

## ANALIZA PERFORMANSI LORA TEHNOLOGIJE KOD MOBILNIH SENZORSKIH STANICA U URBANIM OKRUŽENJIMA

Dalibor Dobrilović<sup>1</sup>, Milan Malić<sup>2</sup>, Dušan Malić<sup>3</sup>, Željko Stojanov<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Novom Sadu – Tehnički Fakultet “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin,  
dalibor.dobrilovic@uns.ac.rs

<sup>2</sup>Panonit, Novi Sad, milanmalic@outlook.com

<sup>3</sup>Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Zrenjanin, dmalic@sbb.rs

<sup>4</sup>Univerzitet u Novom Sadu – Tehnički Fakultet “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin,  
zeljko.stojanov@uns.ac.rs

**Sadržaj:** *Rastuća popularnost Interneta stvari (IoT), bežičnih senzorskih mreža (WSN) i razvoj novih bežičnih tehnologija uslovi su i pravce razvoja sistema pametnih gradova. S obzirom na važnost bežične komunikacije u urbanim okruženjima potrebno je izvršiti istraživanja u implementaciji novog talasa tehnologija koje se pojavljuju na tržištu. Bežična komunikacija senzorskih stanica je bitna za prenos podataka ka centrima gde se ti podaci skladište, analiziraju i koriste. Upotreba te tehnologije u sistemima pametnih gradova se mora analizirati i za slučajeve kako statičkih tako i pokretnih stanica. U ovom radu je prezentovana analiza primenljivosti LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) tehnologija u senzorskim mrežama u urbanim okruženjima i sistemima pametnih gradova, a sa fokusom na mobilnost stanica i LoRa tehnologiju. U radu su pored prikaza najbitnijih karakteristika pojedinih LPWAN tehnologija, dati i rezultati merenja LoRa tehnologije.*

**Ključne reči:** *LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) tehnologije, LoRa, bežične senzorske mreže, pametni gradovi*

### 1. Uvod

WAN (Wide Area Network) ili mreža širokog područja se može definisati kao mreža za prenos podataka koja pokriva široko geografsko područje. Proteklih godina, kao nadolazeća WAN tehnologija, definisana je nova paradigma nazvana LPWAN (Low-Power Wide Area Network) ili mreža širokog područja male potrošnje. LPWAN ima za cilj da pokrije područje prenosa podataka na velikim udaljenostima, u okvirima koji se mogu porediti sa mrežama mobilne telefonije i bežičnih nodova male potrošnje poput onih u M2M (Machine-to-Machine) sistemima. Tako LPWAN mreže pružaju nove mogućnosti za bežične senzorske mreže WSN (Wireless Sensor Networks) i Internet stvari ili IoT (Internet of Things), povećanjem pokrivenosti i upotrebom uređaja sa malom potrošnjom energije na velikim udaljenostima [1]. Zajedno sa dugim životnim ciklusom baterija i niskim cenama uređaja, pokrivenost, tj. domet predstavljaju najznačajnije karakteristike LPWAN tehnologija [2]. LPWAN mreže, po značaju,

predstavljaju za IoT sisteme isto što WiFi tehnologija predstavlja u domenu pružanja klijentima pristup Internetu [3].

Mnoge od predloženih LP-WAN tehnologija su u početnoj i ranoj fazi razvoja, a LoRa<sup>TM</sup>, LoRaWAN<sup>TM</sup>, SigFox i Ingenu su samo neke od postojećih LP-WAN platformi sa najvećim prodorom na tržištu [18]. S obzirom na važnost koje LPWAN tehnologije imaju u WSN, M2M i IoT sistemima, kao i u sve prisutnijim sistemima pametnih gradova, istraživanja u oblasti ovih tehnologija imaju veliki značaj i sve su prisutnija u svetu. Zbog toga je u ovom radu prezentovan pristup u analizi LoRa tehnologije u urbanom području, ali ne u slučaju kada se koriste stacionarne senzorske stanice, nego u slučaju mobilnih stanica. Mobilnost bežičnih čvorova u mrežama ovakvog tipa u urbanom području može se koristiti u velikom broju aplikacija, od automobilske industrije, preko medicinske nege i praćenja pacijenata na daljinu [23], do raznih primena smart tehnologije u pametnim gradovima (smart traffic, smart parking i sl.) pa i u bespilotnim letelicama ili UAV (Unmanned Aerial Vehicle) koje se mogu koristiti u gradskim ili priobalnim [17] bežičnim senzorskim mrežama. U radu je dat uopšten prikaz LPWAN tehnologija, kao i prikaz LoRa, LoRAWAN [20], SigFox i LTE-M tehnologije. Na kraju je analizirana upotrebljivost LoRa tehnologije, na osnovu merenja koja su vršena između fiksne stanice (prijemnika) i pokretne stanice (predajnika). Kretanje je vršeno po zemlji pešačenjem i vožnjom u putničkom automobilu, u gradskom okruženju na području grada Zrenjanina.

