

**ИЗСЛЕДВАНЕ И ОЦЕНКА НА ОБХВАТА И КАЧЕСТВОТО НА
БЕЗЖИЧНО РАДИОПОКРИТИЕ В LORAWAN
КОМУНИКАЦИОННА МРЕЖА****SURVEY AND ASSESSMENT OF THE RANGE AND QUALITY OF
WIRELESS RADIO COVERAGE IN A LORAWAN
COMMUNICATION NETWORK****Assist. Prof. Nikolay Manchev**¹¹ *Technical University of Gabrovo, Bulgaria***Abstract**

This paper discusses the specifics of radio coverage planning for narrowband communication in the LoRaWAN network. This type of communication is used in the deployment of Internet of Things and Industrial Internet of Things networks in smart cities, smart factories, etc., 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 link as very reliable. In the second part of the article, based on simulation models predicting the range of wireless coverage and real measurements in the same area, the quality of the already implemented telecommunications network is evaluated.

Keywords: LoRa, LoRaWAN, LPWAN, Radio Mobile, TTN Mapper, IoT.**ВЪВЕДЕНИЕ**

Комуникационните мрежи за Интернет на нещата (IoT) добиха известност след въвеждането на IoT услуги - Интернет, WEB 2.0, “Машина към Машина” (M2M) и др. [1], [12], [19-23].

Идентификацията, отчитането, комуникацията, изчисление и семантика са IoT услуги и елементи от цялостната платформа. Основната цел на Интернет на нещата е да събира данни чрез свързване на различни обекти, основно чрез безжични комуникационни технологии. Тъй като IoT крайните устройства са по своята същност повсеместни, устройствата трябва да работят на места без постоянен източник на енергия. Те трябва да работят в големи райони, което по същество включва комуникация на големи разстояния от няколко километра в градските райони до десетки километри в селските райони. В резултат на това е необходима безжична свързаност и мрежово интегриране на крайните устройства. Има много приложения и доставчици на услуги, които днес използват IoT технологии – общите прило-

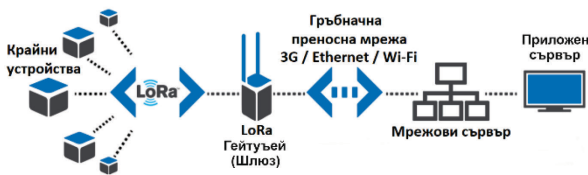
жения включват дистанционно управление, телеметрия, интелигентни градове, здравеопазване и интелигентно селско стопанство [2-4], [24], [25].

Както беше посочено по-горе, IoT устройствата са ограничени по отношение на ниска цена, ниска консумация на енергия и способност да работят в отдалечени райони. В тази връзка, този доклад представя основните стъпки на планиране и изграждане, изследване и оценка на обхвата и качеството на експериментална зона на радио покритие в LoRaWAN мрежа при честота 868MHz (Европа). Представени са резултати от симулационно и експериментално радио покритие за градска и за извънградска зона.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Комуникационната архитектура на LoRaWAN мрежа е показана на фиг. 1.

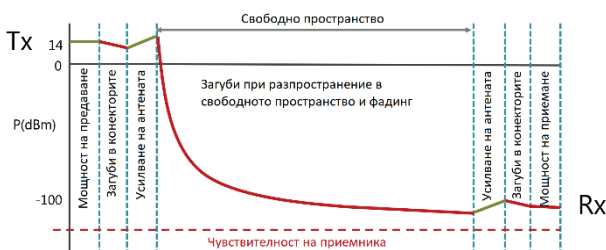
Технически, спецификацията LoRaWAN [10] включва три основни компонента, а именно физически слой (PHY), слой на връзката и мрежова архитектура.



