

ПЛАНИРАНЕ И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЗОНА НА РАДИОПОКРИТИЕ В LORAWAN КОМУНИКАЦИОННА МРЕЖА

Красен Ангелов¹, Николай Манчев¹, Станимир Садинов¹, Траян Иванов¹,
¹Технически университет – Габрово, България

PLANNING AND SURVEY OF RADIO COVERAGE IN LORAWAN COMMUNICATION NETWORK

Krasen Angelov¹, Nikolay Manchev¹, Stanimir Sadinov¹, Trayan Ivanov¹
¹Technical University of Gabrovo, Bulgaria

Abstract

This paper discusses the peculiarities of radio coverage planning for narrowband communication in the LoRaWAN network. This type of communication is used in the implementation of Internet of Things networks in smart cities as well as for industrial communications. Data transmission is possible over long distances at low speeds and extremely low levels of transmitted signals. This defined the LoRa connection as very reliable. In the second part of the paper, based on the developed demonstration models of the gateway and end devices, the quality of the already realized radio coverage is evaluated.

Keywords: LoRa, LoRaWAN, LPWAN, radio coverage, IoT.

ВЪВЕДЕНИЕ

LoRaWAN (Long Range Wide Area Network) означава широко-обхватна мрежа за комуникация на дълго разстояние. LoRaWAN технологията следва IEEE 802.15.4 стандарт и представлява безжична комуникация, която позволява на IoT (Internet of Things) устройствата на да комуникират на голямо разстояние с минимално използване на батерията [1,5,6].

LoRa (Long Range) е патентована цифрова безжична технология за предаване на данни, разработена от Cysleo от Гренобъл, Франция и придобита от Semtech през 2012 г. [7]. LoRa използва нелицензирани радиочестотни ленти в честотния диапазон под 1 GHz, като 169 MHz, 433 MHz, 868 MHz (Европа) и 915 MHz (Северна Америка). LoRa позволява предаване на много дълги разстояния (над 10 километра в извънградски райони) с ниска консумация на енергия [3,6]. LoRa описва физическия слой. Протоколът за физическия слой на LoRa е затво-

рен и е частна собственост, следователно, няма свободно достъпна официална документация.

LoRaWAN е мрежата в която оперира LoRa. LoRaWAN е протокол за управление на достъпа до средата (Media Access Protocol – MAC), но основно е протокол от мрежов слой за управление на комуникацията между LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) концентратори (шлюзове) и крайни възли като маршрутизиращ протокол, поддържан от LoRa Alliance [6]. Версия 1.0 на спецификацията на LoRaWAN бе пусната през юни 2015 г.

LoRaWAN определя комуникационния протокол и системната архитектура на мрежата, докато физическият слой на LoRa позволява връзката за далечни разстояния. LoRaWAN също отговаря за управлението на честотите на комуникация, скоростта на предаване на данни и захранването за всички устройства [4,5].

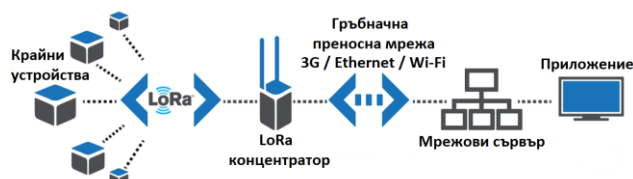
Устройствата в мрежата са асинхронни и предават, когато разполагат с данни за

изпращане. Данните, предавани от краен възел, се приемат от множество концентратори, които препращат пакетите данни към централизиран мрежов сървър [5]. Мрежовият сървър филтрира дублиращи се пакети, извършва проверки за сигурност и управлява мрежата. След това данните се препращат към сървърите на приложения. Технологията показва висока надеждност при средна степен на натоварване, но има някои проблеми с производителността, свързани с изпращането на потвърждения.

Благодарение на DAS (Distributed Antenna System) модела за разпределение на антените и концентраторите с активиран GPS, мрежата може да разпознае позицията на възлите, дори когато са мобилни [1,2,5]. Стандартът гарантира оперативната съвместимост на различните LoRaWAN мрежи в световен мащаб.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Архитектурата на LoRa мрежа е показана на фиг. 1 [5,6,7].



