

# Evaluacija dometa LoRa IoT primopredajnika u urbanom i ruralnom okruženju

Dejan N. Milić, Member, IEEE, Slavimir Stošović, Dejan Stevanović i  
Jelena Anastasov, Student Member, IEEE

**Apstrakt**—U ovom radu su prikazani praktični rezultati merenja nivoa signala prilikom prenosa podataka korišćenjem platforme tipa LoRa. Iako je ciljna primena ovakvih platformi na prvom mestu internet inteligentnih objekata u urbanim okruženjima, u radu je razmotrena i mogućnost njihove primene u ruralnim okruženjima. Jedna od ideja za primenu tehnologije jeste praćenje živog sveta u okruženjima koja se nalaze van naseljenih oblasti. Domet radio veze u ovakovom okruženju može biti znatno veći nego u urbanoj sredini, zavisno od uslova optičke vidljivosti i prepreka koje se nalaze na liniji između predajnika i prijemnika. Dobijeni rezultati pokazuju da se pri povoljnim uslovima zadovoljavajući rezultati prenosa mogu dobiti i na udaljenostima većim od 10 km.

**Ključne reči**—prostiranje RF signala; LoRa; IoT, feding; efekat senke.

## I. UVOD

INTERNET inteligentnih objekata (*Internet of Things* - IoT) predstavlja koncept mreže za prenos podataka unutar koje su objekti opremljeni senzorima, softverom i uopšte – neophodnom tehnologijom u cilju razmene podataka između uređaja i sistema, preko interneta [1], [2]. Ovakav koncept je ponikao iz konvergencije više različitih tehnologija, pri čemu je ključna sposobnost komunikacija između objekata unutar mreže, kao i objekata i infrastrukture. Ove sposobnosti mogu uspešno omogućiti različite tehnologije bežičnih komunikacija [3], od kojih najvažnije spadaju u tri kategorije prema svom dometu: tehnologije kratkog, srednjeg i većeg dometa. U tehnologije kratkog dometa se ubrajaju Bluetooth, NFC, RFID, Wi-Fi, ZigBee i slične tehnologije koje imaju domet prenosa do desetak metara udaljenosti. U kategoriju tehnologija srednjeg dometa spadaju npr. LTE ili 5G, obzirom da omogućavaju pristup u okviru nekoliko stotina metara, odnosno do najbliže bazne stanice. Sa druge strane, tehnologije većeg dometa mogu biti npr. LoRa, [4], NB-IoT i slične, koje mogu omogućiti domet u krugu od nekoliko kilometara.

U ovom radu smo eksperimentalno testirali prenos LoRa

Dejan N. Milić – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: dejan.milic@elfak.ni.ac.rs).

Slavimir Stošović – Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija Niš, 1800 Niš, Srbija (e-mail: slavimir.stosovic@akademijanis.edu.rs).

Dejan Stevanović, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: stevanovic\_dejan@yahoo.com).

Jelena Anastasov – Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: jelena.anastasov@elfak.ni.ac.rs).

modula namenjenih za IoT sisteme većih dometa. Cilj testiranja jeste okvirna procena dometa ovakvih uređaja, uzimajući u obzir karakteristike prenosnog kanala [5]-[7], u dva scenarija korišćenja:

- u urbanim uslovima, odnosno uslovima koji podrazumevaju prostiranje u urbanim sredinama i zatvorenom prostoru, i
- u ruralnim uslovima, odnosno uslovima koji se odnose na otvoreni prostor i optičku vidljivost u širokom opsegu pokrivanja.

Ove informacije su neophodne kako bi se za odgovarajuću konkretnu primenu odabrala neophodna tehnologija bežičnog pristupa i sagledala izvodljivost zacrtanih ciljeva.

Struktura ovog rada je sledeća: nakon uvoda, sledi odeljak II u kome su opisani relevantni delovi korišćenog hardvera. U odeljku III predstavljena su merenja koja se odnose na evaluaciju antene, dok su odeljci IV i V posvećeni rezultatima dobijenim u urbanoj i ruralnoj sredini, respektivno. Zaključak rada sažeto je dat u poslednjem odeljku VI, nakon koga sledi zahvalnica i spisak korišćene literature.

## II. HARDVER

Hardver koji je korišćen kao test platforma je osnova projekta CANANDI, čiji je cilj realizacija komercijalnog sistema namenjenog praćenju lovačkih pasa u ruralnoj sredini. Canandi sistem se sastoji od ogrlice koju nosi pas, prijemnika koji se nalazi kod vlasnika psa i mobilne aplikacije. Komunikacija između ogrlice psa i prijemnika koji se nalazi kod vlasnika zasnovana je na tehnologiji koja podržava LoRa standard. Canandi pomaže vlasnicima da u svakom trenutku znaju lokaciju njihovih pasa, pri čemu predstavlja inovativno rešenje na tržištu jer sadrži nekoliko jedinstvenih odlika:

- Dvostruki način prenosa signala (LoRa, GSM) za povećanje pouzdanosti sistema
- IoT komunikaciona mreža između lovaca na terenu koja omogućava deljenje i korišćenje podataka za zajedničko praćenje izgubljenog psa
- Mašinsko učenje u analizi prikupljenih podataka i davanje korisnih saveta lovcima za unapređenje obuke pasa.

