

# Використання технології LoRa для вирішення задачі локалізації об'єктів в IoT-системах

Сорокін Д. А.

Національний технічний університет України  
"Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
Київ, Україна

**Анотація**—Шляхом теоретичного аналізу технологій передачі даних в існуючих IoT-системах показано, що використання таких технологій, як GPS, Wi-Fi, Bluetooth не завжди є ефективним через високу вартість та малу площу покриття. Більш оптимальним рішенням для побудови мереж взаємодії між IoT-пристроями можна вважати технологію LoRa, яка одночасно дозволяє виконувати комунікацію на великій відстані, характеризується низьким енергоспоживанням та високою стійкістю до завад і є економічно привабливою. Розглянуто можливість застосування технології LoRa для вирішення задачі визначення місцезнаходження об'єктів. У якості найбільш оптимального методу геолокації обрано метод визначення різниці в часі прибуття (TDoA). Задачею подальших досліджень є створення оптимального алгоритму для рішення задачі локалізації пристроїв IoT.

**Ключові слова** — *Internet of Things; технологія LoRa; геолокація; Time Difference Of Arrival; мультилатерація; алгоритм локалізації.*

## I. Вступ

Останні 20 років ознаменувались різким ростом інтернет-технологій. Провідне місце серед них посідає Інтернет речей (Internet of Things, IoT). IoT містить мільярди взаємопов'язаних пристроїв, кількість яких збільшується кожного дня. Виробниками пропонується різноманіття приладів для забезпечення особистої безпеки, підвищення побутового комфорту або розширення комунікаційних можливостей. Однією з областей застосування технології IoT, яка досить стрімко розширюється, є відслідковування місцезнаходження об'єктів. Можна навести приклади реалізації відповідних систем: для спостереження за носорогами, щоб запобігти нападам бракон'єра [1], відстеження місцезнаходження метеостанції, що перебуває в океані [2], або контроль графіку руху громадського транспорту [3]. Для практичної реалізації технології IoT завжди необхідна відповідна телекомунікаційна інфраструктура. Найбільш поширеними технологіями для передачі даних між IoT-пристроями є GPS, Wi-Fi, Bluetooth. Однак для вирішення задачі локалізації об'єктів використання наведених технологій не завжди є ефективним. В останній час досить швидкими темпами розвивається і застосовується в IoT-системах нова телекомунікаційна технологія LoRa [4]. Метою роботи є дослідження можливості застосування даної технології для вирішення задачі локалізації об'єктів.

## II. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЕЗДРОТОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ IoT ЗАСТОСУВАНЬ

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) – це концепція мережі, що складається із взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які мають вбудовані передавачі, а також програмне забезпечення, що дозволяє здійснювати передачу і обмін даними між фізичним світом і комп'ютерними системами за допомогою стандартних протоколів зв'язку [5].

Основними вимогами ефективної роботи IoT є низька вартість, значний радіус дії і ефективність використання енергії. Найбільш поширеними технологіями для передачі даних між IoT-пристроями є GPS, Wi-Fi, Bluetooth. GPS може бути корисною для локалізації у віддалених районах, де супутники ведуть передачу даних безпосередньо з пристроєм, що дозволяє уникнути необхідності в спеціальній інфраструктурі. Такий пристрій потребуватиме додатковий модуль для зв'язку, що збільшує вартість. Цих недоліків позбавлені технології Wi-Fi і Bluetooth, які також можна застосовувати для локалізації в певних умовах. Вони використовуються для локалізації на меншій площі, так як діапазон роботи Wi-Fi, як правило до 100 м, а Bluetooth навіть менше [6]. Тому, щоб охопити більшу область, необхідна щільна мережа точок доступу для цих технологій, що значно збільшує вартість розгортання.

Перераховані недоліки змушують відмовитись від використання систем бездротового зв'язку і локальних рішень, таких як Wi-Fi, GPS і Bluetooth, тому що вони не є представниками як малопотужних (Low Power) так і широко діючих (Wide Area) мереж (Networks) (LPWAN).