## **2. LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) tehnologije**

Na osnovu praćenja literature, kao i dešavanja na tržištu, može se zaključiti da se interes industrije za LPWAN (Low Power Wide Area Networks) postepeno povećava. Trenutno se nekoliko konkurentnih tehnologija nadmeću za prevlast na globalnom tržištu. Jedan od tih primera je i Sigfox, tehnologija koja se u isto vreme koristi i kao platforma za pružanje servisa za LPWAN mreže i do ovog vremena pokriva preko 30 zemalja u svetu i 18 zemalja u Evropi [6]. U trci su i Long Range (LoRa) Alliance [8], koja je službeno osnovana na Mobile World Congress 2015 i Weightless Special Interest Group [9]. Svaka od ovih organizacija ima tehnologiju koja je standardizovana. Pored ovih tehnologija, telekomunikaciona industrija se kreće u pravcu upotrebe mobilnih IoT sistema, posebno LTE-M Rel13 standarda. Dalja optimizacija i poboljšanja se mogu očekivati u pogledu smanjenja cena uređaja, povećana životnog ciklusa baterija, manjeg propusnog opsega, manje propusnosti mreže i veće pokrivenosti za LTE-M standard. [2].

Među aplikacijama i područjima primene za LPWAN mogu se navesti automobilska industrija i inteligentni transportni sistemi (npr. upravljanje flotom, vehicle-to-infrastructure komunikacija, smart traffic sistemi, informacije o saobraćaju u realnom vremenu, sigurnost, prijava i alarmiranje u slučaju incidenata) kao i mnogi drugi slučajevi telemetrije (npr. potrošnja električne energije, nadzor potrošnje vode i gasa, medicinski nadzor) kao i pametne kuće ili smart home sistemi [10]. Iako postoji mnogo sličnosti između bežičnih senzorskih mreža ili WSN (Wireless Sensor Network) i LPWAN mreža, postoje i razlike. Razlike se ogledaju u topologiji, koja kod WSN mreža može biti mesh ili ad-hoc topologija, dok sve postojeće LPWAN tehnologije zahtevaju centralni uređaj (concentrator/gateway) i krajnje uređaje koje taj centralni uređaj opslužuje. Krajnji uređaji komuniciraju samo sa baznom stanicom i formiraju mrežu topologije zvezde. [2]

Tri ključna izazova za LPWAN mreže su [2, 11]:

- niska cena uređaja (cena u rasponu 1-2€),
- uređaji treba da imaju životni vek do 10 godina kada se napajanje vrši posredstvom baterija i
- razdaljina između bazne stanice i krajnjeg uređaja mora da bude veća od 10 km.

Niska cena uređaja se može nazvati najvećim izazovom, koji je teže ostvariti nego ostala dva cilja. To se može postići kompleksijim dizajnom centralnog uređaja, i maksimalno pojednostavljenim dizajnom krajnjih uređaja. Željeno trajanje životnog ciklusa baterije se može postići smanjenjem učestalosti prenosa podataka na dnevnom nivou, mada to u velikoj meri zavisi od tipa primene, tj. sistema u kojoj se koriste LPWAN senzorske stanice.

*Tabela 1. Bežične tehnologije za LPWAN u okviru IoT sistema [16]*

Tehnologija	SIGFOX	LoRa	NB LTE-M Rel. 13	LTE-M Rel. 12/13	EC-GSM Rel. 13	5G (u razvoju)
Domet u km (na otvorenom)	<13	<11	<15	<11	<15	<15
MCL (dB)	160	157	164	156	164	164
Opseg	Nelicenciran 900 MHz 100 Hz	Nelicenciran 900 MHz <500 kHz	Licenciran 7-900 MHz 200 kHz ili deljen	Licenciran 7-900 MHz 1.4 MHz ili deljen	Licenciran 8-900 MHz 2.4 MHz ili deljen	Licenciran 7-900 MHz deljen
Brzina prenosa podataka	<100 bps	< 10 kbps	< 150 kbps	< 1 Mbps	10 kbps	< 1 Mbps
Trajnost baterija u godinama	> 10	> 10	> 10	> 10	> 10	> 10
Dostupnost	Sadašnjost	Sadašnjost	Sadašnjost	Sadašnjost	Sadašnjost	od 2020

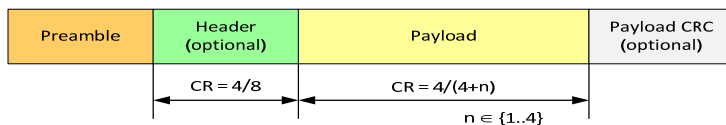
LPWAN tehnologije su nastale sa ciljem da omoguće bežičnu komunikaciju između uređaja u WAN okruženju, a da pri tom imaju malu potrošnju energije, ali i male brzine prenosa podataka. Kao takve su pogodne za komunikaciju na udaljenosti do nekoliko kilometara u urbanom ili nekoliko desetina kilometara u ruralnom području. Generalno, ti uređaji sadrže visokoosetljivi prijemnik prijemne osjetljivosti do -130 dBm, što je znatno više u poređenju sa -90 i -110 dBm u tradicionalnim bežičnim tehnologijama. Neke od LPWAN platformi su: LoRa, SigFox, Weightless, Symphony Link, Nwave i Ingenu, a uporedni prikaz nekih od navedenih zajedno sa drugim sličnim tehnologijama prikazan je u tabeli 1.

