

СИМУЛАЦИОННА СРЕДА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА LORAWAN ТЕХНОЛОГИЯ

Диян Динев¹, Калоян Генов¹

¹ Технически университет – Варна, България

SIMULATION ENVIRONMENT FOR STUDY OF LORAWAN TECHNOLOGY

Diyan Dinev¹, Kaloyan Genov¹

¹ Technical University of Varna, Bulgaria
diyandinev@tu-varna.bg

Abstract

LoRaWan is a long-range, low-power, low-bitrate wireless telecommunications system that is being marketed as an infrastructure solution for the Internet of Things: LoRaWan end-devices communicates with gateway-terminal(s) connected to the Internet that act as transparent bridges and transport communications between these end-devices and a central network server over a single wireless hop. In this paper, simulation software for identifying the best route in LoRaWan networks is presented. To analyze and improve QoS parameters in LoRaWan networks, the implemented methods for determining the optimum route between end devices and simulating mobility are employed.

Keywords: Best Route, Handover, IoT, LoRaWan, Simulation, Wireless Sensor Network

ВЪВЕДЕНИЕ

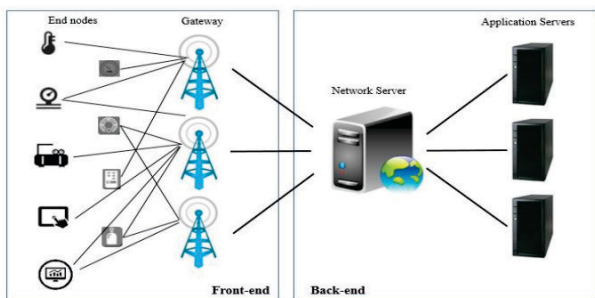
През последните години се наблюдава бързо развитие на 4G и 5G технологиите, които осигуряват надеждна и високоскоростна комуникационна среда за предаване на информация. В същото време, поради нарастващата концепция за „Свързан свят“ чрез Internet of Things IoT, използването на обикновени и клетъчни технологии се разширява [1] за постигане на свързан свят, който има за цел да улесни ежедневието на хората чрез възможността за съхраняване и обмен на данни между устройства, свързани в голям брой интелигентни обекти. IoT приложенията имат множество области на приложение, като интеграция в интелигентни домове и градове, индустриален Интернет, автомобилна индустрия, здравеопазване [2]. Има различни видове устройства за приложение на IoT, като например за наблюдение на данни за околната среда в реално време, като влажност, температура,

движение, местоположение и т.н., за да реагират бързо и да отстранят различни проблеми. Важен аспект на IoT е възможността за реализиране на мобилност, проследяване на подвижни сензори и събиране на данни за мобилност. Проследяването на мобилността може да допринесе за подобряване на всекидневния живот, за защита на живота на хора и застрашени животински видове, за опазване на околната среда, за подпомагане на работата на животновъдите и др. [3,4].

Една от най-новите и бързо развиващи се технологии за Интернет на обекти е LoRaWan. Понастоящем технологията се изследва за внедряване на индустриални безжични мрежи, подходящи за сензори и задвижвания от ерата на индустрията. В този доклад е представена симулационна среда за реализиране на мобилност и намиране на най-кратък път в LoRaWan мрежи.

ТЕХНОЛОГИЯ LORAWAN

Поради разликата между клетъчни мрежи - като GSM, UMTS и LTE и мрежи с малък обхват - като Wi-Fi, Bluetooth и ZigBee, нараства необходимостта от проектиране на low-power wide-area network (LPWAN) технологии, за да се запълни тази празнина и да се постигнат изискванията на IoT устройствата и приложенията. Въпреки че IoT включват много устройства, за чието функциониране са нужни батерии с дълъг живот, но чрез LPWAN може да се подобри ефективността на IoT устройствата, тъй като има евтини приемо-предаватели с ниска мощност, които могат да работят дълго време [5]. Протоколът LoRaWAN е категория в LPWAN мрежите, където чрез него за осъществяване на двупосочна комуникация се използват устройства с дълъг живот на батерията [6]. Спецификацията на LoRaWAN потвърждава перфектната интеграция между IoT обектите, без да е необходимо изграждането на сложни локални инфраструктури.