Фиг. 1. Архитектура на LoRa мрежа

Физически слой:

Комуникацията между крайните устройства и шлюза е на честоти под 1GHz в зависимост от местните разпоредби. В този доклад разглеждаме конкретно работата в промишлената, научна и медицинска (ISM) честотна лента 868 MHz на ЕС. За тази лента спецификацията LoRaWAN позволява осем честотни канала. Шест от тях са базирани на LoRa модулация със SF между 7 и 12 и с честотна лента 125 kHz. Едната опция е базирана на честотна лента от 250 kHz и SF 7 с LoRa модулация, а осмият канал е с модулация Gaussian frequency-shift keying (GFSK) със скорост на предаване на данни 50 kbps. Модулацията LoRa се основава на схема с разширен спектър Chirp Spread Spectrum (CSS), която използва широколентови линейно честотно модулирани импулси, чиято честота намалява или се увеличава за определен период от време въз основа на кодираната информация [8]. Използването на продукт с висока честотна лента прави радиосигналите устойчиви на смущения в обхвата и извън обхвата, докато използването на достатъчно широколентови методи позволява да се подобри устойчивостта срещу многолъчево затихване [9]. Това води до максимален бюджет на връзката от около 157 dB, което позволява постигане на дълги комуникационни обхвати или намаляване на предавателната мощност, като по този начин спестява енергия на крайните устройства – фиг. 2. Използваната модулационна схема също се очаква да помогне за смекчаване на ефекта на Доплер.



Фиг. 2. Определяне на енергийния бюджет на връзката

Слой на връзката:

Протоколът MAC във версия 1.0 на спецификацията LoRaWAN [10] определя, че крайните устройства имат достъп до средата за предаване на техните пакети по чист начин Aloha. MAC слойът също дефинира три опции за планиране на слотовете за прозорец за получаване за връзка надолу, които са именувани като клас А, В и С. Крайното устройство трябва да има поддръжка за клас А, но поддръжката за класове В и С не е задължителна. Както е показано на фиг. 3, два прозореца за получаване се отварят след всяко предаване на връзка нагоре в клас А. В допълнение към двата приемни времеви слота след всеки кадър на връзка нагоре, в клас В се отваря допълнителен прозорец за получаване в планирани часове. За да има поддръжка за клас В, шлюзът периодично предава пакети за местоположение, използвайки GPS антената и приемника си за осигуряване на референтен час и поддържане на синхронизацията. Устройствата от клас С остават в режим на приемане, освен ако не предават. В този документ се разглеждат изрично крайни устройства от клас А.



Фиг. 3. Комуникационни фази на LoRaWAN устройство работещо в клас А

Мрежова архитектура:

Мрежите LoRaWAN обикновено използват топология звезда от звезди, където шлюзовете препредават съобщения с данни между крайните устройства и мрежовия сървър, както е показано на фиг. 1. Важна характеристика на технологията LoRa, наречена адаптивна скорост на предаване на данни (ADR), се намира в мрежовия сървър. ADR позволява адаптиране и оптимизиране на скоростта на данни за статичните крайни устройства. Мобилните крайни устройства трябва да използват фиксирана скорост на предаване на данни, тъй като мобилността може да причини значителни времеви вариации за характеристиките на радиоканала [10]. Въпреки това, в много мобилни приложения крайните устройства всъщност са статични през повечето време, което им

позволява да използват опцията ADR от мрежовия сървър и той да оптимизира скоростта на данни, като основаната цел е да не се губят данни. Например, ако крайно устройство, монтирано към капака на кофа за смет се премества, когато там се поставят кошчета или се изхвърля сметта, но остава статичен през останалото време. Друг важен компонент на мрежовия сървър е механизъм, използван за филтриране на излишните пакети. Тъй като технологията не използва никакъв метод за предаване, единичен пакет, предаден от крайно устройство, може да получи дублиране на пакети от няколко шлюза, всеки от които ще препрати такъв пакет към сървъра. Въпреки това, техническото решение неизбежно въвежда излишек по отношение на опорната комуникация, позволява да се елиминира сигнализирането, свързано с предаването, което води до някои икономии на енергия. Мрежовият сървър също отговаря за сигурност, диагностика и потвърждения за постъпили пакети от данни [11].