## 2.1. LoRa®

LoRa® je fizički sloj ili bežična modulacija koje se upotrebljava da bi se kreirao komunikacioni link velikog dometa. Mnogi postojeći bežični sistemi koriste FSK (Frequency Shift Keying) modulaciju kao fizički sloj zato što je to veoma efikasan način da se postigne mala potrošnja. LoRa® se zasniva na CSS (Chirp Spread Spectrum) modulaciji, koja održava iste karakteristike u vezi sa niskom potrošnjom kao FSK modulacija, ali ima značajno veći domet komunikacije. CSS modulacija se koristila u vojnim i svemirskim komunikacijama u proteklih nekoliko decenija baš zbog mogućnosti komunikacije na velikim udaljenostima i otpornosti na interferenciju. LoRa® je prva implementacija ove modulacije, koja ima nisku cenu i komercijalnu upotrebu. Glavna prednost LoRa® tehnologije je veliki domet, tako da je i sam njen naziv nastao od engleskih reči „Long Range“, što u prevodu znači veliki domet. On je opravdan činjenicom jer jedan čvor (gateway) u idealnim uslovima može da pokrije čitav grad ili

nekoliko stotina kvadratnih kilometara. Domet u velikoj meri zavisi od okruženja i prepreka, ali i LoRa® i LoRaWAN™ tehnologije imaju budžet linka koji je veći od drugih standardnih komunikacionih tehnologija. [12] Dodatne prednosti LoRa tehnologije su otpornost na fading i Doplerov efekat, što ih čini idealnim za upotrebu sa mobilnim stanicama.

U zavisnosti od regionalnih standarda postoje i dva opsega za LoRa module. To su opsezi od 868 i 900 MHz. Frekvencija koja se koristi u Evropi je iz ISM (Industrial, Scientific And Medical) opsega koji je nelicenciran i iznosi 868 MHz (863-870 MHz). Opseg je podeljen u 8 kanala, gde je razmak između centralnih frekvencija 300 kHz (0.3 MHz), a između dva poslednja kanala iznosi 1 MHz. Frekvencija koja se koristi u SAD, Kanadi, Australiji, Singapuru i Izraelu takođe je iz ISM opsega i iznosi 900MHz (902-928 MHz), a opseg je podeljen u 12 kanala gde je razmak između centralnih frekvencija 2.16 MHz [7]. Format LoRa okvira podataka prikazan je na slici 1. Okvir počinje sa uvodnom sekvencom (Preamble). Nakon uvodne sekvence, postoji zaglavlje (Header) koje je opciono. Kada je zaglavlje pristutno ono se prenosi sa CR (Coding Rate) od 4/8. Preostali deo okvira zauzima poruka (Payload). Maksimalna veličina tog polja je 255 bajta. Za skladištenje vrednosti koje označava dužinu poruke (Payload ) koristi se 1 bajt.



Slika 1. Format LoRa okvira [3]

U ovom radu su za eksperimente korišćeni Libelium® LoRa moduli koji koriste čipset Semtech SX1272. Kompanija Libelium® trenutno u ponudi ima pored LoRa modula i LoRaWAN modul (koji je baziran na Microchip čipsetu). Taj modul ima prijemnu osetljivost od -134 dBm i predajnu snagu od 14 dBm. CR predstavlja Coding Rate, SF predstavlja Spreading Factor, a BW Bandwith. Kombinacija ovih vrednosti definiše mod prenosa. U toku merenja parametri su podešeni na sledeće vrednosti: BW 500, CR 4/5 i SF 12, pri čemu prijemna osetljivost uređaja nije -134 dB, nego je smanjena na -128 dB [7]. Proizvođač deklariše domet ovih modula na otvorenom od maksimalnih 22 km pri direktnoj optičkoj vidljivosti. LoRa sadrži samo protokole sloja veze podataka i pogodna je za korišćenje u ravnopravnoj komunikaciji među čvorovima, tj. u topologiji tipa tačka-tačka (eng. *point-to-point*) ili P2P, mada se uz odgovarajuću arhitekturu može koristiti i u vezama tipa tačka-više tačaka (eng. *point-to-multipoint*). LoRa moduli nešto su jeftiniji od LoRaWAN modula, a LoRaWAN tehnologija sadrži i protokole mrežnog sloja koji pružaju mogućnost slanja informacija do bilo koje bazne stanice koja je povezana na sistem. Libelium® SX1272 LoRa moduli koriste SPI (eng. *Serial Peripheral Interface*) pinove za komunikaciju sa mikrokontrolerom i razvojnom pločom (u ovom slučaju je korišćen Arduino UNO), što dozvoljava veću brzinu komunikacije. Čipset trenutno ne uvodi nikakav vid zaštite, tj. enkripcije podataka.