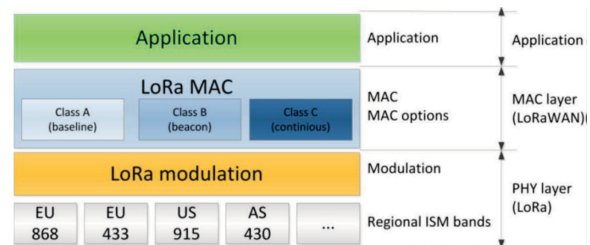
Фиг. 1. Архитектура на LoraWan

Фиг. 1 илюстрира архитектура на LoRaWAN, която може да бъде разделена на две части – front-end и back-end [6]. Front-end частта съдържа два типа елементи – шлюзове (GW) и крайни възли (крайни устройства). Докато back-end частта съдържа мрежовите сървъри, които отговарят за проверка на сигурността, съхраняване на получената информация, филтриране на повтарящи се пакети и планиране на потвърждения през шлюза [7]. Крайните възли комуникират с мрежовия сървър (или сървър за данни) чрез GW (Gateway) и комуникацията от възел към GW може да бъде или LoRa или FSK (Frequency-shift keying) модулация с различни скорости на предаване на данни и канали. Мрежовите сървъри упра-

вляват GW чрез стандартна IP технология и изпращане на даннови фреймове през крайни възли, получени от GW и насочени през мрежовия сървър [7].

LoRaWAN технологията е насочена към IoT, Machine to machine (M2M) и смарт системи в контраст на безжичните локални технологии (WLAN), които се стремят да бъдат използвани за потребителски Интернет приложения.

LoRa първоначално е патентован стандарт на компанията Semtech, който използва нелицензираните радиочестотни ленти (ISM) (169 MHz, 433 MHz, 868 MHz в Европа и 915 MHz в Северна Америка), представени на фиг. 2.



Фиг. 2. Архитектура на LoraWan

LoRa обхваща физическия слой и комуникационния протокол, изграден върху LoRa физически слой. Комуникационният слой е покрит с LoRaWAN комуникационен протокол с отворен код, дефиниран от консорциума на LoRa Alliance [7]. LoRaWAN определя комуникационния протокол и системна архитектура за мрежата, докато физическият слой LoRa позволява комуникацията.

Обхватът на LoRaWAN мрежите може да бъде голям и зависи най-вече от околната среда като може да достига над 10 км в селските райони, а според различни източници и много повече.

LoRaWAN е протокол за MAC (Media Access Control) слой и има за цел да реши управленски въпроси на носителя и задръстване на мрежата. Всеки възел, използващ LoRaWAN протокол, може да се възползва от следните предоставени функции по стандарта [7]:

- Управление на канали;
- Енергийна ефективност;
- Адаптивна скорост на предаване на данни;
- Сигурност;

- Геолокация без GPS;
- Референтни слоеве на OSI;

Многослойният мрежов дизайн осигурява безпроблемна комуникация между различни мрежови елементи.

СИМУЛАЦИОННА СРЕДА НА LORAWAN ТЕХНОЛОГИЯ

Изборът на подходящи технологии е от ключова важност при проектиране, разработване и поддържане на дадено приложение, за да може работата на програмиста да бъде улеснена и програмата да бъде развивана дълги години. Симулаторът е разработен с технологиите C#, Apache, MySQL и среда за разработване Microsoft Visual Studio. Той има модулна архитектура (Фиг. 3) и се състои от следните блокове:

- Графичен потребителски интерфейс (GUI) - Включва лесен и интуитивен интерфейс, чрез който могат да се контролират внедрените функционалности.

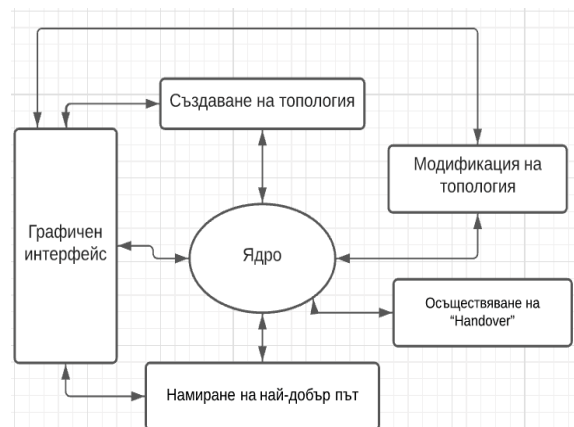
- Ядро - Основният блок в системата, който осъществява всички операции за създаване или модифициране на топологията; Намиране на най- добрия път между крайните устройства.

