локації клієнтів мережі з використанням їх сенсорних IoT-пристроїв, а також розробка рекомендацій щодо впровадження розробленої технології визначення локації для автоматизації збору даних про переміщення туристичних, рекреаційних та інших груп людей у важкодоступних місцевостях та небезпечних зонах.

Виклад основного матеріалу. Класифікація пристроїв у LoRaWAN дозволяє адаптувати систему під конкретні потреби: від повністю автономних сенсорів до пристроїв з постійним зв'язком [8]. Для реалізації системи моніторингу використовуються наступні основні електронні компоненти:

- а) ESP32 Dev Board – мікроконтролер з вбудованим Wi-Fi, Bluetooth і високою продуктивністю. Слугує основною обчислювальною платформою пристрою;
- б) GPS-модуль NEO-6M – забезпечує визначення поточних координат у глобальній системі позиціонування;
- в) LoRa-модуль SX1278 – передає зібрані дані (GPS-координати, швидкість, стан) на центральний термінал через LoRaWAN-мережу;
- г) Breadboard – макетна плата для зручного з'єднання компонентів без пайки.

На терміналі відображаються отримані параметри: місце розташування абонента, його швидкість переміщення та час відпочинку. Ця інформація є критично важливою для забезпечення безпеки та ефективного управління груповим туристичним маршрутом.

Сенсорні пристрої кожного учасника періодично надсилають GPS-координати, швидкість руху та інформацію про зупинки (виміряну за допомогою вбудованого акселерометра або гіроскопа) на центральний шлюз. Термінал, підключений до мережі LoRaWAN, приймає дані та відображає на екрані поточне положення кожного члена туристичної групи, його швидкість переміщення та тривалість періоду відпочинку. Це дозволяє оперативно аналізувати стан маршруту, координувати рух та реагувати на потенційні загрози чи затримки.

Проектування клієнтської та операторної частини

Система складається з двох апаратно-програмних компонентів:

1) *Сенсорний (клієнтський) блок (client station)*, який побудовано на базі мікроконтролера ESP8266 або ESP32, підключеного до модуля GPS (наприклад, NEO-6M) та модуля LoRa (SX1278). Всі компоненти розміщені на макетній платі, що дозволяє оперативно змінювати конфігурацію під час тестування. Цей пристрій фіксує координати клієнта, його рух і стан відпочинку та передає дані через мережу LoRa;

2) *Блок оператора (operator station)*, який отримує дані через LoRa-модуль та виводить їх на екран монітора або LCD-дисплея. На дисплеї показується ID учасника, швидкість руху та тривалість зупинок. Це дозволяє оператору в реальному часі контролювати стан усіх членів туристичної групи.

На наведеній нижче діаграмі зображено логіку роботи IoT-пристроїв з GPS і LoRa-модулями (рис. 2). Пристрої отримують дані про місцезнаходження клієнтів бездротової мережі, передають їх через LoRaWAN-мережу до терміналів операторів. Це дозволяє відображати в режимі реального часу координати, швидкість та інші дані про стан клієнтів.

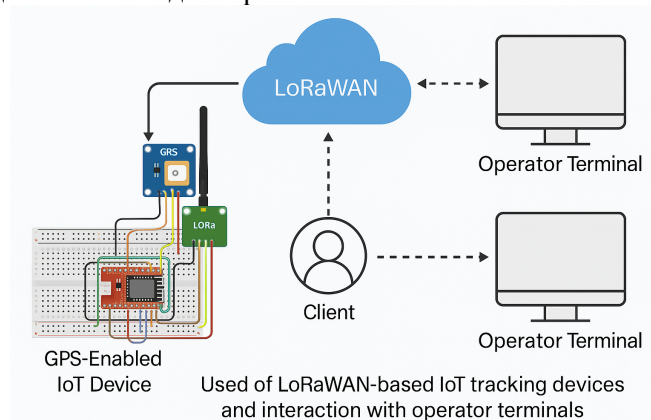


Рис. 2. Структурна схема системи моніторингу на базі LoRaWAN

Програмування клієнтського та операторного блоків

Перед створенням програмного забезпечення необхідно домовитися про формат даних, яким будуть обмінюватися клієнти та оператори.