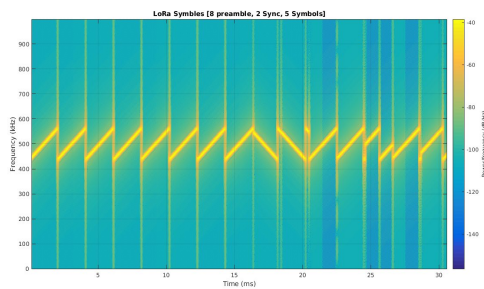


Рис. 1 Up-chirp та down-chirp в CSS модуляції

Найбільш виправдану технологією, яка одночасно дозволяє виконувати комунікацію на великій відстані і є економічно привабливою виступає LoRa, яка є представником LPWAN мереж [4].

Перевагами LoRa в порівнянні з іншими технологіями є споживана потужність, вартість і діапазон роботи. LoRa має низьке енергоспоживання, велику дальність дії, технологію бездротового зв'язку, яка є дешевою в реалізації [4]. Завдяки цим корисним властивостям LoRa набула популярності в світі IoT [7]. Тому використовувати пристрої з сигналами LoRa для локалізації є економічно доцільним рішенням.

### III. ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ LoRa

При виборі методів для локалізації пристроїв IoT з точки зору точності найкращим рішенням є GPS. Для більшості сучасних глобальних систем позиціонування (Global Positioning System) модулі дозволяють визначити місцезнаходження з точністю до 10 м у відкритому зовнішньому середовищі. Деякі навіть досягають точності сантиметрового рівня [8]. Виходячи з цього, а також з широти розповсюдження GPS, це може бути досить привабливим рішенням для локалізації IoT. Проте GPS має вагомий недолік – це висока споживана потужність: використання GPS для локалізації потребує енергії більш ніж в 10 разів, в порівнянні з LoRa. При цьому пакети даних надсилаються з тією ж швидкістю. Різниця може бути навіть до 20 разів, якщо LoRa налаштована для роботи в режимі економії енергії [9]. Більш того, до модуля GPS необхідний додатковий модуль для зв'язку. Тому, було б більш раціонально використовувати мережу LPWAN як для спілкування так і для локалізації.

Перед тим, як проаналізувати алгоритми локалізації, варто розглянути саму концепцію LoRa, щоб мати загальне уявлення про її роботу.

LoRa – це бездротова модуляційна схема, реалізована на фізичному рівні (PHY), яка може бути використана для бездротового зв'язку на великій відстані. У даній роботі термін LoRa буде використовуватися для позначення технології в цілому.

З винаходом LoRa, багато компаній почали використовувати її у своїх технологіях. Оператори зв'язку у Франції, Швейцарії та Нідерландах вже розширю-

ють мережі LoRa, адаптуючи існуючу інфраструктуру. При аналізі цих мереж було визначено, що вони використовують метод локалізації під назвою TDoA [10]. Для систем локалізації пропонуються вже готові запатентовані рішення. Вони залишаються закритим вихідним кодом і можуть бути використані тільки як системи з чорним ящиком. Виникає проблема з індивідуальними рішеннями, які спрямовані на дослідження та потребують відкритих систем, задля розширення діапазону наукових пошуків.

LoRa модуляція побудована на Chirp Spread Spectrum (CSS) модуляції, що робить її більш стійкою до завад. CSS працює безперервно змінюючи частоту сигналу вгору або вниз (up-chirp або down-chirp). Це здійснюється за фіксованою величиною [11]. Ілюстрацію наведено на Рис. 1.

Перші 8 символів up-chirp – це символи преамбули, які використовуються для виявлення сигналу LoRa, наступні 2 символи down-chirp – це символи синхронізації, які використовуються для часової синхронізації, а потім 5 модульованих символів (корисне навантаження).

Ефект Доплера та багатопроменевої інтерференції може змінити частоту або синхронізацію сигналу. Оскільки швидкість передачі фіксується, існує прямий зв'язок між частотою і часом в CSS модуляції – корисна властивість, яку LoRa використовує, щоб зменшити вплив завад [11].

