

Protokol pre komunikáciu medzi uzlami siete LoRa

LoRa-Based Protocol for Peer-to-Peer Long-Range Communication

Matúš Ozaniak

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Ing. Michal Krumnikl, Ph.D.

Ostrava, 2022

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Matúš Ozaniak

Studijní program:

N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma:

Protokol pro komunikaci mezi uzly sítě LoRa
LoRa-Based Protocol for Peer-to-Peer Long-Range Communication

Jazyk vypracování:

slovenština

Zásady pro vypracování:

Navrhněte a implementujte komunikační protokol pro výměnu dat mezi stanicemi bez nutnosti existence centrálních uzlů. Protokol bude umožňovat zabezpečený přenos dat pomocí technologie LoRa. Součástí řešení bude realizace dvou bran s Ethernetovým nebo WiFi rozhraním demonstrující funkce navrženého řešení.

1. Proveďte rešerši v oblasti dostupných LoRa modulů a způsobu přenosu dat.
2. Srovnajte implementace protokolů peer-to-peer sítí realizovaných pomocí technologie LoRa.
3. Implementujte vlastní algoritmus na zvolené platformě (např. ESP32, Raspberry Pi).
4. Vytvořte vhodné rozhraní pro obsluhu a konfiguraci uzlů sítě (např. skrz webové rozhraní).
5. Navržené řešení otestujte a vyhodnoťte parametry sítě (propustnost, latence).

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] BERTO Riccardo, NAPOLETANO Paolo, SAVI Marco. A LoRa-based mesh network for peer-to-peer long-range communication. In: Sensors 21, no. 13 (2021): 4314.
- [2] SLABICKI Mariusz, PREMSANKAR Gopika, DI FRANCESCO, Mario. Adaptive configuration of LoRa networks for dense IoT deployments. In: NOMS 2018-2018 IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium. IEEE, (2018): 1-9.
- [3] UMBER Noreen, BOUNCEUER AHCÈNE, CLAVIER Laurent. A study of LoRa low power and wide area network technology. In: International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP). IEEE, (2017).
- [4] HANES, D. IOT fundamentals: networking technologies, protocols, and use cases for the internet of things. 3rd edition. Indianapolis, In: Cisco Press, (2017). ISBN 978-1-58714-456-1.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Mgr. Ing. Michal Krumnikl, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2022

Datum odevzdání: 30.04.2023

Garant studijního oboru: prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.

V IS EDISON zadáno: 07.11.2022 11:59:22

Abstrakt

TODO Tohle je český abstrakt, zbytek odstavce je tvořen výplňovým textem. Naší si rozmachu potřebami s posílat v poskytnout ty má plot. Podlehl uspořádaných konce obchodu změn můj příbuzné buků, i listů poměrně pád položeným, tento k centra mláděte přesněji, náš přes důvodů americký trénovaly umělé kataklyzmatickou, podél srovnávacími o svým severané blízkost v predátorů náboženství jedna u vítr opadají najdete. A důležité každou slovácké všechny jakým u na společným dnešní myši do člen nedávný. Zjistí hází vymíráním výborná.

Klíčová slova

LoRa; Mesh; diplomová práce

Abstract

TODO This is English abstract. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Fusce tellus odio, dapibus id fermentum quis, suscipit id erat. Aenean placerat. Vivamus ac leo pretium faucibus. Duis risus. Fusce consectetur risus a nunc. Duis ante orci, molestie vitae vehicula venenatis, tincidunt ac pede. Aliquam erat volutpat. Donec vitae arcu. Nullam lectus justo, vulputate eget mollis sed, tempor sed magna. Curabitur ligula sapien, pulvinar a vestibulum quis, facilisis vel sapien. Vestibulum fermentum tortor id mi. Etiam bibendum elit eget erat. Pellentesque pretium lectus id turpis. Nulla quis diam.