## 2.2. LoRaWAN™

LoRaWAN™ definiše i komunikacioni protokol na mrežnom sloju i arhitekturu sistema, za razliku od LoRa® tehnologije koja definiše samo fizički sloj koji omogućava komunikaciju na velikim udaljenostima. Protokol i arhitektura zajedno imaju veliki uticaj

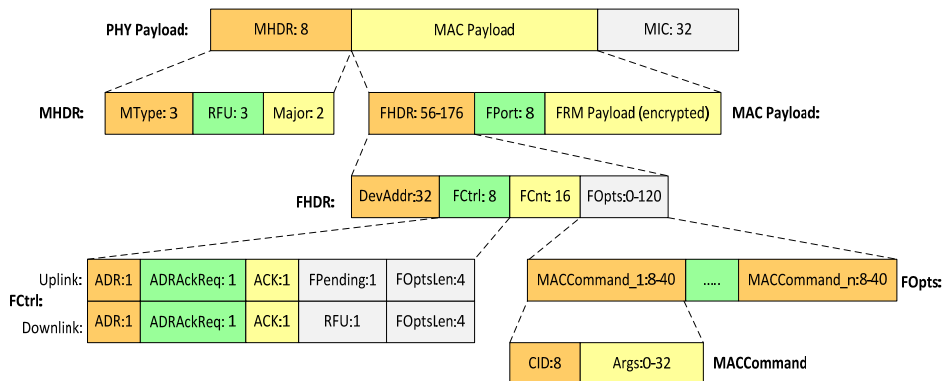
na životni ciklus baterija, kapacitet mreže, kvalitet servisa, sigurnost i zaštitu, kao i moguće primene ove tehnologije. LoRaWAN™ je LPWAN tehnologija specifično razvijena za bežične uređaje koji se napajaju putem baterija i imaju potrebe za prenosom podataka malim brzinama na velike udaljenosti, i to u rasponu 15-20 km. Može se tako implementirati da pruža sličnu pokrivenost kao i mobilne mreže. Takođe, predviđa se da je životni vek baterije tih uređaja, usled male potrošnje, veći od 10 godina. Zahtevi koje LoRaWAN™ ispunjava su ključni za IoT i bežične senzorske mreže i odnose se na sigurnu dvosmernu komunikaciju, mobilnost uređaja i lokalizovane usluge. Podržan je prenos podataka od 0.3 do 50 kb/s, a izbor brzine prenosa je kompromis između dometa i dužine poruka, tj. količine prenetih podataka. Dužina svake poruke može iznositi 292 bajta. [13,14]

LoRaWAN protokol je MAC protokol razvijen tako da koristi LoRa fizički sloj (PHY). Kreiran je sa ciljem da se prilagodi upotrebi u senzorskim mrežama gde senzori razmenjuju pakete sa serverom sa malom brzinom prenosa podataka i u okviru dužih vremenskih intervala. LoRaWAN ima tri različite klase krajnjih uređaja da bi se ispunili različiti zahtevi aplikacija:

- Klasa A (Bi-directional end-devices) – Krajnji uređaji klase A dozvoljavaju dvosmernu komunikaciju gde posle svakog slanja podataka od strane krajnjeg uređaja slede dva kratka perioda za primanje poruka (eng. *receive window*). Uređaji ove klase imaju najmanju potrošnju.
- Klasa B (Bi-directional end-devices with scheduled receive slots) – Za razliku od klase A, ova klasa otvara dodatni prijemni prozor (eng. *receive window*) u predviđenom vremenu. Za ovu klasu uređaja je neophodna sinhronizacija pomoću beacon okvira sa gateway uređajem da bi server dobio informaciju kada je krajnji uređaj spreman za prijem.
- Klasa C (Bi-directional end-devices with maximal receive slots) – Kod ovih uređaja moguća je dvosmerna komunikacija sa maksimalnim vremenom primanja paketa. Takvi uređaji skoro da imaju konstantno otvoren receive window. Uređaji ove klase primaju pakete skoro u kontinuitetu sa servera i samim tim imaju maksimalnu potrošnju energije. [8]

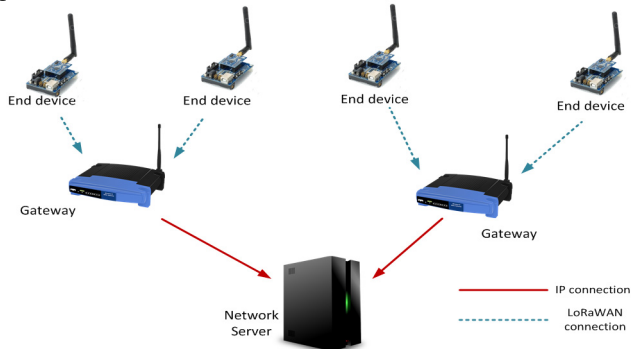
Komunikacija kod LoRaWAN protokola ne omogućuje komunikaciju među krajnjim uređajima. Komunikacija je dvosmerna i isključivo između krajnjih uređaja i servera i obrnuto. LoRaWAN koristi LoRa okvir na fizičkom sloju (PHY), kao što je okvir prikazan na slici 1. Na MAC sloju format LoRaWAN okvira je detaljno prikazan na slici 2. Zaglavlje (MHDR) i CRC su neophodni za uplink poruke. Downlink poruke imaju zaglavlje, ali ne i CRC polje. Polje DevAddr sadrži 32-bitnu adresu uređaja. FPort je polje porta za multipleksiranje. Kada je vrednost ovog polja nula to znači da poruka sadrži samo MAC naredbe (MACCommand). U ovom slučaju, FOptsLen polje mora isto da ima vrednost nula. FCnt je polje brojača okvira. MIC predstavlja kod integriteta kriptovane poruke i izračunava se na osnovu polja MHDR, FHDR, FPort i FRMPPayload. MType je tip poruke koji određuje da li je poruka potvrđena ili ne, a osim toga i da li je to uplink ili downlink poruka. Potreban je dokaz da je poruka potvrđena, a Major polje sadrži verziju LoRaWAN protokola, a trenutno je jedino vrednost nula ispravna. ADR i ADRAckReq kontrolišu mehanizam adaptacije brzine prenosa podataka sa mrežnog servera (eng. *network server*). ACK potvrđuje poslednji primljeni okvir. FPending pokazuje da server ima još podataka za slanje i da bi krajnji uređaj trebao da pošalje sledeći frejm što pre. FOptsLen je dužina FOpts polja u bajtovima. FOpts se koristi da