З метою підвищити стійкість сигналу до шумів і перешкод LoRa модуляція використовує різні методи [12]. Один із таких методів включає кодування символів під час модуляції LoRa. Номер біту, що використовується для кодування кожного символу один, його називають коефіцієнтом розширення SF (Spreading Factor). SF, який застосовується пристроєм LoRa, може бути будь-яким дискретним числом від 7 до 12. Більш високий SF робить сигнал стійким до шуму, що підвищує точність локалізації [12]. Це робить SF важливим параметром, який необхідно враховувати при розробці алгоритму локалізації.

При використанні SF 12, LoRa може досягти діапазону до 30 км на відкритих територіях. Може скластися враження, що завжди слід використовувати SF рівний 12. Проте, SF 12 має найнижчу швидкість передачі даних. Зменшення швидкості передачі даних означає, що пристрою потрібно буде знаходитися на відкритому просторі протягом більш тривалого часу, щоб передати таку ж кількість інформації. Це створює перешкоди для інших пристроїв, що використовують відповідну частоту, а також збільшує об'єм непотрібного трафіку для мережі. З цієї причини, оператори рекомендують використовувати адаптивну швидкість передачі даних (ADR) [13]. Коли ADR ввімкнена, пристрій буде використовувати мінімально можливий SF, при якому стабільне з'єднання може бути досягнуто [14]. Це забезпечує прийом даних мінімальною кількістю шлюзів. В результаті цього ефективність процесу локалізації зменшується. Для покращення розуміння впливу осо-

бливостей взаємодії між LoRa-пристроями на можливості рішення основної задачі, що розглядається в роботі варто розглянути протокол LoRaWAN.

LoRaWAN – це розроблена LoRa Alliance специфікація, яка визначає архітектуру протоколу зв'язку і побудованих з його використанням мереж, що використовують технологію LoRa [11].

Протокол LoRaWAN реалізований на фізичному рівні. На Рис. 2 наведено типову топологію мережі, яка використовує протокол LoRaWAN [15].

На Рис. 2 представлені вузли (Node) які підтримують зв'язок з шлюзом (Gateway) по протоколу LoRaWAN. Їх процес взаємодії в мережі виглядає наступним чином. Вузол одночасно передає інформацію до всіх шлюзів. Інформація, яка завжди надходить з пакетом даних – це часова мітка, значення інтенсивності сигналу (RSSI) та відношення сигнал-шум (SNR). Дані записуються шлюзом та надсилаються до сервера (Network server).

Коли серверу необхідно передати інформацію вузлу, то повідомлення надійде у так зване вікно прийому. Це залежить від режиму роботи LoRa, яких існує три варіанти: А, В та С. Вони визначені протоколом LoRaWAN. Основним для розгляду є режим А, оскільки його покладено в основу роботи двох інших. Також він характеризується енергоефективним режимом роботи, який досягається за рахунок обмеженої передачі даних. Вузол відкриває вікно для прийому даних лише після надсилання пакету серверу. Після отримання відповіді від серверу вікно закривається і для відправлення наступного повідомлення в вузол необхідно дочекатись, поки вузол надішле дані.

#### IV. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЛОКАЛІЗАЦІЇ

Розглянемо особливості основних методів локалізації з урахуванням специфіки роботи мережі LoRaWAN. Це дозволить обрати оптимальні методи для ефективного визначення місцезнаходження.

Для того, щоб визначити місцезнаходження пристрою, спочатку потрібні кілька точок відліку місцезнаходження - їх називають точки прив'язки. Існує три відомих методи для визначення місцеположення: методи триангуляції, трилатерації і мультилатерації [16].

В триангуляції, місце розташування пристрою може бути оцінене з використанням геометрії трикутника, який утворений між двома опорними точками і пристроєм [1]. Геометрія трикутника може бути обчислена з використанням кута надходження сигналу (AOA) від точок прив'язки до пристрою, або навпаки. В нашому випадку передавачі або пристрій можуть знаходитися на великій відстані один від одного, бо така специфіка LoRa. Через це різко збільшується похибка визначення місцезнаходження.

Метод трилатерації вже використовувався в дослідженнях по локалізації для пристроїв LoRa. Відстань від пристрою може бути оцінена двома способами: за допомогою вимірювань часу прибуття ToA (Time of arrival), або в межах RSSI (Received Signal Strength Indication) шляхом визначення потужності сигналу, що надійшов до приймача [17].