Доплеров ефект:

За обхвата и качеството на безжичното радио покритие при LoRaWAN мрежите съществено влияние оказва Доплеровия ефект.

Да приемем, че сигнал, който се предава от движещо се крайно устройство, се дава от [13]

$$s(t) = \begin{cases} A(t)\cos\left[(\omega_0 + \omega_D)t + \frac{\mu t^2}{2}\right], & -T/2 < t < T/2 \end{cases} \quad (1)$$

където A е амплитудата на сигнала, ω_0 е ъгловата носеща честота, ω_D е изместването на ъгловата честота причинено от ефекта на Доплер, t е времето, μ е скоростта на импулса и T е продължителността на импулса. Този CSS сигнал се нарича *upchirp*, когато честотата линейно нараства ($\mu > 0$) и *downchirp*, когато честотата намалява ($\mu < 0$). Изместването на честотата, дължащо се на ефекта на Доплер, води до изместване на автокорелационния пик на приемника по време. Изместването във времето може да се изчисли като ω_D/μ [13]. Ако честотата на чипване (квантуване) е голяма, изместването във времето е толкова малко, че може да се пренебрегне. Това кара CSS да работи добре

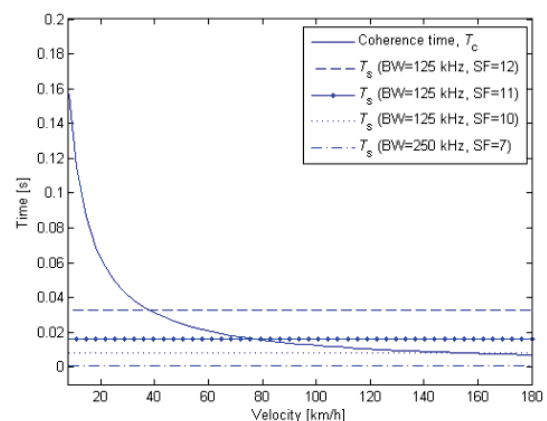
при наличие на ефект на Доплер. Въпреки това, LoRa/LoRaWAN технологията осигурява комуникационна връзка с голям обхват на покритие, но с ниска скорост на предаване на данни. Това неминуемо оказва влияние върху скоростта на тактуване. При ниска честота на предаване (863MHz), изместването във времето се увеличава, което прави получаването на пакети правилно, но доста по-трудно. Друг подход за анализиране на ефективността на технологията LoRa е да се сравни времето за кохерентност (T_c) и символно време (T_s). Времето на кохерентност е обратно пропорционално на ефекта на Доплер. (2)

$$T_c = \frac{2\pi}{\omega_D} \quad (2)$$

Ако $T_s > T_c$, възниква бързо затихване поради ефекта на Доплер, който води до изкривяване на сигнала. [14]. Продължителността на сигнала при LoRa модулацията може да се изчисли като [9]

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (3)$$

където SF(Spreading Factor) е факторът на разпространение, а BW е честотната лента. Както може да се забележи от (3), T_s се удвоява, когато SF се увеличава с единица, като се има предвид, че честотната лента не се променя.



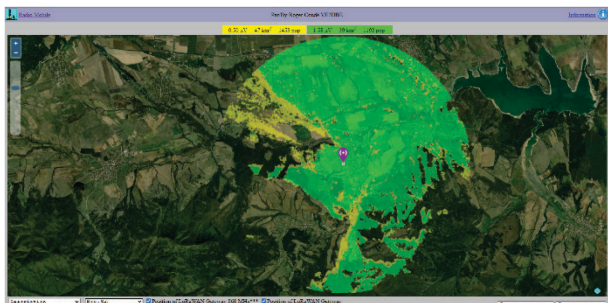
Фиг.4. Сравнение на времето на кохерентност и времето на продължителност на символ за LoRa сигнали с различни фактори на разпространение

За да се види кога настъпва бързо затихване, на фиг. 4 е показана зависимостта на кохерентното време на LoRa модулирани

символи при централна честота от 868 MHz за различни скорости, при различни SF фактори и широчина на честотната лента. Когато скоростта е под 38 km/h, T_s е по-голям от T_s с показаните SF. На 38 km/h и 76 km/h, T_s и T_s криви със SF=12 и SF=11 са съответно кръстосани. От това следва, че LoRa технологията може да изпита загуби на пакети при относително ниски скорости с тези SF. По-ниските SF могат да понесат по-високи скорости.

