

SUITABILITY OF THE LORAWAN TECHNOLOGY FOR MASSIVE MACHINE-TYPE COMMUNICATION

Petr Mašek

Master Degree Programme (2nd year), FEEC BUT

E-mail: xmasek17@vutbr.cz

Supervised by: Pavel Mašek

E-mail: masekpavel@vutbr.cz

Abstract: A remarkable progress in the LPWAN (Low Power Wide Area Network) technologies over the recent years opens new opportunities for developing versatile massive IoT (Internet of Things) applications. In this paper, we focus on one of the most popular LPWAN solutions operating in the license-exempt frequency bands, named LoRaWAN (Long Range Wide Area Network). The key contribution of this work is the implementation of the LoRaWAN technology within the Network Simulator 3. The collected simulation results reveal the expected spectrum utilization within the unlicensed band as well as show the transmission success rate for different communication distances between end-devices and LoRaWAN gateways.

Keywords: Industry 4.0, Internet of Things, LPWAN, LoRaWAN, massive MTC

1 ÚVOD

Princip IoT (Internet of Things) je založen na komunikaci M2M (Machine to Machine), která spočívá v předávání dat mezi stroji. V rámci Průmyslu 4.0 zavádějí průmyslové podniky z ekonomických důvodů automatizované postupy a uvádějí do provozu stroje, které spolu vzájemně komunikují. Může se jednat o stovky až tisíce připojených zařízení. Takový způsob komunikace se označuje jako mMTC (Massive Machine-Type Communication). Praktickým příkladem jsou zařízení zajišťující dálkový odečet energií z domácností (elektřina, voda, plyn) [1].

Z důvodů finanční nákladnosti uvedení velkého množství „chytrých“ zařízení do provozu se nejprve přistupuje k použití repliky sítě ve virtuálním prostředí, která zohledňuje propagaci signálu prostředím (zastavěná či nezastavěná lokalita). Tato replika bývá označována jako digitální dvojče a simulační výsledky bývají používány jako vstupy pro reálné nasazení. Pro co nejpřesnější predikci chování sítě s mnoha připojenými zařízeními lze využít vhodné simulační scénáře, které implementují komunikační parametry uvažovaných síťových technologií. Očekává se, že do roku 2023 bude v provozu 1,9 miliardy připojených zařízení využívající technologie LPWAN (Low Power Wide Area Network) [2, 3, 4].

Na základě predikce rostoucího počtu „chytrých“ zařízení se tento článek zaměřuje na komunikační technologii LoRaWAN a vyhodnocení simulačních scénářů pro mMTC.

2 KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE LORAWAN PRO IOT

Pro reálné nasazení IoT zařízení do provozu je vhodné využít technologie LPWAN. Jedná se o síť s rozšířeným komunikačním dosahem a nízkou spotřebou energie, což je vhodné pro bateriově napájené zařízení. Mezi zástupce LPWAN technologií, které jsou dostupné i v České republice, se řadí technologie LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), Sigfox a NB-IoT (Narrowband IoT) [5]. Každá z těchto technologií využívá různé komunikační parametry a je vhodná pro odlišné komunikační scénáře.

Infrastruktura sítě LoRaWAN se skládá z: (i) *koncových zařízení*, která mohou být bateriově napájená (očekává životnost baterie je 5 – 10 let v závislosti na komunikačním scénáři), (ii) *bran*, se kterými komunikují koncová zařízení pomocí bezdrátové LoRa (Long Range) modulace, která využívá techniku rozprostřeného spektra CSS (Chirp Spread Spectrum), (iii) *sítového serveru*, který přijímá informace od bran pomocí libovolného komunikačního protokolu (například Ethernet nebo 4G) a (iv) *aplikačního serveru*, který poskytuje uživateli požadovaná data. V České republice technologii LoRaWAN provozuje společnost České radiokomunikace [3, 6].

Mezi hlavní výhody technologie LoRaWAN lze zařadit nízkou cenu modulů (5 – 12 EUR¹) nebo bezplatné využití nelicencovaného spektra (úroveň pod 1 GHz). Oproti ostatním dostupným LPWAN technologiím v České republice disponuje také možností vytvoření vlastních privátních LoRaWAN sítí, které jsou tak nezávislé na třetí straně. Toho lze využít v průmyslu pro pokrytí konkrétního území, které je pod plnou kontrolou provozovatele [7]. Nevýhody plynoucí z využití nelicencovaného spektra jsou například omezení vysílacího výkonu (14 dBm = 25 mW) a dodržení střídy (1 %) dle požadavků Českého telekomunikačního úřadu² pro ISM (Industrial, Scientific, Medical) pásmo 868 MHz nebo omezení maximální velikosti přenášených zpráv (243 B). Stručné porovnání technologií LoRaWAN, Sigfox a NB-IoT je uvedeno v Tabulce 1 [8].