У способі ToA, основними даними для обробки слугує час, за який сигнал надходить від пристрою до станції. Через це виникає необхідність у синхронізації пристроїв та наявності точних годинників. Синхронізація потребує збільшення енергоспоживання та об'єму трафіку, що не узгоджується з довготривалою роботою від акумуляторних джерел живлення. Тому ToA не розглядатиметься далі як метод локалізації. Проте варто звернути увагу на використання RSSI для трилатерації в мережах LoRa.

#### A. RSSI Ранжування

Основний принцип, що застосовується в способі RSSI для ранжирування, є використання потужності сигналу, яка втрачається між передатчиком та приймачем. Потужність сигналу, яка втрачається через середовище передачі відома як втрати на трасі [10]. Втрату на трасі можна визначити за так званим бюджетом посилки. Він розраховується як підсумок всіх отриманих та втрачених сигналів, які надійшли від передавача до приймача через усі середовища передачі. Це можна описати простим рівнянням [11]:

$$P_{Rx} = P_{Tx} + G_{Rx} + G_{Tx} - L_{PL}, \quad (1)$$

де  $P_{Rx}$  – це потужність сигналу в приймачі в дБ (відповідає RSSI),  $P_{Tx}$  – потужність сигналу в передавачі,  $G_{Rx}$  і  $G_{Tx}$  – є коефіцієнти посилення антен, які використовуються приймачем і передавачем відповідно,  $L_{PL}$  – складова, яка враховуватиме втрати сигналу.

Після визначення RSSI з використанням виразу (1), для подальшого розрахунку відстані до джерела сигналу необхідно встановити зв'язок між втратами та відстанню на трасі. Теоретично, бездротовий сигнал використовує вільний простір, як середовище передачі. Втрати в тракці передачі зростають пропорційно квадрату відстані, яку він проходить від точки передачі. Насправді, це не завжди так, оскільки є багато джерел електромагнітних полів, особливо в міських районах, які впливають на несучий сигнал [10]. В цьому випадку більш доречно оцінювати відстань за формулою логарифмічної відстані втрат на трасі [18]:

$$L_{PL}(d) = L_{PL}(d_0) + 10 * Y * \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\sigma}, \quad (2)$$

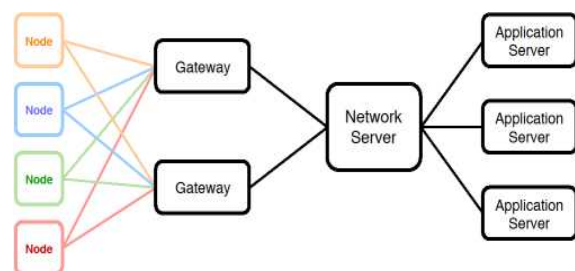


Рис. 2 Топологія мережі LoRaWAN

де  $L_{PL}(d)$  – являє собою втрати на трасі в дБ на відстані  $d$ ,  $L_{PL}(d_0)$  – є втрати в тракті передачі на опорній відстані  $d_0$  де ще не спостерігається вплив навколишнього середовища,  $Y$  є показником втрат на трасі і  $X_{\sigma}$  – це втрата від затухання тіні з нульовим середнім гауссовим розподілом і еталоном відхилення від  $\sigma$  [19].

На Рис. 3 наведено зв'язок між середовищем передачі, та втратами сигналу [15]. З аналізу можна зробити висновок, що основні втрати відбуваються в середовищі передачі. Саме коефіцієнт  $Y$  визначає інтенсивність цих втрат. Наприклад, для міста Оулу у Фінляндії значення  $Y = 2,32$ , а для міста Дортмунд в Німеччині  $Y = 2,65$ . Такі відмінності обумовлені зовнішніми [19] факторами та індивідуальними особливостями міського середовища. Відповідно до цього ми не можемо використовувати однакові значення для  $Y$ . Для кожного середовища необхідно проводити власні вимірювання для визначення значень цих параметрів.

Як правило, при практичному застосуванні систем локалізації об'єктів на пристроях LoRa з використанням RSSI, вони або використовували невелику площу, або працювали на відкритій місцевості з мінімальними завадами [20].