- Създаване на топология - ключов блок, използван за създаване на нова топология, съставена от терминални устройства и свързаните с тях крайни устройства. Параметрите за всяко от крайните устройства трябва да бъдат определени; информация за крайните устройства, свързани към всеки терминал; създаване на връзки между терминални устройства.

- Модификация на топология – Позволява редактиране на вече създадена топология чрез осигуряване на възможност за промяна на различните параметри на всяко от устройствата, въведени в топологията.

- Намиране на най-добър път между крайните устройства – с помощта на "Depth First Search" и "Hassle FreeRoute Algorithms" може да се намери най-добрият маршрут между крайните устройства.

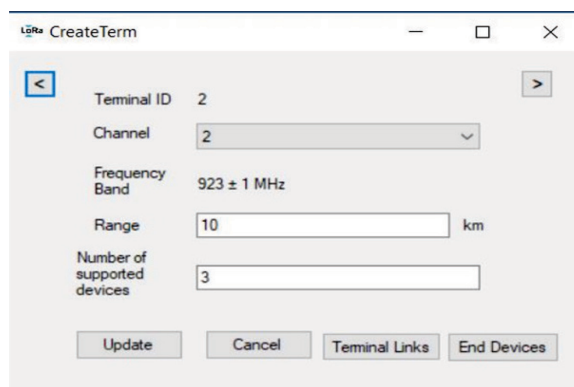
- Осъществяване на "Handover"- с помощта на този блок се осъществява прехвърлянето на мобилните крайни устройства към новите терминални устройства, отговарящи на техните нужди в зависимост от посоката им на движение.



Фиг. 3. Архитектура на LoRaWan симулатор

ПОТРЕБИТЕЛСКИ ИНТЕРФЕЙС НА СИМУЛАТОРА

При стартиране на програмата се зарежда прозорецът за конфигуриране на всички терминални устройства при създаване на нова топология или при редактиране на съществуваща вече такава. Трябва да се избере „Channel” за работа, да се зададе обхват на терминала (в km) и максимален брой на свързаните крайни устройства. (Фиг. 4)

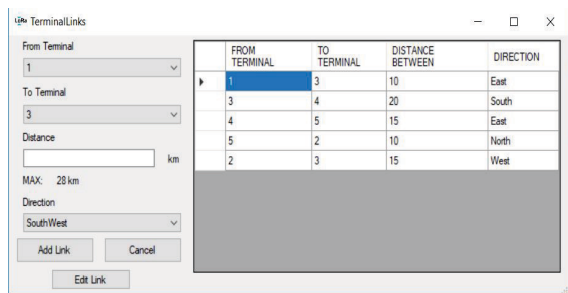


Фиг. 4. Начален прозорец на симулатора

Първата стъпка за създаване на мрежова топология е добавяне на информация за всички терминални устройства. Трябва да се подаде обхвата на терминала (в km) и брой на максимално свързаните крайни устройства въз основа на спецификациите LoRaWan за параметрите на физическия слой, обхвата и класовете устройства, скоростта на данните, сигурността т.н.[8, 9]. Добавена е и възможност за редактиране на вече съществуващи в мрежата терминални устройства. Това става чрез бутона "Update".

Следваща стъпка от създаването на топология е да се направят връзките между свързаните терминални устройства. На

Фиг.5 е представен панелът за конфигуриране на връзката. За да се попълни информацията за конфигурираните съседи, всяка връзка трябва да бъде обявена с "Разстояние" между терминалите и посоката на съседство. Панелът също така може да се използва за редактиране на връзки.