РЕЗУЛТАТИ

Планираното безжично покритие в LoRaWAN мрежа се реализира за централната част на гр. Павел баня. 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 устройство. На фиг. 5 е показана софтуерната симулация на радиопокритие реализирано със софтуера Radio Mobile [18] т.е това е зоната, в която шлюза ще успява да приема и предава съобщения от крайните устройства. Заложената планирана зона е с радиус 5 км. около шлюза, като в зелен цвят се оцветява сигнала със стойност в приемната страна -100dBm, а в жълт сигнал със стойност -120dBm. Като критичното ниво на чувствителност на приемника на шлюза и на крайното устройство е -139dBm.



Фиг. 5. Резултати от планираното покритие за централната част на гр. Павел баня

Това е симулационното покритие, като в него са заложени реалните радио-параметри

на шлюза и на крайното устройство, с които са направени и реални измервания с цел сравнение на симулационното с реалното радиопокритие в същата зона.

Параметри на шлюза:

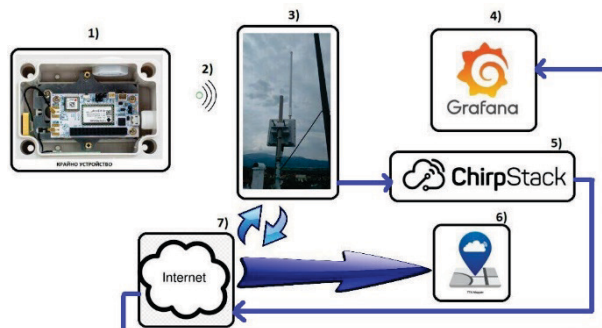
- Усилване на антената: 3dB
- Диаграма на антената: кръгова 360°
- Затихване във фидерната линия: 1,5dB
- Височина на монтаж: 12m.
- Чувствителност на приемника: 139dBm

Параметри на крайното устройство:

- Усилване на антената: 3dB
- Излъчена антенна мощност: 0.6W
- Диаграма на антената: кръгова 360°
- Височина на антената: 1m.

Според резултатите от симулационните изследвания изведени от софтуера Radio Mobile [18] радио покритието в съответната зона, спрямо релефа и надморската височина в тази точка не са проблем за покриването на 5 км. зона с радиопокритие около LoRaWAN шлюза.

На фиг. 6 е показана схемата на експерименталната постановка, изградена на територията на гр. Павел баня.