В наведеному випадку формат даних буде таким:

POS:<Longitude>,<Latitude>;SPD:<Speed>;RST:<Rest time>

Наприклад:

POS:48.123456,30.123456;SPD:2.51;RST:18

Задачі, які ставляться перед клієнтським блоком розробленої моніторингової мережі такі:

- 1) отримати дані від сенсорів (поточний положення);
- 2) передати його по мережі LoRa за протоколом LoRaWAN.

Для цього доцільно використати середовище розробки Arduino IDE та бібліотеки *TinyGPSPlus*, *Lora*.

Нижче наведено каркас програми для передачі моніторингових даних до оператора (рис. 3).

```
#include <TinyGPSPlus.h>
#include <HardwareSerial.h>
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
TinyGPSPlus gps;
HardwareSerial gpsSerial(1); // UART1 на ESP32: RX = GPIO16, TX = GPIO17
// Налаштування пінів LoRa-модуля
#define LORA_SS 18
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 26

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // GPS UART
  gpsSerial.begin(9600, SERIAL_8N1, 16, 17); // RX=16, TX=17
  // Ініціалізація LoRa
  SPI.begin(5, 19, 27, LORA_SS); // SCK, MISO, MOSI, SS
  LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    Serial.println("LoRa init failed. Check connections.");
    while (true);
  }
  Serial.println("LoRa init OK");
}

void loop() {
  while (gpsSerial.available() > 0) {
    gps.encode(gpsSerial.read());
  }

  if (gps.location.isUpdated()) {
    double latitude = gps.location.lat();
    double longitude = gps.location.lng();
    double speed = gps.speed.kmph();
    // Умовно: використати для імітації відпочинку
    unsigned long restSeconds = gps.time.second();
    String message = String("POS:") + latitude + "," + longitude +
      ";SPD:" + speed +
      ";RST:" + restSeconds;
    Serial.println("Sending: " + message);
    LoRa.beginPacket();
    LoRa.print(message);
    LoRa.endPacket();
  }
  delay(1000); // Затримка передачі
}
```

Рис. 3. Каркас програми для передачі моніторингових даних до оператора

Задачі, які ставляться перед операторним блоком розробленої моніторингової мережі, такі:

- 1) отримати дані від клієнтів;
- 2) відобразити ці дані відповідно до потреб оператора на пристроях виведення.

Для цього доцільно використати середовище розробки Arduino IDE та бібліотеки *LiquidCrystal_I2C*, *LoRa*.

Нижче наведено каркас програми для прийому моніторингових даних від клієнтів та відображення їх на LCD-дисплеї (рис. 4).

```
#include <SPI.h>
#include <LoRa.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Ініціалізація LCD (адреса 0x27 зазвичай, але може бути 0x3F)
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// Піни для LoRa
#define LORA_SS 18
#define LORA_RST 14
#define LORA_DIO0 26
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // LCD
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Waiting for data");
  // Ініціалізація LoRa
  SPI.begin(5, 19, 27, LORA_SS); // SCK, MISO, MOSI, SS
  LoRa.setPins(LORA_SS, LORA_RST, LORA_DIO0);
  if (!LoRa.begin(433E6)) {
    lcd.clear();
    lcd.print("LoRa init failed");
    while (true);
  }
  lcd.clear();
  lcd.print("LoRa Ready...");
}

void loop() {
  int packetSize = LoRa.parsePacket();
  if (packetSize > 0) {
    String message = "";
    while (LoRa.available()) {
      message += (char)LoRa.read();
    }
    Serial.println("Received: " + message);
    // Очистити дисплей
    lcd.clear();
    //Розбір повідомлення (очікується формат: POS:lat,lon;SPD:speed;RST:rest)
    int posIndex = message.indexOf("POS:");
    int spdIndex = message.indexOf(";SPD:");
    int rstIndex = message.indexOf(";RST:");
    String pos = message.substring(posIndex + 4, spdIndex);
    String spd = message.substring(spdIndex + 5, rstIndex);
    String rst = message.substring(rstIndex + 5);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("S:");
    lcd.print(spd);
    lcd.print("km/h");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Rest:");
    lcd.print(rst);
    lcd.print("s");
  }
}
```

Рис. 4. Каркас програми для прийому моніторингових даних від клієнтів
та відображення їх на LCD-дисплеї

Висновки та перспективи подальшого дослідження. Використання LoRaWAN для моніторингу локації клієнтів з сенсорними IoT-пристроями є перспективним рішенням для задач з обмеженим енергозабезпеченням, великим радіусом покриття та потребою у незалежності від мобільної інфраструктури. Розробка й впровадження таких систем може суттєво підвищити ефективність логістики, безпеки та управління у сфері туризму, медицини, спорту, транспорту та охорони праці.