Фиг. 1. Архитектура на LoRa мрежа

За съобщенията по обратен канал, например от сензор, който изпраща информация към приложение, потокът на данните на фиг. 1 протича от ляво на дясно. В крайното устройство данните се генерират от сензора и се прочитат от LoRa комуникационния модул, свързан към него, след това те се криптират се и се предават по радио ефира на LoRa честота. Един или повече LoRa концентратори получават съобщението и го препращат през гръбначна мрежа (обикновено 3G или Ethernet) към мрежов сървър (облачна услуга). Мрежовият сървър съхранява, филтрира и обработва съобщенията и ги препраща в подходящ вид до правилното крайно приложение.

За съобщения по прав канал, например сигнал за включване на светлина, потокът на данните на фиг. 1 е от дясно на ляво. Съобщенията по обратен канал се иници-

рат от самото крайно устройство, а по обратен канал – от крайното приложение. Тъй като LoRa е проектирана да бъде с възможно най-ниска консумация на енергия, не всички устройства винаги следят („слушат“) за входящи съобщения. Това зависи от класовете на устройствата.

В различните радиотехнологии се използват и измерват по същество три характеристики (фиг. 2), които могат да се използват за оценка на радиомрежа:

- Обхват / разстояние,
- Скорост на предаване на данни
- Консумация на енергия.



Фиг. 2. Характеристики на безжичните комуникации

Трудно е да се отчетат и трите критерия със същия акцент, тъй като в този случай физическите закони определят ясни граници: LoRaWAN може да предава данни на големи разстояния и изисква сравнително малко енергия, но предоставя само ниска скорост на предаване на данни.

Ефективността на връзката показва качеството на канала за радиопредаване [1-3]. Използвайки прост модел, ефективността на връзката може да бъде изчислена чрез добавяне на мощността на предавателя (P_v), чувствителността на приемника, коефициентите на предаване на антените и загубите в свободното пространство ($FSPL$).

Загубите от разпространение показват колко енергия се губи в свободното пространство на разстояние между предавателя (Tx) и приемника (Rx) – фиг. 3. Колкото по-голямо е разстоянието между предавателя и приемника, толкова по-ниско е нивото на енергия. Загубите от разпространение обикновено се представят, както следва:

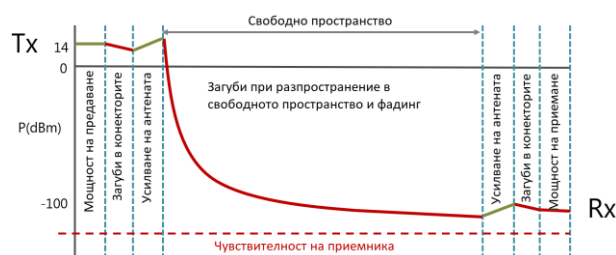
$$FSPL = \left(\frac{44\pi d}{\lambda} \right)^2 = \left(\frac{44\pi d f}{c} \right)^2 \quad (1)$$

където: $FSPL$ – загуби в свободното пространство, d – разстояние между предавателя и приемника в [m], f – честота в [Hz].

Съществува и широко използвана формула за изчисление на загубите в свободно пространство в логаритмичен вид (в dB):

$$FSPL_{(dB)} = 20 \cdot \log_{10}(d) + 20 \cdot \log_{10}(f) - 147,55 \quad (2)$$

Удвоеното разстояние (d) означава загуби от разпространение от 6 dB (в свободно пространство).



Фиг. 3. Определяне на енергийния бюджет на връзката

В страната на приемника (Rx), чувствителността на приемника (S_{Rx}) е стойността, която влияе върху енергийния бюджет на връзката. Чувствителността на приемника описва минималната възможна мощност на приемане и толеранс за топлинния шум и се изчислява, както следва:

$$S_{Rx} = -174 + 10 \cdot \log_{10}(BW) + NF + SNR \quad (3)$$

където BW е широчина на честотната лента в Hz, NF – шумов коефициент в dB, SNR – съотношението сигнал/шум.

Чувствителността на приемника в LoRaWAN е по-висока и следователно по-добра в сравнение с WiFi.