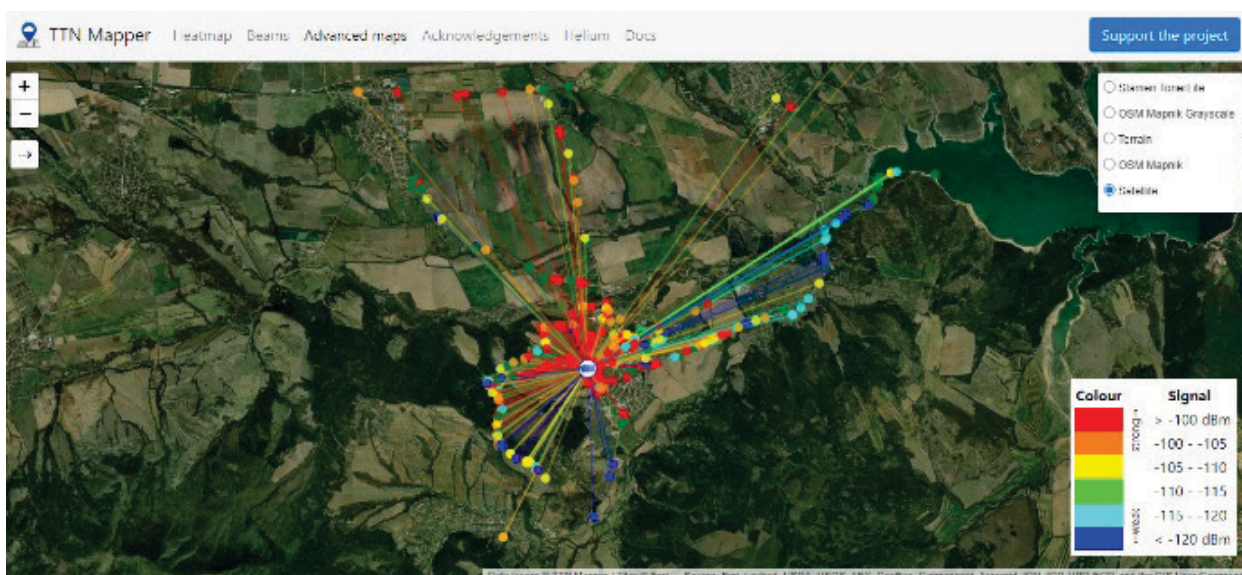
Фиг. 6. Схемата на експерименталната постановка

Схемата на експерименталната постановка включва в себе си следните елементи:

- 1) Крайно устройство;
- 2) LoRaWAN трафик;
- 3) LoRaWAN Шлюз;
- 4) Уеб платформа за визуализация [16];
- 5) LoRaWAN мрежови сървър с отворен код [17];
- 6) Облачна услуга на TTN за TTN Mapper [15];
- 7) Глобална Интернет Мрежа;



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



Фиг. 8. Контролни точки засечени по маршрута

Експерименталното изследване се извърши, като бе обходен маршрут в централната част на гр. Павел баня. Резултатите за състоянието на параметрите RSSI (в относителни dBm) и SNR (в dB), отчетени чрез директно извличане на данните и визуализацията им в платформата Grafana [16] и те са показани на фиг. 7. Реализирани са голям брой отчети на нивото на сигнала в различни точки от централната и крайната част на града.

На фиг. 8 е показана карта на направените практически измервания в същата зона, като те практически потвърждават симулационните изследвания за тази точка. От което следва, че софтуера Radio Mobile[18] е подходящ за планиране на радиопокрытие при LoRaWAN мрежи, стига да се знаят точно

затихванията във фидерната линия на приемника съответно и на предавателя, също излъчената мощност на крайното устройство, и типа използвани антени при двете устройства.

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“, „Индуриален Интернет на Нещата“ и „Industry 4.0“. 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 „Синтез на интелигентни системи за разпознаване на обекти в информационно-комуникационни структури”, договор 2208Е / 2022г. към УЦНИТ при ТУ – Габрово.