Як уже згадувалося, є третій поширений метод локалізації, який називається мультилатерація [1]. Цей метод не вимагає визначення відстані від пристрою до кожної точки прив'язки, а скоріше, тільки відмінність в відстані між точками прив'язки та пристроєм. Різницю у відстанях можна розрахувати як різницю в часі прибуття TDoA (Time Difference Of Arrival) сигналу від пристрою до контрольних точок або навпаки.

### В. TDoA

TDoA є популярним методом для локалізації, оскільки він не вимагає синхронізації передавача з приймачами, а потребує тільки відмінності між відмітками часу передачі. Такі мітки часу визначаються на кожному шлюзі при прийомі-передачі. Оскільки TDoA не вимагає безпосередньої інформації про час від пристрою, синхронізованими між собою мають бути лише приймачі.

Будемо вважати, що, коли сигнал LoRa передається від пристрою, він буде отриманий  $N$  шлюзами. Ці шлюзи будуть нашими опорними точками, тому що нам відомо їх розташування. Оскільки вони різновіддалені від пристрою, то приймають передачу від LoRa в різні моменти часу.

Теоретично, використовуючи відмінності у часових інтервалах від усіх можливих пар шлюзів, ми можемо обчислити положення передавача, якщо сигнал був отриманий, щонайменше, трьома шлюзами. Цю відстань можна обчислити за формулою [11]:

$$\Delta d_{i,j} = C * \Delta t_{i,j}, \quad (3)$$

де  $C$  – швидкість світла в повітрі;  $i$  та  $j$  – відповідні LoRa шлюзи.

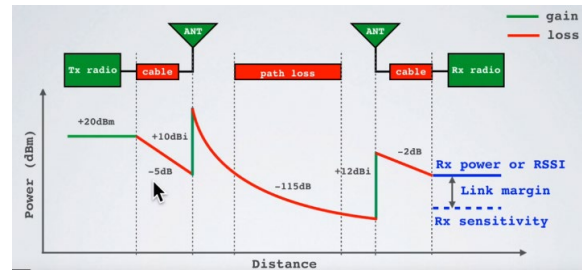


Рис. 3 Втрати сигналу в лінії передачі

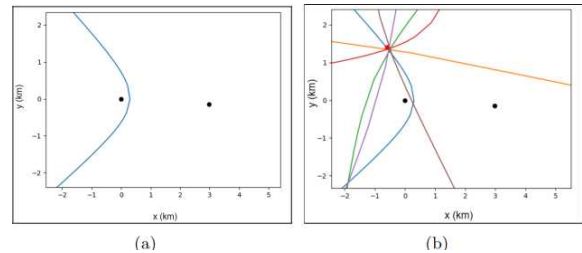


Рис. 4 Визначення місцезнаходження у методі TDoA

Використовуючи вимірювання TDoA, ми можемо створити гіперболу, що складається з усіх можливих точок, де пристрій може знаходитись (рис. 4) [20].

На Рис. 4 (а) чорні точки представляють LoRa шлюзи, а червона точка є пристрій в глобальній системі координат. З правого боку відображено результат вимірювання TDoA з інших пар шлюзів. Вони генерують більше гіпербол. Як ми можемо бачити на Рис. 4 (б), існує єдина точка, де всі гіперболи перетинаються одна з одною та вказують на фактичне місцезнаходження пристрою. Цей приклад TDoA описує ідеальну ситуацію, але в дійсності виникає помилка від невизначеності вимірювань TDoA [21].

Враховуючи розглянуті вище особливості методів визначення місцеположення об'єктів, для IoT – систем, побудованих з використанням технології LoRa, найбільш оптимальним методом локалізації, можна вважати метод визначення різниці в часі прибуття (TDoA), який дозволяє визначити місцезнаходження лише за рахунок зв'язку з передавачем, без необхідності використовувати додаткові системи.