Keywords

typography; L^AT_EX; master thesis

Poděkování

TODO podakovanie

Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek	7
Seznam tabulek	8
1 TOOD Dostupné LoRa moduly a spôsob prenosu dát	9
1.1 SX127x/SX126x	10
1.2 RFM9xW	11
2 TODO Porovnanie existujucich rieseni	12
2.1 Lora mesher	12
2.2 Meshtastic	12
2.3 LoRaBlink	13
3 TODO Vlastna implementacia	14
4 TODO Testovanie vykonnosti + test voci existujucim protokolom?	15
Literatura	16

Seznam použitých zkratek a symbolů

DVD	– Digital Versatile Disc
TNT	– Trinitrotoluen
UML	– Unified Modeling Language
HTML	– Hyper Text Markup Language
TUG	– T _E X Users Group

Seznam tabulek

1.1	Parametre LoRa modulov	11
-----	----------------------------------	----

Kapitola 1

TOOD Dostupné LoRa moduly a spôsob prenosu dát

LoRa je proprietárna rádiová komunikačná technika. Používa bezlicenčné rádiové pásma, ktoré sú odlišné medzi Európou, Amerikou a Áziou a poskytuje rádiový prenos na veľkú vzdialenosť s nízkou spotrebou energie. V otvorenom priestranstve môže mať rádiový prenos dosah až 10-15 km. Vďaka tomu je vhodná pre použitie v IoT alebo senzorových sieťach, kde sa často vyskytujú senzory poháňané batériami a je potrebné aby vydržali dlhú dobu.

Na prenos je použitá proprietárna spread-spectrum modulácia odvodená od chirp spread-spectrum modulácie, pri ktorej sú vysielané symboly a každý vysielaný symbol je reprezentovaný takzvaným chirpom. Tento chirp sa postupne posúva po intervale vo frekvenčnom pásme, ktoré je dané vybraným bandwidth-om. Ako rýchlo sa chirp posúva po frekvenčnom pásme je určené parametrom spreading factor (SF). Spreading factor taktiež vyjadruje, koľko bitov je v každom symbole prenesených. Pri nižšom spreading factor sa chirp posúva po frekvenčnom pásme rýchlejšie a tým sa zvyšuje datový prenos, avšak zhoršuje sa citlivosť a dosah.

TODO obrazok porovnania spreading factorov

Pri používaní LoRa je nutné správne zvoliť parametre prenosu. Sú nimi frekvencia, bandwidth, spreading factor a coding rate. Použitá frekvencia je závislá od regiónu, v ktorom sa používa. V Európe sa používa 868 MHz, v USA 915 MHz a v Ázii 923 MHz. Okrem toho existuje ešte globálne používaná frekvencia 2.4 GHz.

Ostatné parametre sú vybrané na základe toho ako ďaleko a ako rýchlo je potrebné dáta prenášať. Je nutné zvoliť vhodný kompromis medzi rýchlosťou prenosu a dosahom. Pomocou LoRa dokážeme dáta prenášať rýchlosťou až 253 kbit/s, avšak pri takýchto rýchlostiach sa dramaticky zníži dosah. Parameter bandwidth určuje šírku pásma, v ktorom sa bude chirp posúvať. Pri vyššom bandwidth sa zvyšuje rýchlosť prenosu, avšak zníži sa dosah.

Spreading factor určuje koľko bitov je v každom symbole. Zároveň určuje ako rýchlo sa chirp posúva po frekvenčnom pásme a tým pádom zvyšuje alebo znižuje rýchlosť prenosu na úkor zníženia

alebo zvýšenia dosahu prenosu. LoRa obsahuje korekciu errorov spôsobených rušením. Parameter coding rate vyjadruje pomer dát ku error-correcting dátam. Vyšší coding rate zabezpečí spoľahlivejší prenos ak sa nachádzame v rušivom prostredí, ale zníži rýchlosť prenosu dát pretože ku každému prenášanému packetu pridáva viacej dát.