Список бібліографічного опису

1. Centenaro M., Vangelista L., Zanella A., Zorzi M. Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*. 2016. Vol. 23, Is. 5. P. 60–67. DOI: 10.1109/MWC.2016.7721743.
2. Adelantado F., Vilajosana X., Tuset-Peiro P., Martinez B., Melia-Segui J., Watteyne T. Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*. 2017. Vol. 55, No. 9. P. 34–40. DOI: 10.1109/MCOM.2017.1600613.
3. Zhuravska I., Dvoretzkyi M., Kulakovska I., Boiko A., Dvoretzka S. The queue's automated creation of doctor's calls by patients in the hospital with visualization via the mobile application. *Journal of Mobile Multimedia*. 2023. Vol. 19, Is. 3. P. 1–38. DOI: 10.13052/jmm1550-4646.19311.
4. Журавська І. М., Пилипчук Б. В. Технології Інтернету речей для моніторингу фізичних навантажень велоспортсменів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2024. № 2 (333). С. 329–337. DOI: 10.31891/2307-5732-2024-333-2-52.
5. Tohoiev O., Burlachenko I., Zhuravska I., Savinov V. The monitoring system based on a multi-agent approach for moving objects positioning in wireless networks. *CEUR Workshop Proceedings : Proc. of the 3rd Int. Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020)*, Zaporizhzhia, Ukraine, Apr. 27 – May 1, 2020 [ed.: S. Subbotin], Vol. 2608. P. 79–90. DOI: <https://doi.org/10.32782/cm15/2608-7>.
6. US Patent No. US11147459B2. Wearable electronic device and system for tracking location and identifying changes in salient indicators of patient health. *United States Patent and Trademark Office*. 2018. URL: <https://patents.google.com/patent/US11147459B2/en> (Last accessed: 20.05.2025).
7. Томашко А. Принципи моделювання системи логістичного комплексу із застосуванням машинного навчання. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*. 2023. № 51. С. 94–100. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2023-51-12.
8. Saban M., Aghzout O., Medus L. D., Rosado A. Experimental Analysis of IoT Networks Based on LoRa/LoRaWAN under Indoor and Outdoor Environments: Performance and Limitations. *IFAC-PapersOnLine*. 2021. Vol. 54, Is. 4. P. 159–164. DOI: 10.1016/j.ifacol.2021.10.027.

References

1. Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016) Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60–67. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743>
2. Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017) Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications Magazine*, 55(9), 34–40. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1600613>.
3. Zhuravska, I., Dvoretzkyi, M., Kulakovska, I., Boiko, A., & Dvoretzka, S. (2023) The queue's automated creation of doctor's calls by patients in the hospital with visualization via the mobile application. *Journal of Mobile Multimedia*, 19(3), 1–38. Retrieved from 10.13052/jmm1550-4646.19311.
4. Zhuravska, I., & Pylypchuk, B. (2024) The Internet of Things technologies for monitoring the physical loads of cyclists. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, 2(333), 329–337. Retrieved from <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-333-2-52> [in Ukrainian].
5. Tohoiev, O., Burlachenko, I., Zhuravska, I., & Savinov, V. (2020) The monitoring system based on a multi-agent approach for moving objects positioning in wireless networks. *CEUR Workshop Proceedings : Proc. of the 3rd Int. Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020)*, Zaporizhzhia, Ukraine, Apr. 27 – May 1, 2020 [ed.: S. Subbotin], 2608, 79–90. Retrieved from <https://doi.org/10.32782/cm15/2608-7>.
6. US Patent No. US11147459B2 (2018) Wearable electronic device and system for tracking location and identifying changes in salient indicators of patient health. United States Patent and Trademark Office.
7. Tomashko, A. (2023) Principles of modeling the logistics complex system using machine learning. *Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production*, (51), 94–100. Retrieved from <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2023-51-12> [in Ukrainian].
8. Saban, M., Aghzout, O., Medus, L. D., & Rosado, A. (2021) Experimental Analysis of IoT Networks Based on LoRa/LoRaWAN under Indoor and Outdoor Environments: Performance and Limitations. *IFAC-PapersOnLine*, 54(4), 159–164. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.027>.