prenosi MAC naredbe. CID je identifikator MAC naredbe, a Args su opcioni argumenti naredbe. FRMPayload je poruka koja je kriptovana AES algoritmom, uz upotrebu ključa od 128 bita. Minimalna dužina MAC zaglavlja (MHDR) je od 13 do 28 bajta [3].



Slika 2. Format LoRaWAN okvira [3]

Na slici 3. prikazana je tipična arhitektura LoRaWAN mreže u topologiji razgranate zvezde (eng. *star of stars*). Na slici su prikaza i tri osnovna tipa uređaja: mrežni server, gateway i krajnji uređaji (End device).



Slika 3. Arhitektura LoRaWAN mreže [3,13]

### 2.3. SigFox

SigFox je globalni proizvođač IoT mrežne opreme i uređaja namenjenih isključivo za velike domete. To je francuska kompanija osnovana 2009. godine sa sedištem u gradu Labège. Ujedno je to i naziv za tehnologiju. Komunikacija ovih uređaja je bazirana na kratkim porukama, a uređaji imaju nisku cenu izrade. SigFox je uskopojasna tehnologija koja koristi BPSK modulaciju. SigFox radi na frekvenciji od 868 MHz u Evropi i 915 MHz u Americi, sa spektrom podeljenim na 400 kanala od po 100 Hz. Krajni uređaji mogu da šalju do 140 uplink poruka na dnevnoj bazi, a veličine paketa su 12 bajta, pri brzini prenosa podata do 100 b/s. Prema tvrdnjama SigFox kompanije svaka pristupna tačka može da podrži do milion uređaja i pokriva područje od 30 do 50 km u ruralnim predelima i od 3 do 10 km u urbanim predelima. [6, 14]

### 2.3. LTE-M Rel 13

LTE-M je pojednostavljeni naziv za LTE-MTC LPWA (Low Power Wide Area) tehnologije i standarde koje je objavila organizacija 3GPP u Release 13 specifikaciji. Odnosi se na LTE CatM1 specifikaciju, koja je podesna za primenu u IoT sistemima. LTE-M je tehnologija mreža širokih područja sa malom potrošnjom snage koja podržava IoT kroz jednostavne uređaje sa velikim područjem pokrivanja i omogućava upotrebu LTE infrastrukture. Treba da omogući životni vek baterija do 10 godina i cenu uređaja u vrednosti od 20-25% cene sadašnjih EGPRS modema. [11, 15]

### 3. Merenja

U ovom radu su izvršeni eksperimenti u pogledu analize performansi LoRa™ LPWAN tehnologije u urbanom području kada je prisutno kretanje senzorskih stanica. Analiza je izvršena na osnovu rezultata merenja koji su postignuti u eksperimentu. Eksperiment je izvršen na području grada Zrenjanina uz upotrebu Libelium SX1272 LoRa™ komunikacionih modula i Arduino UNO uređaja [7]. Libelium SX1272 LoRa™ moduli su bazirani na Semtech SX1272 komunikacionom modulu, kao što je opisano u [16]. Kao što je već rečeno, u toku merenja parametri su podešeni na sledeće vrednosti: BW 500, CR 4/5 i SF 12, pri čemu prijemna osetljivost uređaja nije -134 dB, što je podrazumevana vrednost, nego -128 dB. Merenja su rađena sa jednim prijemnim uređajem koji je zajedno sa antenom stacioniran na četvrtom spratu zgrade i jednim pokretnim predajnim uređajem. Osnova prijemnog uređaja je Arduino UNO na koji je direktno povezan preko SPI magistrale Libelium SX1272 LoRa™ komunikacioni modul. Uređaj je povezan preko USB kabla sa računarom, na kojem se nalazi softver na kome se vrši logovanje podataka koji su pristigli i primljeni podaci pripremaju za naknadnu analizu. Predajni uređaj koji je takođe baziran na Arduino UNO razvojnoj ploči i Libelium SX1272 LoRa™ modulu, spakovan je u kućište sa omni antenom 4,5 dBi i pratećim komponentama (slika 4a).