(4) показва крайния случай на загуби от разпространение без да се вземат предвид коефициентите на предаване на приемопредавателните антени и други видове затихване в свободното пространство:

$$LE = S_{Rx \max [dB]} - P_{v \max [dB]} \quad (4)$$

където LE е ефективността на връзката, $S_{Rx \max}$ – максимална чувствителност на приемника, $P_{v \max}$ – максимална мощност на предавателя.

• Изчисляване на ефективността на връзката в LoRaWAN:

Входни данни:

- $P_{v \max} = 14 \text{ dBm}$
- $BW = 125 \text{ kHz} = 10 \log_{10}(125000) = 51$
- $NF = 6 \text{ dB}$ (концентраторите в LoRaWAN мрежите имат по-ниски NF стойности)
- $SNR = -20 \text{ dB}$ (за фактор на разширение $SF=12$)

Замествайки зададените стойности във формула (3) се получава изискваната минимална чувствителност на приемника ($S_{Rx \min}$):

$$S_{Rx \min} = -174 + 51 + 6 - 20 = -137 \text{ dBm} \quad (5)$$

Ефективността на връзката LE може да се изчисли, като се използва израз (4):

$$LE = -13 \text{ dB} - 14 \text{ dB} = -151 \text{ dB} \quad (6)$$

При така зададените стойности се получава ефективност на LoRaWAN връзката или енергиен бюджет от 151 dB. С енергиен бюджет от 150 dB за LoRaWAN може да се покрие разстояние до 800 km при оптимални условия (чисти загуби в свободното пространство). Сегашният световен рекорд за разстояние на LoRaWAN връзка е около 702 km [8]. При реални условия тези идеални стойности не могат да бъдат постигнати. Това зависи от влиянието на няколко фактора:

• Фактор 1: Загуби от разпространение в свободното пространство

Чрез удвояване на разстоянието загубите в свободно пространство за LoRaWAN се увеличават с 6 dB, така че загубите на радиосигнал се описват с логаритмична функция (виж (3)).

В допълнение към загубата на енергия в зависимост от разстоянието, фактори като отразяване и пречупване на радиовълни върху обекти могат да доведат до припокриване на радиовълните, което също може да има отрицателен ефект върху далечината на разпространение.

- **Фактор 2: Загуби на сигнал от структурни материали**

Загубите, причинени от различни видове структури, т.е. поглъщането на радиосигнали при проникването им през различни препятствия, оказва влияние върху приемането на предадените сигнали и може да съкрати значително разстоянието на предаване.

- **Фактор 3: Зони на Френел**

За ефективно покриване на дълги разстояния и постигане на добра ефективност и сигурност на връзката е важно да се установи пряка видимост между предавателя и приемника колкото е възможно по-често. При радиопредаването, специфичните пространствени зони между линията на пряка видимост се наричат Френелови зони. Ако в тези зони има обекти, те могат да окажат негативно влияние върху разпространението на радиовълните, независимо от наличието на визуален контакт между предавателната и приемащата антени.

- **Фактор 4: Адаптивна скорост на данните**

Динамична промяна в скоростта на предаването данни и мощността на предаване в зависимост от качеството на сигнала и разстоянието до концентратора. Побавното предаване (по-висок фактор на разпространение) позволява по-дълъг, постоянен поток от данни до съответния концентратор в случай на по-надежден (зашумен) радиочестотен диапазон. LoRa оперира с фактор на разширение (spread factor – SF) от 7 до 12 – таблица 1 и фиг. 4 [4].