### ВИСНОВКИ

Проведений аналіз показує, що задачу локалізації об'єктів можна вирішити, спираючись на сучасні алгоритми бездротової локалізації з використанням технології LoRa, яка дозволяє виконувати комунікацію на великій відстані, характеризується низьким енергоспоживанням та високою стійкістю до завад. Найбільш оптимальним методом локалізації в таких IoT – системах, можна вважати метод визначення різниці в часі прибуття (TDoA), який дозволяє визначити місцезнаходження лише за рахунок зв'язку з передавачем, що позбавляє необхідності в забезпеченні синхронізації кінцевих пристроїв мережі, обмежуючись проведенням цієї апаратно- та енерговитратної процедури лише для LoRa-шлюзів. Оскільки ж кількість останніх може бути меншою від кількості

кінцевих пристроїв IoT на декілька порядків, то ефективність такого рішення не викликає сумнівів.

Актуальним є питання створення відкритих систем для позиціонування, а саме розробка програмних, апаратних, алгоритмічних рішень, які є відкритими для загального використання та знаходяться у вільному доступі. Для того, щоб узагальнити рішення задачі локалізації для пристроїв IoT, буде корисно створити алгоритм, що не потребує інформації від додаткових датчиків таких, як наприклад, акселерометр, оскільки такі датчики вимагають додаткового споживання енергії. Окрім цього, краще не використовувати спільну синхронізацію пристроїв з приймачами, бо необхідність регулярного обміну даними збільшує затрати енергії. Вирішення цього питання є предметом подальших досліджень.

#### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] A. S. Dudnik, "METODI VIZNACHENNYA VIDSTANI MIZH EZASOBAMI SENSORNIH MEREZH," *Matematichne ta kompyuterne modelyuvannya. Seri`ya : Tekhni`chni` nauki*, pp. 40-49, 2018.
- [2] "Shadow view and internet of life continue as smart parks.," 2018. [Online]. Available: <https://www.smartparks.org/news/shadowview-and-internet-of-life-continue-as-smart-parks/>. [Accessed 16 9 2018].
- [3] D. Galliano, A. Annunziato and J. Fortuny-Guasch, "GPS Sea Level Measurement Device," in *Technical report, European Commission*, 2016. DOI: [10.2788/417614](https://doi.org/10.2788/417614)
- [4] RTLS, "LoRa Al'yans - global'ny'e seti dlya Interneta veshhej," 26 2 2016. [Online]. Available: <http://www.rtlsnet.ru/blog/post/79>. [Accessed 29 03 2020].
- [5] M. Kais, E. Bajic, F. Chaxel and F. Meyer, "A comparative study of lpwan technologies for large-scale iot deployment," *ICT Express*, vol. 5, iss. 1, pp. 1-7, 2018. DOI: [10.1016/j.ict.2017.12.005](https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.12.005)
- [6] G. Reiter, "Wireless connectivity for the internet of things," 2014.
- [7] R. Sharan Sinha, W. Yiqiao and H. Seung-Hoon, "A survey on lpwa technology: Lora and nb-iot," *Ict Express*, pp. 14-21, iss.1 vol. 3 2017. DOI: [10.1016/j.ict.2017.03.004](https://doi.org/10.1016/j.ict.2017.03.004)
- [8] G. Xu and Y. Xu, "GPS: theory, algorithms and applications," *Springer*, 2016. ISBN 978-3-540-72715-6 DOI: [10.1007/978-3-540-72715-6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-72715-6)
- [9] Semtech, *Low Energy Consumption Design*, Camarillo, 2013.
- [10] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella and M. Zorzi, "Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the iot and smart city scenarios.," *IEEE Wireless Communications*, pp. 60-67, vol. 23, iss. 5, 2016. DOI: [10.1109/MWC.2016.7721743](https://doi.org/10.1109/MWC.2016.7721743)
- [11] Semtech, *AN1200.22 LoRa Modulation Basics*, Camarillo, 2015.
- [12] M. Knight and B. Seeber, "ecoding LoRa: Realizing a Modern LPWAN with SDR," *In Proceedings of the GNU Radio Conference*, vol. 1, 2016. URL: <https://pubs.gnuradio.org/index.php/grcon/article/view/8/7>
- [13] L. Nordin, "Spreading factor (sf), time on air and (adapt-ive) data rate.," 2018. [Online]. Available: <https://zakeljkforum.kpn.com/lora-forum-16/spreading-factor-sf-time-on-air-and-adaptive-data-rate-10908>. [Accessed 9 9 2018].
- [14] A. Rahmadhani and F. Kuipers, *When lorawan frames collide*, 2018.
- [15] C. B. Martin, U. Roedig, T. Voigt and M. A. Juan, "Do lora low-power wide-area networks scale?," *Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, p. 59, 2016.
- [16] Eric B., "LoRa," 2018. [Online]. Available: <https://lora.readthedocs.io/en/latest/>. [Accessed 29 03 2020].
- [17] F. Gustafsson and F. Gunnarsson, "Positioning using time-difference of arrival measurements. In (6), pages 553{556. Citeseer, 2003.," *ICASSP*, p. 553, 2003. DOI: [10.1109/ICASSP.2003.1201741](https://doi.org/10.1109/ICASSP.2003.1201741)
- [18] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen and M. Pettissalo, "On the coverage of lpwans: range evaluation and channel," *ITS Telecommunications*, pp. 55-59, 2015. DOI: [10.1109/ITST.2015.7377400](https://doi.org/10.1109/ITST.2015.7377400)
- [19] K.-H. Lam, C.-C. Cheung and W.-C. Lee, "Lora-based localization systems for noisy outdoor environment," *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications*, pp. 278-284, 2017. DOI: [10.1109/WiMOB.2017.8115843](https://doi.org/10.1109/WiMOB.2017.8115843)
- [20] M. Rouse, "Internet of things," 2 2020. [Online]. Available: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>. [Accessed 10 03 2020].
- [21] T. D. Van, "Protecting wildlife with lorawan. The Things Conference 2018," 2018. [Online]. Available: <https://www.imas.eu/the-things-conference-on-tour-maribor-hosted-more-than-150-participants-exploring-the-future-of-iot/>.