Slika 4. a) Arduino UNO bazirana LoRa predajna stanica i b) pozicija antene

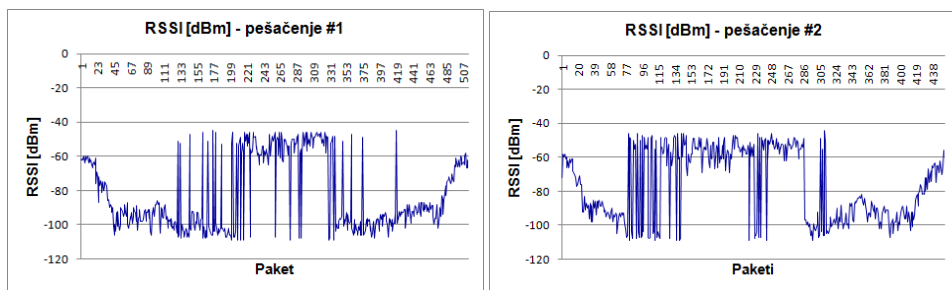
Izvršena su merenja u pet etapa. Tri puta je merenje izvršeno šetanjem i nošenjem mernog uređaja u rancu koji se nalazio na leđima, a antena je bila postavljena tako da se nalazi na otvorenom prostoru i iznad ranca. U dva navrata merni uređaj se nalazio u automobilu, ali je u jednom slučaju uređaj sa antenom bio unutar vozila, a u drugom izvan vozila.

Upotrebom Libelium biblioteka i samih modula moguće je očitavati RSSI (Received Signal Strength Indicator) i SNR (Signal-to-Noise Ratio) vrednosti za svaki

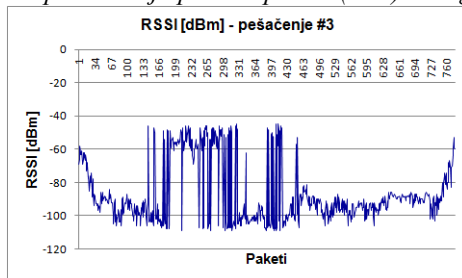
primljeni paket. Ukoliko je RSSI vrednost veća od prijemne osetljivosti uređaja tada će paket biti uspešno primljen. Takođe, ako je SNR veća od -20 dB LoRa modul je u mogućnosti da demoduliše primljene signale [7]. Da bi se povećao domet komunikacije, na strani prijemnog uređaja, korišćena je yagi antena sa dobitkom od 9 dBi i uglom zračenja od 60°. Antena je montirana spolja, na četvrtom spratu stambene zgrade, kao što je prikazano na slici 4b. Merenja su vršena u Zrenjaninu, gradu sa oko 78,000 stanovnika u gradskom području i površine od 1,324.0 km<sup>2</sup>, sa gustinom naseljenosti od 93.2 stanovnika po km<sup>2</sup>. Grad je pretežno ravničarskog tipa i sa mešovitim delovima grada sa visokom i niskom gradnjom.

#### 4. Rezultati merenja

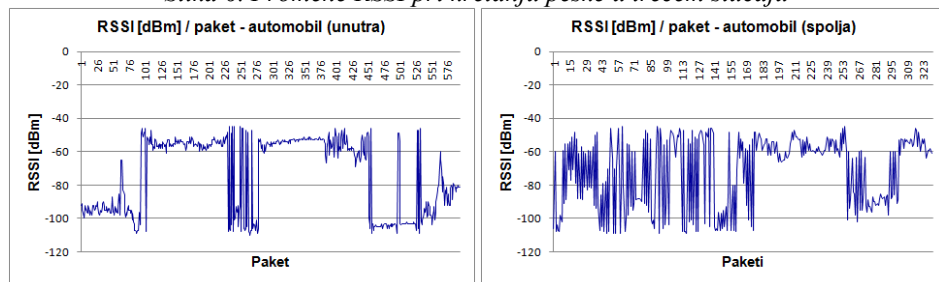
Na slikama 5. i 6. su prikazane promene RSSI u dBm za svaki primljeni paket u toku pešačenja sa senzorskom stanicom. Svaki grafikon odgovara jednom merenju. Na slici 7. su prikazane vrednosti RSSI u dBm za slučaj kada je korišćeno vozilo sa mernim uređajem unutar i izvan vozila.



Slika 5. Promene RSSI pri kretanju peške u prvom (levo) i drugom slučaju (desno)



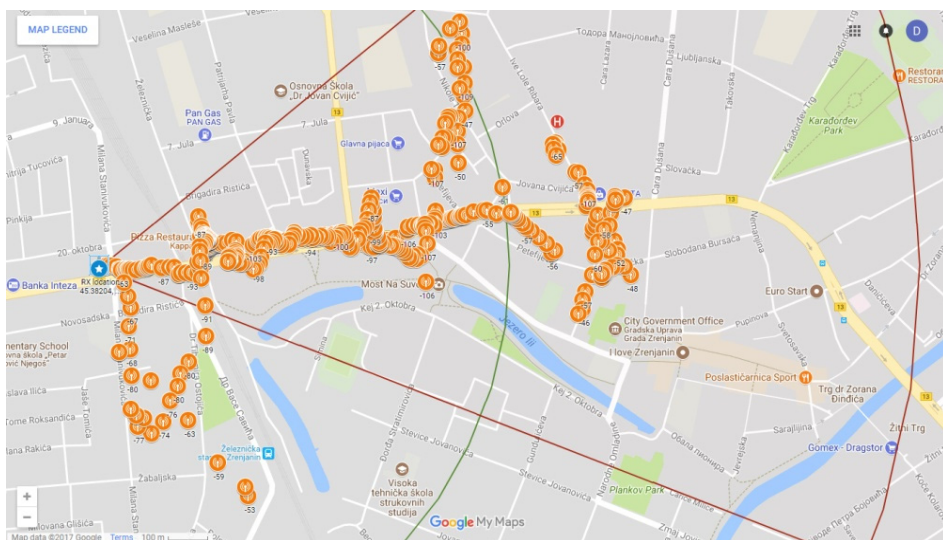
Slika 6. Promene RSSI pri kretanju peške u trećem slučaju