Tabulka 1: Klíčové parametry LPWAN technologií LoRaWAN (Specification v1.1), Sigfox a NB-IoT (3GPP Release 13) pro komunikaci ve směru Uplink [8].

	LoRaWAN	Sigfox	NB-IoT (NB1)
Spektrum	Nelicencované	Nelicencované	Licencované (LTE)
Střída (duty cycle)	1 %	1 %	Není omezeno
Frekvenční pásmo	ISM 868 MHz	ISM 868 MHz	LTE 800 MHz
Maximální vysílací výkon (ERP)	14 dBm = 25 mW	14 dBm = 25 mW	23 dBm = 200 mW
Šířka pásma	125 kHz, 250 kHz	100 Hz	200 kHz
Přenosová rychlost	0,3 – 50 kb/s	<1 kb/s	0,3 – 32,25 kb/s
Maximální velikost zprávy	243 B	12 B	1600 B
Pokrytí (MCL)	157 dB	162 dB	164 dB
Privátní infrastruktura	Ano	Ne	Ne

3 SIMULAČNÍ SCÉNÁŘ PRO KOMUNIKACI V LORAWAN SÍTI

Pro provedení simulací bylo využito simulační prostředí NS-3 (Network Simulator 3) ve verzi 3.30.1. Do tohoto prostředí byl integrován LoRaWAN modul *signetlabdei*³ a byl vytvořen komunikační scénář, jehož topologie je zobrazena na Obrázku 1. Pro spuštění simulace lze volit: (i) počet koncových zařízení, (ii) počet bran, (iii) poloměr komunikační oblasti, (iv) čas simulace, (v) periodu zasílání zpráv a (vi) velikost užitečných dat. Dále je možné nastavit zařízením náhodnou nebo konkrétní polohu v simulované oblasti. Aby koncová zařízení dodržela požadavky na velikost střídy, je nutné nastavit vhodnou velikost užitečných dat a periodu zasílání zpráv.

Po provedení simulace lze v terminálovém okně vyčíst pomocí logování konkrétní komunikační parametry, které byly v simulaci použity. Lze tak vyčíst: (i) faktor rozprostření, (ii) použitou šířku pásma, (iii) nosnou frekvenci, (iv) přenosovou rychlost, (v) dobu přenosu zprávy, (vi) vysílací výkon, (vii) přijímaný výkon, (viii) vzdálenost koncových zařízení k nejbližší bráně nebo (ix) počet vyslaných a v pořádku doručených zpráv. Zaznamenaná data z provedené simulace pro jedno koncové zařízení jsou uvedena v Tabulce 2.

¹Cena modulu Microchip RN2483A k březnu 2021 je přibližně 11 EUR. Viz: <https://bit.ly/RN2483A>.

²Požadavky Českého telekomunikačního úřadu pro nelicencované spektrum: <https://bit.ly/CTUomezeni>.

³Modul dostupný z: <https://github.com/signetlabdei/lorawan>.

Obrázek 1: Rozmístění 100 koncových zařízení LoRaWAN, jedné komunikační brány a síťového serveru v komunikační oblasti s přímou viditelností LOS (Line of Sight) mezi jednotlivými uzly.

Tabulka 2: Výsledky simulace pro koncové zařízení č. 1.

Parametry simulačního scénáře	
Počet koncových zařízení	100
Počet bran	1
Poloměr komunikační oblasti	1000 m
Čas simulace	300 s
Perioda zasílání zpráv	100 s
Velikost užitečných dat	23 B
Komunikační parametry	
Faktor rozprostření	7
Šířka pásma	125 kHz
Použitá frekvence	868,3 MHz
Přenosová rychlost	5468 b/s
Velikost celé zprávy	32 B
Doba přenosu zprávy	71,9 ms
Vysílací výkon	14 dBm
Přijímaný výkon	-59,50 dBm
Vzdálenost od brány	56,4 m

4 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY V ZÁVISLOSTI NA VYUŽITÍ FREKVENČNÍHO SPEKTRA

V rámci simulací byla analyzována závislost úspěšnosti přenosu na základě rozdílnosti vybraných komunikačních parametrů. Pro každý z případů bylo realizováno 10 simulací a uvedené výsledky jsou tak průměrem hodnot z provedených simulací, viz Tabulka 3.

V simulacích je uvažováno se 100 „chytrými“ koncovými zařízeními, která vysílají vždy zprávu s užitečnou zátěží (user data) o velikosti 23 B. Závislost byla zkoumána pro komunikační oblasti ve tvaru kruhu s poloměrem 1 km, 7 km a 10 km, kdy byla koncová zařízení rozmístěna náhodně po celé komunikační oblasti. Počet bran v komunikační oblasti se měnil od jedné do pěti. Pokud byla brána pouze jedna, byla umístěna ve středu komunikační oblasti. Pro případy s dvěma a více branami byly tyto brány rozmístěny pravidelně na kružnici s polovičním poloměrem, než je poloměr komunikační oblasti (0,5 km, 3,5 km a 5 km).