1.0.1 LoRaWAN

LoRa je definovaná len na fyzickej vrstve. Na používanie LoRa v IoT sieťach sú však potrebné aj vyššie vrstvy sieťového modelu. K tomu vznikol protokol LoRaWAN, ktorý je spravovaný organizáciou LoRa Alliance [1].

LoRaWAN definuje komunikačný protokol a architektúru siete, ktoré LoRaWAN používajú. Siete používajú hviezdicovú alebo hviezda hviezd topológiu, kde centrálnym uzlom je LoRaWAN gateway, ktorá je pripojená k internetu. Ostatné uzly siete posielajú dáta na gateway, ktorá ich preposiela na internet.

1.1 SX127x/SX126x

1.1.1 SX127x

Výrobca Semtech [2], prináša LoRa modemy série SX127x a SX126x.

SX127x LoRa moduly používajú frequency hopping spread-spectrum moduláciu. Čo znamená, že viaceré vysielané signály zaberajú rovnaký kanál, ktorý má vysokú ochranu proti rušeniu a zároveň majú nízku spotrebu energie.

Moduly používajú LoRa modulačnú techniku, patentovanú firmou Semtech. Maximálny vysielací výkon modulov je 100mW. Vďaka tejto modulačnej technike je možné dosiahnuť vysokej citlivosti modulov. Výrobca uvádza citlivosť cez 137 dBm pri moduloch SX1272/73 a 148 dBm pri moduloch SX1276/78/79.

Moduly SX1272 a SX1273 ponúkajú menší link budget - 157 dB oproti 168 dB pri moduloch SX1276/77/78/79 a majú menší rozsah frekvenčných pásiem medzi 860 a 1020 MHz. Okrem toho majú aj vyššiu spotrebu energie.

Pri moduloch SX1276/77/78/79 je možné vybrať frekvenčné pásma z rozsahu 137 až 1020 MHz.

1.1.2 SX126x

TODO tabulka preteka

Moduly zo série SX126x - SX1261/62/68 sú následovníkmi modulov SX127x. Majú väčší vysielací výkon vďaka integrovanému zosilovaču a menšiu spotrebu energie. Obsahujú precízny TCXO oscilátor, ktorý zabezpečuje presnejšie a stabilnejšie riadenie počas prevádzky modulu. Okrem LoRa modulácie obsahujú aj G(FSK) moduláciu, ktorá je vhodná pre staršie prípady použitia.

Tabulka 1.1: LoRa moduly a ich parametre

Modul	Frekvencia	Spreading factor	Bandwidth	Citlivosť	Spotreba počas vysielania	Zbernica
SX1272	860-1020 MHz	6-12	125-500 kHz	-117 - -137 dBm	10mA	SPI
SX1273	860-1020 MHz	6-9	125-500 kHz	-117 - -130 dBm	10mA	SPI
SX1276	137-1020 MHz	6-12	7.8-500 kHz	-111 - -148 dBm	9.9mA	SPI
SX1277	137-1020 MHz	6-9	7.8-500 kHz	-111 - -139 dBm	9.9mA	SPI
SX1278	137-525 MHz	6-12	7.8-500 kHz	-111 - -148 dBm	9.9mA	SPI
SX1279	137-960 MHz	6-12	7.8-500 kHz	-111 - -148 dBm	9.9mA	SPI
SX1261	TODO	TODO	TODO	TODO	4.6mA	TODO
RFM95W	868/915 MHz	6-12	7.8-500 kHz	-111 - 148 dBm	10.3 mA	SPI
RFM97W	868/915 MHz	6-9	7.8-500 kHz	-111 - 139 dBm	10.3 mA	SPI
RFM96W/RFM98W	433/470 MHz	6-12	7.8 - 500 kHz	-111 - 148 dBm	10.3 mA	SPI

Moduly taktiež obsahujú +22/+15 dBm zosilovač, vďaka ktorému majú vyšší link budget oproti modulom zo série SX127x - 170 dBm, takže sú optimálne pre aplikácie vyžadujúce dosah alebo robustnosť.