Фиг. 6. Конфигуриране на LoRaWan връзки между съседни терминали

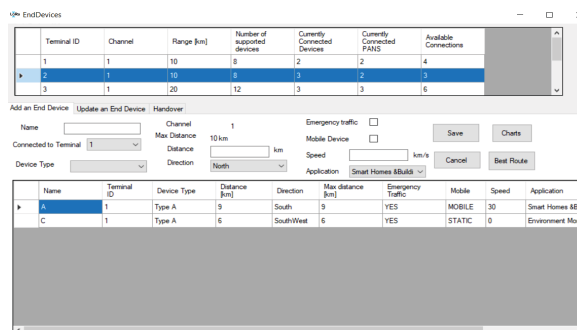
След конфигуриране на връзките между терминалите трябва да се добави информация за "крайни устройства".

На Фиг. 7 е показан прозорецът "Крайни устройства", който позволява добавянето на нови, промяната и изтриването на вече добавени крайни устройства. Той е разделен на две основни части: таблица (в горната част), в която се извеждат съществуващите Terminal мрежи с техните характеристики, като динамично се пресмятат текущият брой свързани устройства и броят на свободни връзки за нови устройства; табовете за създаване, промяна и изтриване на устройство, както и таб, в който може да се симулира мобилност на крайните устройства между отделните клетки за достъп на мрежата – Handover.

Информацията която трябва да се добави за ново крайно устройство е: Име на крайното устройство; Терминално устройство, към което е свързан; Тип на крайното устройство; Разстоянието до терминалното устройство; Посока на крайното устройство; Изисква ли спешен трафик; Мобилно ли е крайното устройство. Устройството приема стойност „Static“ ,ако опцията не е селектирана.; Скорост на крайното устройство. Това поле е активно само при селектиране на опцията за мобилно устройство (стойността по подразбиране е нула); Област на приложение на крайното устройство.

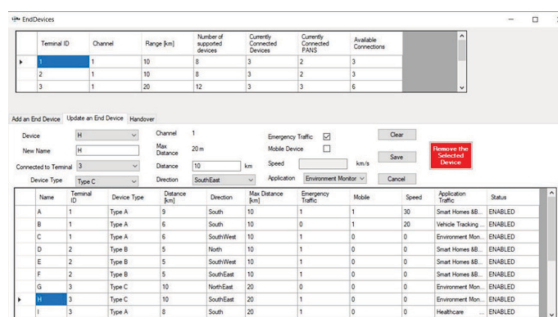
В този таб на формата също се намират и бутони за:

- бутон "Save" – проверява се дали всички необходими характеристики са въведени и в случай че да – устройството се добавя в базата данни;
- бутон "Best Route" – за отваряне на форма, симулираща откриването на „най-предпочитан“ маршрут в мрежата между две точки;
- бутон Charts – за отваряне на форма, предоставяща визуални статистики за реализираните прехвърляния в мрежата и информация за изпращаните пакети;
- бутон "Cancel" – за затваряне на текущия прозорец.



Фиг. 7. Конфигурация на крайни устройства

В таба за редактиране и изтриване на крайни устройства потребителят (Фиг. 8) може да избере устройство от вече съществуващите и да промени част или всички негови характеристики. При необходимост съответното устройство може да бъде изтрито.

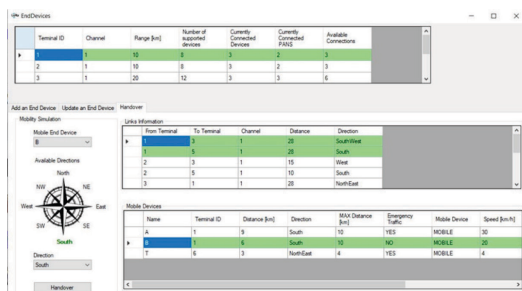


Фиг. 8. Функционалност редактиране на крайни устройства

С подменюто „Handover“ се осъществява мобилността между съседните терминални устройства. На Фиг. 9 е показан прозорецът „Симулация на мобилност“, който позволява извършване на мобилност на крайни

мобилни устройства от един към друг възможен Терминал. Той е разделен на следните части:

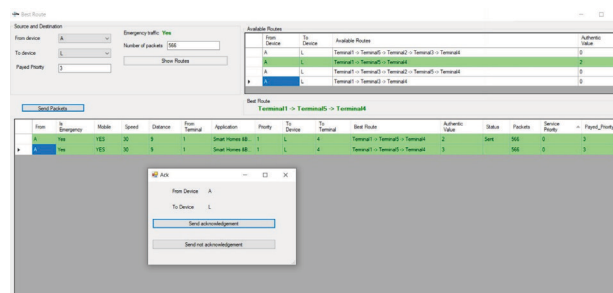
- таблица (в горната част), в която се извеждат съществуващите Terminal мрежи с техните характеристики;
- таблица (в средната дясна част), в която се извеждат всички създадени връзки между терминалите и техните;
- таблица (в долната дясна част), в която се извеждат всички въведени крайни мобилни устройства и техните характеристики;
- част „Симулация на мобилност“, която се състои от следните елементи:
 - а) Mobile end device - падащо меню за избор на устройството, което ще извършва мобилност. При избор на устройство то се оцветява в зелено в таблицата с всички мобилни крайни устройства, неговата мрежа се оцветява в зелено в таблицата, съдържаща информация за всички мрежи, възможните посоки за движение се оцветяват в зелено в таблицата с всички създадени връзки, както и на компаса „Available directions“;
 - б) Available directions – след избор на устройство от падащото меню, възможните посоки за движение се оцветяват в зелено;
 - в) Direction – падащо меню за избор на посоката от възможните такива;
 - г) бутон „Handover“ – след избор на устройство и посока, при натискане на бутона се изчислява времето и разстоянието на движение на мобилното устройство преди започване на процедура за мобилност. След преминаване на средата на припокриващата се област между съседните координатори процедурата се задейства и данните се прехвърлят на новия GW- терминал.



Фиг. 9. Функционалност за мобилност

След като бъде въведена информация за всички свързани крайни устройства и се избере бутон "Best route" се отваря нов диа-

логов прозорец за изпращане на пакети между крайните устройства (Фиг. 10).



Фиг. 10. Функционалност редактиране на крайни устройства

За да се симулира обмен на информация, трябва да бъде избрано между кои крайни устройства и какъв брой пакети ще се изпратят. След въвеждане на тези данни и избиране на бутона "Show Routes", в горен десен ъгъл се визуализират всички възможни маршрути между тези устройства, а най-краткият от тях първоначално се избира като най-добър. Това е така само ако не са извършвани предишни „оценявания“ на пътищата между тези две устройства. В долната част на прозореца се визуализира панел с информация за всички пакети, които очакват да бъдат изпратени.

При натискане на бутона „Sent Packets“ се отваря нов диалогов прозорец за симулация „Acknowledgement“ сигнал, където се вижда информация за това, между кои две устройства трябва да се осъществи комуникация. Има възможност за два сценария.

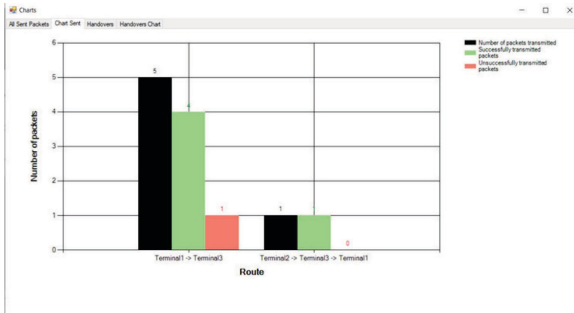
Първият сценарий е за потвърждение на получаването на пакетите. При потвърждение от страна на второто крайно устройство, статусът на пакета се променя на „Sent“, като „Authentic value“ на първоначалния път се увеличава с „1“ и заявката се записва в базата от данни.

Вторият сценарий е при неуспешно получаване на пакетите. В този случай „Authentic value“ на пътя става „-1“, при което алгоритъмът търси следващият най-кратък път и опита да изпрати пакета по него. При успешно предаване вторият маршрут увеличава своята „Authentic value“ стойност и се превръща в предпочитан надежден път. Ако има проблем с „надеждния път“ и пакетът не се изпрати по него, системата опита пак по най-краткия, ако отново няма „Acknowledgement“ сигнал, опита по

следващия възможен от списъка и т. н.