Tabulka 3: Úspěšnost přenosu pro zvolené periody vysílání a počet bran. Hodnoty s úspěšností přenosu pod 70 % jsou zvýrazněny (hranice na základě spolupráce s výrobcí LoRaWAN zařízení).

Perioda vysílání [s]	Počet bran	Úspěšnost při poloměru 1 km	Úspěšnost při poloměru 7 km	Úspěšnost při poloměru 10 km
20	1	84,9 %	45,3 %	24,3 %
	3	95,1 %	84,0 %	59,7 %
	5	97,5 %	97,5 %	81,3 %
100	1	98,3 %	88,3 %	62,7 %
	3	99,0 %	99,0 %	96,0 %
	5	99,7 %	100,0 %	100,0 %
165	1	100,0 %	96,2 %	69,2 %
	3	100,0 %	100,0 %	98,4 %
	5	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Simulace byla provedena pro tři různé hodnoty periody vysílání: (i) 20 s, (ii) 100 s a (iii) 165 s. Pouze v případě použití periody vysílání s hodnotou 165 s a vyšší lze garantovat, že všechna koncová zařízení při vysílání zprávy o užitečné zátěži 23 B dodrží hodnotu střídání nepřevyšující 1 %, což je vyžadováno telekomunikačními předpisy. V opačném případě mohou koncová zařízení s nastaveným vyšším faktorem rozprostření tyto požadavky porušovat. Výsledky naměřených úspěšností přenosu jsou uvedeny v Tabulce 3.

5 ZÁVĚR

V tomto článku byla popsána problematika technologie LoRaWAN pro využitelnost v IoT sítích, kdy byly zmíněny její hlavní komunikační parametry a byly uvedeny hlavní výhody a nevýhody. V praktické části byl do simulačního prostředí NS-3 integrován LoRaWAN modul a následně byly provedeny simulace zabývající se problematikou úspěšnosti přenosu v síti LoRaWAN v závislosti na použitých komunikačních parametrech.

Naměřená úspěšnost přenosu roste se zvětšující se periodou vysílání, s vyšším počtem bran a s menším poloměrem komunikační oblasti. Pro dosažení lepších výsledků je vhodné použít v LoRaWAN síti větší počet vhodně rozmístěných bran, což způsobí menší vzdálenosti mezi koncovými zařízeními a branami. Koncová zařízení tak budou smět komunikovat s nižším faktorem rozprostření (z rozsahu 7–12), což umožní i rychlejší komunikaci. Pro dodržení požadavků na velikost střídání je vhodné použít větší periodu vysílání, což lze však kompenzovat použitím menší velikosti vysílané zprávy. V simulaci byla použita fixní velikost zprávy o velikosti 32 B, pro ostatní scénáře je však možné velikost zprávy navýšit až na 243 B ve směru Uplink.

Naměřené výsledky je možné do budoucna porovnat s hodnotami získanými měřeními v reálně nasažených sítích (veřejných či privátních) a následně zhodnotit přesnost výsledků z implementovaných simulačních scénářů.

REFERENCE

- [1] A. Lavric and V. Popa, "Performance Evaluation of LoRaWAN Communication Scalability in Large-Scale Wireless Sensor Networks," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 2018, p. 6730719, Jun 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2018/6730719>
- [2] G. A. Akpakwu, B. J. Silva, G. P. Hancke, and A. M. Abu-Mahfouz, "A Survey on 5G Networks for the Internet of Things: Communication Technologies and Challenges," *IEEE access*, vol. 6, pp. 3619–3647, 2017.
- [3] D. Magrin, M. Capuzzo, and A. Zanella, "A Thorough Study of LoRaWAN Performance Under Different Parameter Settings," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 116–127, 2020.
- [4] Cisco, "Cisco Annual Internet Report (2018–2023)," *White Paper*, 2020.
- [5] J. Petajajarvi, K. Mikhaylov, A. Roivainen, T. Hanninen, and M. Pettissalo, "On the Coverage of LPWANs: Range Evaluation and Channel Attenuation Model for LoRa Technology," in *2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST)*. IEEE, 2015, pp. 55–59.
- [6] R. El Chall, S. Lahoud, and M. El Helou, "LoRaWAN Network: Radio Propagation Models and Performance Evaluation in Various Environments in Lebanon," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 2366–2378, 2019.
- [7] P. Masek, M. Stusek, K. Zeman, J. Hosek, K. Mikhaylov, S. Andreev, Y. Koucheryavy, O. Zeman, J. Votapek, and M. Roubicek, "Tailoring NB-IoT for Mass Market Applications: A Mobile Operator's Perspective," in *2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 2018, pp. 1–7.
- [8] M. Stusek, D. Moltchanov, P. Masek, K. Mikhaylov, O. Zeman, M. Roubicek, Y. Koucheryavy, and J. Hosek, "Accuracy Assessment and Cross-Validation of LPWAN Propagation Models in Urban Scenarios," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 154 625–154 636, 2020.