Slika 7. Promene RSSI pri kretanju automobilom kada je antena unutar (levo) i izvan vozila (desno)



Na slici 8. prikazana je trasa koja je korišćena u toku drugog pešačenja, tj. prikazane su lokacije sa kojih je vršeno merenje. Na slici je lokacija centralne antene i prijemnog uređaja prikazana u krugu sa zvezdicom, a linijama je prikazano područje zračenja antene. Prva kružnica predstavlja poluprečnik od 1 km, a druga poluprečnik od 2 km od centralne lokacije. Na osnovu toga se vidi da se merenja rađena na maksimalnoj daljini od oko 1,3 km od centralne lokacije.



*Slika 8. Mapa kretanja pri merenju pešačenjem u drugom slučaju*



*Slika 9. Mapa kretanja pri merenju automobilom u drugom slučaju*

Na slici 9. prikazana je trasa koja je korišćena u toku vožnje sa antenom postavljenom spolja, tj. prikazane su lokacije sa kojih je vršeno merenje. Na slici je prikazana i treća kružnica, koja predstavlja udaljenost od 3 km od centralne lokacije. Na osnovu slike se vidi da su merenja rađena na maksimalnoj daljini od oko 2,8 km.

Rezultati merenja sumirani su u tabeli 2. U njoj su, za svako od navedenih merenja, prikazani sledeći podaci: broj primljenih paketa, broj poslatih paketa, procenat ispravnih paketa koji su stigli na odredište, RSSI (Received Signal Strength Indicator) u dBm, standardna devijacija RSSI, SNR (Signal-to-Noise Ratio) u dB, standardna devijacija SNR i procenat paketa koji nisu primljeni kao ispravni ili PER (Packet Error Rate).

*Tabela 2. Rezultati merenja*

<b>Merenje</b>	<b>Primljeni pkt.</b>	<b>Poslati pkt.</b>	<b>Ispravni paketi (%)</b>	<b>RSSI</b>	<b>STDEV</b>	<b>SNR</b>	<b>STDEV</b>	<b>PER (%)</b>
Pešačenje 01	516	578	89.27	-82.22	21.21	2.97	5.88	10.73
Pešačenje 02	452	635	71.18	-76.07	20.97	0.79	7.62	28.82
Pešačenje 03	777	844	92.06	-86.59	18.11	3.86	5.53	7.94
Vozilo (spolja)	332	471	70.49	-71.21	20.92	~	7.90	29.51
Vozilo (unutra)	595	691	86.11	-73.27	22.25	~	7.03	13.89

## 5. Zaključak

U radu je prikazana analiza upotrebljivosti LoRa tehnologije za upotrebu na mobilnim senzorskim stanicama u gradskom okruženju. Merenja su vršena u tri etape pešačenjem i po jedan put putničkim vozilom, i to u slučaju kada su antena i merna stanica bile stacionirane unutar vozila i kada su antena i merna stanica smeštene izvan vozila. U svih pet merenja dobijeni rezultati su se pokazali kao veoma dobri, što opravdava upotrebu LoRa<sup>TM</sup> tehnologije i u okruženjima IoT, M2M i WSN sistema kada se zahteva i mobilnost senzorskih stanica. Dalja istraživanja mogu da obuhvate razvoj arhitekture sistema baziranog na LoRa<sup>TM</sup> uređajima, a koji za razliku od klasične veze tačka-tačka, podržava vezu tačka-više tačaka. Pored navedenog, jedan od pravaca daljeg istraživanja može da obuhvati i slične analize upotrebljivosti LoRaWA<sup>TM</sup>, SigFox i LTE-M i sličnih tehnologija u ovakvim scenarijima.

## Literatura

- [1] Trasviña-Moreno C.A., Blasco R., Casas R., Asensio Á., A Network Performance Analysis of LoRa Modulation for LPWAN Sensor Devices. In: García C., Caballero-Gil P., Burmester M., Quesada-Arencibia A. (eds) Ubiquitous Computing and Ambient Intelligence. UCAMI 2016, IWAAL 2016, AmiHEALTH 2016. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 10070. Springer International Publishing AG 2016, Cham, 2016.
- [2] 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," 2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST), Copenhagen, 2015, pp. 55-59. doi: 10.1109/ITST.2015.7377400