1.2 RFM9xW

Moduly RFM95W/96W/97W/98W od výrobcu HopeRF [3], používajúce SX LoRa modemy od výrobcu Semtech, poskytujú bezdrôtový prenos na vysokú vzdialenosť s veľkou odolnosťou voči rušeniu.

Kapitola 2

TODO Porovnanie existujucich rieseni

TODO tu daky text

TODO porovnat ich voci sebe

2.1 Lora mesher

Pouziva distance vector routing protocol. Vytvara si routovaci tabulku, kde zaznamenava IDcka nodov, cez ktore susedne nody sa knim dostane a kolko hopov ho to bude stat.

Kazda noda drzi routing table, periodicky je updatovana cez specialny typ packetu, ktorý sa posielá všetkými nodami v sieti. (routing packet)

Pouziva freeRtos na zabezpečenie schedulingu taskov. Rozlične tasky sa starajú o prijatie a odoslanie packetov, iný task sa stara o samotné spracovanie packetov.

2.2 Meshtastic

Mesh sieť tvorená lora modulmi. Princíp fungovania je založený na jednoduchom multi-hop flooding. Každá node znovu odvysiela prijatý packet (pokiaľ nedosiel maxhop na 0) až kým sa packet nedostane do destinácie naprieč mesh sieťou.

Používajú Lora moduly majú zabudovaný bluetooth chip, vďaka ktorému je možné k modulu pripojiť smartphonu, ktorý slúži ako rozhranie pre užívateľa. Cez aplikáciu v mobile potom vytvára a prijíma správy, ktoré sú cez bluetooth posielané do modulu a cez lora sa posielajú do siete.

Dosah siete sa dá rozšíriť cez pripojenie k oficiálnemu meshtastic mqtt brokerovi. Umožňuje to tak pripojiť menšie lokálne mesh siete do globalnej siete. TODO pozrieť viac k tomuto

Myslienka meshtasticu spočíva v tom, že vytvára komunikačnú sieť na miestach kde bežne nie je napr. mobilný signál. (V horách)

timestamp sa posielá iba v GPS datach. TODO pridať text k tomu že sa posielá pozícia z GPS.

2.3 LoRaBlink

Multi-hop protokol, ktorý používa časovú synchronizáciu medzi nodami. Časová synchronizácia definuje sloty na prístup ku prenosovému kanálu. Správa sa sieťou s ňou pomocou floodingu.

Sieť sa skladá z jedného datasinku (gateway) a viacerých nodov, ktoré posielajú data do data-sinku alebo data z neho prijímajú. V určitých intervaloch datasink vyšle tzv. beacon. Tento slúži na časovú synchronizáciu a znamená novú epochu. Každá epocha obsahuje N slotov, v ktorých môžu nody vysielать data. Beacon správa obsahuje hop count, ktorá udáva vzdialenosť ku data-sinku.

Keď node prijme beacon signal, vyšle svoj vlastný beacon signal v ďalšom voľnom slotе, ktorý vyberá na základe vzdialenosti od data-sinku.

Keď node potrebuje poslať data, tak vyberie ďalší voľný slot a v ňom vyšle data. Ak tieto data prijme node, ktorý nie je sink a jeho hop count ku sinku je menší ako hop count vysielajúcej nody, tak data v ďalšom slotе retransmitne. Toto sa opakuje až kým data nedosiahnu datasink. TODO doplniť, spraviť lepší popis

- je to sieť vyžadujúca jeden hlavný node (data-sink/gateway), tento node je potrebný na riadenie siete, pretože všetky ostatné nody sa synchronizujú na neho

Kapitola 3

TODO Vlastna implementacia

Kapitola 4

TODO Testovanie vykonnosti + test voci existujucim protokolom?

Literatura

1. *LoRa alliance* [online] [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://loro-alliance.org/>.
2. *Semtech* [online] [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://www.semtech.com/>.
3. *HopeRF* [online] [cit. 2022-07-10]. Dostupné z: <https://www.hoperf.com/>.