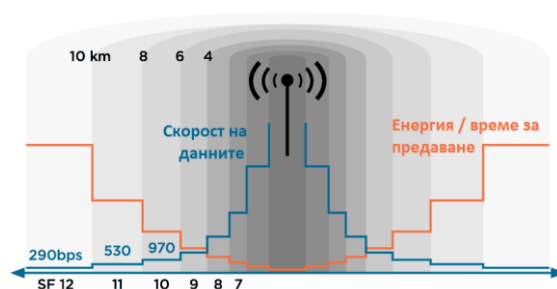
Таблица 1. Връзка между фактора на разширение и скоростта на предаване в LoRa

Профил на скоростта на предаване	Конфигурация: фактор на разширяване/ширина на честотна лента	Скорост на предаване, bits/s	Мах. обем на полезните данни, bit
DR0	SF12/125kHz	250	59
DR1	SF11/125kHz	440	59
DR2	SF10/125kHz	980	59
DR3	SF9/125kHz	1 760	123
DR4	SF8/125kHz	3 125	230
DR5	SF7/125kHz	5 470	230
DR6	SF7/250kHz	11 000	230

SF7 използва най-късо време за предаване, а SF12- най-дълго време, като всяка

стъпка на увеличаване на SF удвоява времето за предаване на едно и също количество данни. В таблица 1 са показани параметрите при различни стойности на SF за честотните ленти с централни честоти 868 MHz и 433 MHz за Европа.

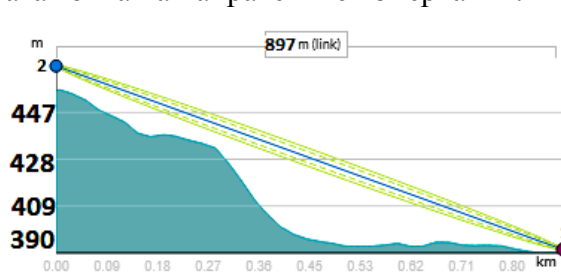
Благодарение на разширяването на спектъра чрез метода на линейната честотна модулация (Chirp Spread Spectrum – CSS), както и на различни фазово изместени честоти, радиосигналите се получават нечувствителни към интерференцията, многогълчесто разпространение и фединг.



Фиг. 4. Скорост на данните и фактор на разширение

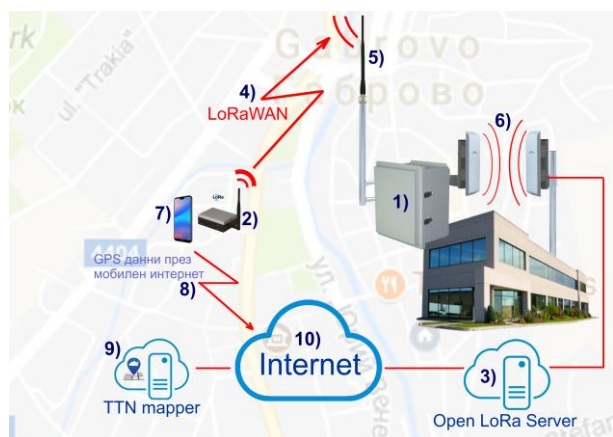
РЕЗУЛТАТИ

Планираната радиокомуникация в LoRaWAN мрежа се реализира за централната част на гр. Габрово. В тази част на града са налични множество препятствия, които могат да попречат на осъществяването на радиокомуникацията в LoRaWAN мрежата, но тъй като LoRa технологията е достатъчно усъвършенствана няма проблем да се прилага в градска среда дори и при силно застроена градска част, както и при големи разлики във височините на точката за достъп и точката, където се намира крайното устройството. На фиг. 5 е показан разрез на релефа между местоположението на LoRaWAN концентратора и най-далечната точка на направените измервания.



Фиг. 5. Първа Френелова зона между LoRaWAN концентратора (1) и най-далечната точка от покритието (2)

Схемата на експерименталната постановка е показана на фиг. 6.

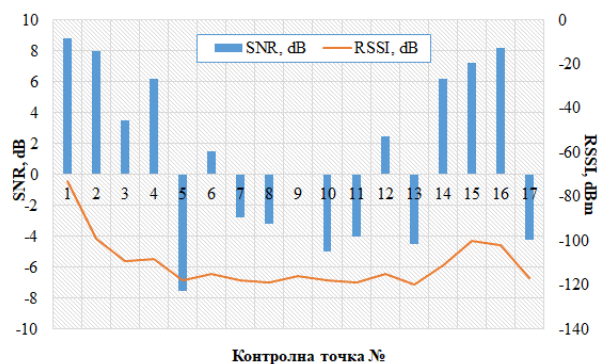


Фиг. 6. Схема на експерименталната постановка

Схемата на опитната постановка, в съответствие с идейния проект, е показана на фиг. 6 и включва следните елементи:

- 1) LoRaWAN концентратор;
- 2) LoRa крайно устройство;
- 3) Open LoRa Server – мрежови сървър, инсталиран в мрежата ба сдружение Ениуеър Оупън Сорс;
- 4) LoRaWAN мрежа;
- 5) Приемна антена на LoRaWAN концентратора за комуникация с крайните устройства;
- 6) Антени за връзка между LoRaWAN концентратора и мрежата на сдружение Ениуеър Оупън Сорс, както и за осигуряване на безжична Интернет свързаност;
- 7) Смартфон с GPS модул и инсталирано приложение TTN Mapper [9];
- 8) Мобилна интернет комуникация за връзка на смартфона към облачната услуга на TTN;
- 9) Облачна услуга на TTN за TTN Mapper;
- 10) Глобална Интернет мрежа.

Експерименталното изследване се извърши, като бе обходен маршрут в централната част на гр. Габрово. Резултатите за състоянието на параметрите RSSI (в относителни dBm) и SNR (в dB), отчетени чрез приложението TTN Mapper са показани на фиг. 7. Реализирани са 17 отчета на нивото на сигнала в различни точки от централната част на града.



Фиг. 7. Стойности на параметрите SNR и RSSI в LoRaWAN мрежата

На фиг. 8 е показан реалния регистриран обходен тестов маршрут, който е частично прехвърлен към сървъра на TTN Mapper. Това се получава заради по слабите нива на сигнала в някои от частите на обходения маршрут, като те са умишлено нерегистрирани с цел съставяне на карта на покритието само за зоните, където то е с необходимото качество.



Фиг. 8. Контролни точки засечени по маршрута

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Както вече бе споменато, LoRaWAN е технология за радиочестотна комуникация на далечни разстояния, която позволява устройствата да се свързват с Интернет директно с голям обхват и с ниска консумация на енергия. Това решава редица проблеми в сегашната екосистема „Интернет на нещата“. С дълъг живот на батерията, до 5 години, съчетан с намалена цена за поддръжка на сензорната мрежа, LoRaWAN придвижва напред всички видове нови случаи на употреба.

БЛАГОДАРНОСТИ

Този доклад и изследванията в него са реализирани по проект „Разработка и изследване на иновативни информационно-базирани модули и системи за комуникации в Интернет на нещата (IoT)”, договор 1910Е / 2020 г. към УЦНИТ при ТУ – Габрово.

REFERENCE

[1] Harris N., J. Curry, Development and Range Testing of a LoRaWAN System in an Urban Environment, World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electronics and Communication Engineering, Vol. 12, No:1, 2018, pp.47-55.

[2] Rizzi M., P. Ferrari, A. Flammini, E. Sisinni and M. Gidlund, "Using LoRa for industrial wireless networks," 2017 IEEE 13th International Workshop on Factory Communication Systems (WFCS), Trondheim, 2017, pp. 1-4. doi: 10.1109/WFCS.2017.7991972

[3] Sanchez-Iborra R, Sanchez-Gomez J, Ballesta-Viñas J, Cano M-D, Skarmeta AF. Performance Evaluation of LoRa Considering Scenario Conditions. Sensors. vol. 18(3):772, 2018.

[4] LoRa™ Modulation Basics, Wireless, Sensing & Timing Product, Application Note, AN1200.22, Rev.2 Semtech Corporation, USA, 2015.

[5] Manchev N., K. Angelov, P. Kogias and S. Sadinov, "Development of Multichannel LoRaWAN Gateway for Educational Applications in Low-Power Wireless Communications", IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET 2019), Sozopol, Bulgaria, 2019, Electronic ISBN: 978-1-7281-2574-9 (DOI: 10.1109/ET.2019.8878492).

[6] <https://lora-alliance.org/about-LoRaWAN>

[7] <https://semtech.force.com/lora>

[8] <https://www.thethingsnetwork.org/article/ground-breaking-world-record-LoRaWAN-packet-received-at-702-km-436-miles-distance>

[9] <https://ttnmapper.org/>