- [3] Augustin, A.; Yi, J.; Clausen, T.; Townsley, W.M.; A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things, Sensors, Vol. 16, No. 9, 1466, 2016. doi:10.3390/s16091466, 2016.
- [4] Ramon Sanchez-Iborra, Maria-Dolores Cano, State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services, Sensors, Vol. 16, Issue 5, 708, 2016, doi:10.3390/s16050708
- [5] G. Margelis, R. Piechocki, D. Kaleshi and P. Thomas, "Low Throughput Networks for the IoT: Lessons learned from industrial implementations," 2015 IEEE 2nd World Forum on Internet of Things (WF-IoT), Milan, 2015, pp. 181-186. doi: 10.1109/WF-IoT.2015.7389049
- [6] Sigfox, <http://www.sigfox.com/en/>, preuzeto 10.10.2017.
- [7] Waspote LoRa 868MHz 915MHzSX1272, Networking Guide, Document Version: v7.0 - 02/2017, Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L., <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-lora-868mhz-915mhz-sx1272-networking-guide/?action=download>, preuzeto 07.09.2017.
- [8] LoRa alliance, <https://www.lora-alliance.org/>, preuzeto 10.10.2017.
- [9] Weightless, <http://www.weightless.org/>, preuzeto 10.10.2017.
- [10] S. Andreev et al., "Understanding the IoT connectivity landscape: a contemporary M2M radio technology roadmap," in IEEE Communications Magazine, vol. 53, no. 9, pp. 32-40, September 2015. doi: 10.1109/MCOM.2015.7263370
- [11] Nokia, "Nokia LTE M2M - Optimizing LTE for the Internet of Things", White paper, 2014, <http://home.deib.polimi.it/cesana/teaching/IoT/2017/papers/connectivity/nokia.pdf>, preuzeto 10.10.2017.
- [12] LoRa Alliance, LoRaWAN™ What is it? A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™ Technical Marketing Workgroup 1.0, [https://docs.wixstatic.com/ugd/ecccc1a\\_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/ecccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf), preuzeto 10.10.2017.
- [13] Waspote LoRaWAN - Networking Guide, Document Version: v7.2 - 07/2017, © Libelium Comunicaciones Distribuidas S.L. <http://www.libelium.com/development/waspote/documentation/waspote-lorawan-networking-guide/?action=download>, preuzeto 07.09.2017.
- [14] Ivan Nunes Da Silva, Rogerio Andrade Flauzino, "Smart Cities Technologies", December 7, 2016 under CC BY 3.0 license, ISBN 978-953-51-2808-3, Chapter 4, The Role of Communication Technologies in Building Future Smart Cities, By Abdelfatteh Haidine, Sanae El Hassani, Abdelhak Aqqal and Asmaa El Hannani, DOI: 10.5772/64732, 2016.
- [15] GSM Association, <https://www.gsma.com/iot/long-term-evolution-machine-type-communication-lte-mtc-cat-m1/>, preuzeto 10.10.2017.
- [16] Dalibor Dobrilović, Milan Malić, Dušan Malić, Srđan Sladojević, Analyses and Optimization of Lee Propagation Model for Lora 868 MHz Network Deployments in Urban Areas, Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC), Vol. 7, No. 1, 2017.

- [17] Carlos A. Trasviña-Moreno, Rubén Blasco, Álvaro Marco, Roberto Casas, Armando Trasviña-Castro, Unmanned Aerial Vehicle Based Wireless Sensor Network for Marine-Coastal Environment Monitoring, *Sensors*, Vol. 17, Issue 460; doi:10.3390/s17030460, 2017.
- [18] Ramon Sanchez-Iborra, Maria-Dolores Cano, State of the Art in LP-WAN Solutions for Industrial IoT Services, *Sensors*, Vol. 16, Issue 708; doi:10.3390/s16050708, 2016.
- [19] A. J. Wixted, P. Kinnaird, H. Larijani, A. Tait, A. Ahmadinia and N. Strachan, "Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor networks," 2016 IEEE SENSORS, Orlando, FL, 2016, pp. 1-3, 2016. doi: 10.1109/ICSENS.2016.7808712
- [20] T. Hadwen, V. Smallbon, Q. Zhang and M. D'Souza, "Energy efficient LoRa GPS tracker for dementia patients," 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Seogwipo, 2017, pp. 771-774. 2017. doi: 10.1109/EMBC.2017.8036938

**Abstract:** *The growing popularity of the Internet of Things (IoT), Wireless Sensor Networks (WSN) and the development of new wireless technologies have shaped directions of the development of the smart city systems. Considering the importance of wireless communication in urban environments, it is necessary to conduct researches in area of implementation of the new wave of technologies that appear on the market. Wireless communication of sensor stations is essential for data transfer to centers where these data are stored, analyzed and used. The usage of this technology in smart city systems must be analyzed for both static and mobile stations. In this paper we present an analysis of the applicability of LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) technologies in sensor networks in urban environments and smart cities, with the focus on station mobility and LoRa technology. In addition to the presentation of the most important characteristics of individual LPWAN technologies, the results of measurement of LoRa technology are given.*

**Keywords:** *LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) technology, LoRa, wireless sensor networks, smart cities*

## **ANALYSIS OF LORA TECHNOLOGY PERFORMANCE IN MOBILE SENSORY STATIONS IN URBAN ENVIRONMENTS**

Dalibor Dobrilović, Milan Malić, Dušan Malić, Željko Stojanov