REFERENCE

- [1] R. Sanchez-Iborra and M.-D. Cano, “State of the art in LP-WAN solutions for industrial IoT services,” *Sensors*, vol. 16, no. 5, p. 708, May 2016.
- [2] 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 Commun.*, vol. 23, no. 5, pp. 60–67, Oct. 2016.
- [3] D. Chaves-Diéguez, A. Pellitero-Rivero, D. García-Coego, F. González-Castaño, P. Rodríguez-Hernández, Ó. Piñeiro-Gómez, F. Gil-Castiñeira, and E. Costa-Montenegro, “Providing IoT services in smart cities through dynamic augmented reality markers,” *Sensors*, vol. 15, no. 7, pp. 16083–16104, Jul. 2015.
- [4] G. Margelis, R. Piechocki, D. Kaleshi, and P. Thomas, “Low throughput networks for the IoT: Lessons learned from industrial implementations,” in *Proc. IEEE 2nd World Forum Internet Things (WF-IoT)*, Dec. 2015, pp. 181–186.
- [5] J. Petäjälä, K. Mikhaylov, M. Hämäläinen, and J. Iinatti, “Evaluation of LoRa LPWAN technology for remote health and wellbeing monitoring,” in *Proc. 10th Int. Symp. Med. Inf. Commun. Technol. (ISMICT)*, 2016, pp. 1–5.
- [6] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, “Internet of Things for smart cities,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–32, Feb. 2014.
- [7] D. H. Kim, J. B. Park, J. H. Shin, and J. D. Kim, “Design and implementation of object tracking system based on LoRa,” in *Proc. Int. Conf. Inf. Netw. (ICOIN)*, Jan. 2017, pp. 463–467.
- [8] Semtech. SX1272/3/6/7/8 LoRa modem design guide, AN1200.13, Revision 1. July 2013.
- [9] Semtech. LoRa modulation basics, AN1200.13, Revision 1. January 2015
- [10] Semtech. LoRaWAN specification v1.0. January 2015.
- [11] LoRa Alliance. A technical overview of LoRa and LoRaWAN, White paper, November 2015.
- [12] L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi, “Long-range IoT technologies: The dawn of LoRa,” in *Future Access Enablers for Ubiquitous and Intelligent Infrastructures*, V. Atanasovski and A. Leon-Garcia, Eds. Cham, Switzerland: Springer, 2015, pp. 51–58.
- [13] Zhang P., Liu H. An ultra-wide band system with chirp spread spectrum transmission technique. In: *Intelligent Transportation Systems Telecommunications*, 2006, pp.294-297.
- [14] Rappaport T. S. Mobile radio propagation: Small-scale fading and multipath. In: *Wireless Communications – Principles and Practice*. IEEE Press, USA, 1996, pp. 139 – 196
- [15] <https://ttnmapper.org/>
- [16] <https://grafana.com/>
- [17] <https://www.chirpstack.io/>
- [18] <http://www.ve2dbe.com/english1.html>
- [19] J. Butler, E. Pietrosemoli, M. Zennaro, C. Fonda, S. Okay, and C. Aichele, *Wireless Networking in the Developing World*, 3rd ed. Copenhagen, Denmark: BookSprint, 2013.
- [20] L. Krupka, L. Vojtech, and M. Neruda, “The issue of LPWAN technology coexistence in IoT environment,” in *Proc. 17th Int. Conf. Mechatronics 890 Mechatronika (ME)*, Dec. 2016, pp. 1–8.
- [21] K. Benson, C. Fracchia, G. Wang, Q. Zhu, S. Almomen, J. Cohn, L. D’arcy, D. Hoffman, M. Makai, J. Stamatakis, and N. Venkatasubramanian, “SCALE: Safe community awareness and alerting leveraging the Internet of Things,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 12, pp. 27–34, Dec. 2015.
- [22] Z. D. R. Gnimpieba, A. Nait-Sidi-Moh, D. Durand, and J. Fortin, “Using Internet of Things technologies for a collaborative supply chain: Application to tracking of pallets and containers,” *Proc. Comput. Sci.*, vol. 56, pp. 550–557, Jan. 2015.
- [23] A. Ali, G. A. Shah, and J. Arshad, “Energy efficient techniques for 902 M2M communication: A survey,” *J. Netw. Comput. Appl.*, vol. 68, pp. 42–55, Jun. 2016.
- [24] M. Blackstock and R. Lea, “IoT interoperability: A hub-based approach,” in *Proc. Int. Conf. Internet Things (IoT)*, Oct. 2014, pp. 79–84.
- [25] C. Goursaud and J. M. Gorce, “Dedicated networks for IoT: PHY/MAC 908 state of the art and challenges,” *EAI Endorsed Trans. Internet of Things*, vol. 1, no. 1, Oct. 2015, Art. no. 150597.