Чрез натискане на бутон „Charts” се извежда нов диалогов прозорец съставен от четири подтаба включващи:

- Таб “All Sent Packets” – предоставя информация за всички изпратени пакети между отделните крайни устройства
- Таб „Chart Sent” – предоставящ нагледна графична визуализация за броя на успешно и неуспешно получени трансакции по отделните „пътища“ (Фиг. 11)



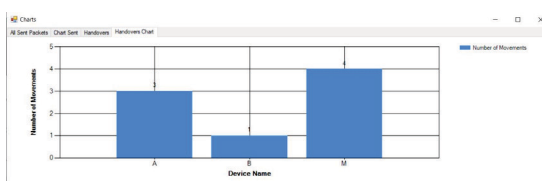
Фиг. 11. „Chart Sent”

- Таб „Handovers” – съдържащ информация за всички успешни прехвърляния между отделните точки за достъп, като е представена информация за устройството, началното и крайното му местоположение, посока на движение, разстояние и др.(Фиг. 12)

Device name	Movement direction	From Terminal (T1)	Distance to T1 coordinator (m)	Direction from T1 coordinator	Status at T1	Distance for moving before handover (m)	Time for moving before handover (s)	To Terminal (T2)	Distance to T2 coordinator (m)	Direction from T2 coordinator
A	South	1	10	North	ENABLED	10	?	5	10	North
A	South	1	10	North	ENABLED	10	9	5	10	North
A	North	5	10	North	ENABLED	10	3	1	10	South
B	South	1	6	South	ENABLED	10	1	5	10	North
M	North	5	5	North	ENABLED	10	1	1	10	South
M	SouthWest	1	10	South	ENABLED	10	1	3	10	South
M	South	3	10	South	ENABLED	20	1	4	0	North
M	East	4	0	North	ENABLED	20	0	5	0	Northwest

Фиг. 12. Информация за всички направени прехвърляния

- Таб „Handover Charts” – съдържа визуално представяне на броя мобилности осъществени от всяко крайно устройство (Фиг. 13).



Фиг. 8. Брой осъществени мобилности за крайно устройство

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Този доклад предлага софтуер за симулация, който позволява създаването, редактирането на мрежови топологии на LoRaWan, осъществяването на прехвърляния между отделните точки за достъп и намирането на „най - добрия маршрут“ между крайните устройства. В този софтуер са реализирани „Depth First Search” и „Hassle Free Route“ алгоритми за търсене на маршрути между всички свързани устройства в мрежата. Разработеният симулатор позволява извеждането на статистически данни за главните и подчинените устройства, което показва, че е подходящ за обучителни цели за всякакъв вид обучение – присъствен или онлайн.

ПРИЗНАТЕЛНОСТ

Изследванията, резултатите от които са представени в настоящия доклад, са проведени по научен проект на ТУ-Варна „Интегриране на виртуализационни и мрежови технологии за целите на дистанционно обучение в условията на covid-19“, който се финансира от държавния бюджет.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ericsson Mobility Report (June 2021), <https://www.ericsson.com/en/mobility-report>, Дата на последно посещаване 22.09.2021.
- [2] N. Andrade, G. Guimaraes, H. Dornelas, P. Toledo, H. Klimach and S. Bampi, "Low power IEEE 802.11ah receiver system-level design aiming for IoT applications," 2017 30th Symposium on Integrated Circuits and Systems Design (SBCCI), 2017, pp. 11-16.
- [3] Deloitte. IoT Innovation Report. 2018. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/Innovation/Internet-of-Things-Innovation-Report-2018-Deloitte.pdf> . Дата на последно посещаване 12.09.2021
- [4] T. Nakashima, “Creating credit by making use of mobility with FinTech and IoT”, IATSS Research, Volume 42, Issue 2, July 2018
- [5] N. Blenn and F. Kuipers, “LoRaWAN in the Wild: Measurements from The Things Network”, arXiv preprint arXiv:1706.03086, June 2017
- [6] Lavric and V. Popa, “Internet of things and lora; low-power widearea

- [7] S. Persia, C. Carciofi and M. Faccioli, "NB-IoT and LoRA connectivity analysis for M2M/IoT smart grids applications," 2017 AEIT International Annual Conference, Cagliari, Italy, 2017
- [8] F. Adelantado, X. Vilajosana, "Understanding the Limits of LoRaWAN," IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 9, pp. 34-40, Sept. 2017, doi: 10.1109/MCOM.2017.1600613.