# Using LoRa Technology to Solve the Problem of Object Localization on IoT Systems

D. A. Sorokin

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute  
Kyiv, Ukraine

**Abstract**—Internet of Things (IoT) is a leading place in the rapidly expanding Internet technologies. One of the uses of IoT technology is to track and control the location of objects. The purpose of this work is to investigate the feasibility of using LoRa technology to solve the object localization problem.

The theoretical analysis of data technologies in existing IoT systems shows that the use of technologies such as GPS, Wi-Fi, Bluetooth is not always effective due to its high cost and low coverage. A better solution for building networks of interaction between IoT devices can be considered LoRa technology, which at the same time allows you to communicate over long distances, characterized by low power consumption and high resistance to interference and is economically attractive. LoRa is a wireless modulation scheme built on Chirp Spread Spectrum (CSS) modulation that makes it more interfering. It is based on LoRaWAN, which allows you to create a network for interaction between devices. Such a network can be used to solve the problem of geolocation.

To determine the location of a device, you first need several reference points, the location of which is already known. There are three known methods for locating: triangulation, trilateration, and multilateration methods. Let us analyze the effectiveness of using these methods when applying LoRa.

In triangulation, the location of the device can be estimated using the geometry of the triangle formed between the two reference points and the device. In our case, the transmitters or device will be at a great distance from each other, because this is LoRa specificity. Because of this, location error is increased.

The trilateration method has already been used in localization studies for LoRa devices. The distance from the device can be estimated in two ways: by measuring the time of arrival (ToA), or within RSSI by determining the signal strength of the received signal to the receiver.

In the ToA method, the master data for processing is the time at which the signal arrives from the device to the station. This method is characterized by high power consumption due to the need for synchronization between devices. In addition, the quality of the location is highly dependent on the environment.

This method of localization, such as multilateration, does not require the determination of the distance from the device to each anchor point, more important is the difference in the distance between the anchor points themselves. TDoA is a popular method for localization because it does not require transmitter synchronization with receivers. Therefore, the most optimal method of localization can be considered the method of determining the difference in time of arrival (TDoA)

The analysis shows that the object localization problem can be solved by using modern wireless localization algorithms using LoRa technology. The goal of further research is to create an optimal algorithm for solving the problem of localization of IoT devices.

**Keywords** — *Internet of Things; LoRa technology; geolocation; Time Difference Of Arrival; multilateration; localization algorithm.*