Primopredajnik je u osnovi komercijalno dostupan pod oznakom RFM95W, a prototip koji je korišćen u testu je realizovan sa pomenutim modulom primopredajnika. Predajni modul sadrži izlazni pojačavač snage koji je projektovan po kriterijumu optimalne efikasnosti, pri čemu tipično može da obezbedi snagu od 25 mW, odnosno +14 dBm na izlazu, kada je izlazno opterećenje realna otpornost od  $50\Omega$ . Pored

standardnih formata modulacije zasnovanih na digitalnoj amplitudskoj i frekvencijskoj modulaciji - OOK, FSK, GFSK i GMSK, koji obezbeđuju kompatibilnost sa postojećim standardima - IEEE802.15.4g i bežičnim MBUS standardom, modul ima i podršku za LoRa modulaciju/demodulaciju. Modulacija koju koristi LoRa se zasniva na prenosu signala sa proširenim spektrom, pri čemu LoRa predstavlja derivativ tehnike proširenog spektra sa frekvencijskim čirpom (CSS). Prednosti koju ovakva vrsta modulacija ima nad standardnim digitalnim modulacijama se ogledaju u boljoj osetljivosti prijemnika, koja može biti i ispod nivoa šuma ulaznog stepena, zatim u boljoj selektivnosti i smanjenju kanalne interferencije, kao i u boljim karakteristikama u pogledu efekta fedinga.

### III. ANTENA

Antena predstavlja osnovu gotovo svakog IoT projekta koji koristi bežične komunikacije. Sistem bežičnog radio prenosa suštinski zavisi od antene kao interfejsa koji je nepohodan kako bi se radio talasi efikasno emitovali u prostor izvan predajnika. Uobičajeno je da se sistem prenosa, uključujući antenu, projektuje na početku, a da se nakon toga dodaju ostali elementi sistema.

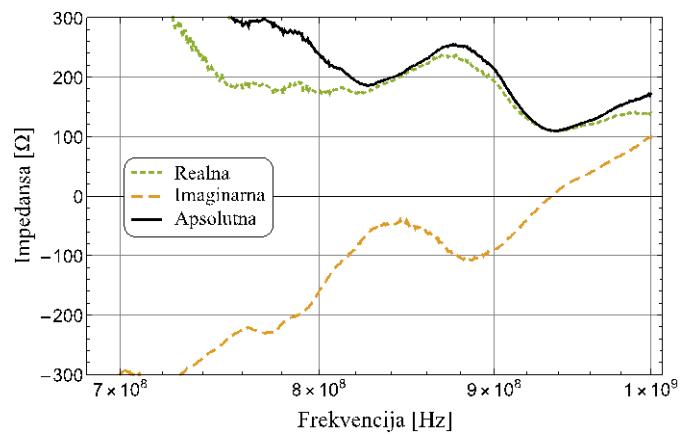
U konkretnom slučaju realizovanog prototipa antena je zamišljena kao eksterni element, a štampana ploča je realizovana tako da linija koja vodi od izlaznog stepena do konektora antene bude veoma kratka. S obzirom da u samom početku nije obavljen izbor konkretne antene, već je ostavljena sposobnost testiranja različitih mogućnosti, izlazni port antene je zamišljen kao U/FL konektor na koji je moguće priključiti različite antene radi daljeg testiranja. Sa druge strane, konkretna namena uređaja ima određena ograničenja u pogledu dimenzija, tako da je prototip korišćen prilikom testiranja umesto direktnog montiranja antene imao opciju napojnog voda koji sa jedne strane ima U/FL konektor, a sa druge strane SMA konektor koji se montira na plastično kućište uređaja.

Antena koja je korišćena u ovom testu je monopol antena niske nabavne cene, sa ravnim SMA konektorom, prikazana na slici 1.



Sl. 1. Eksterna antena uređaja.

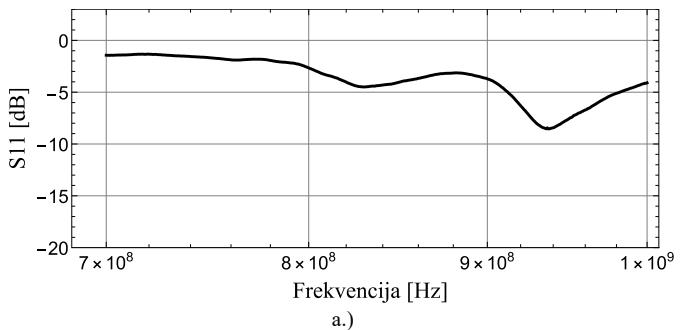
Obzirom da monopol antena zahteva ravan uzemljenja koja u ovom prototipu nije predviđena, intuitivno se može prepostaviti da njene karakteristike nisu optimalne. Zbog toga



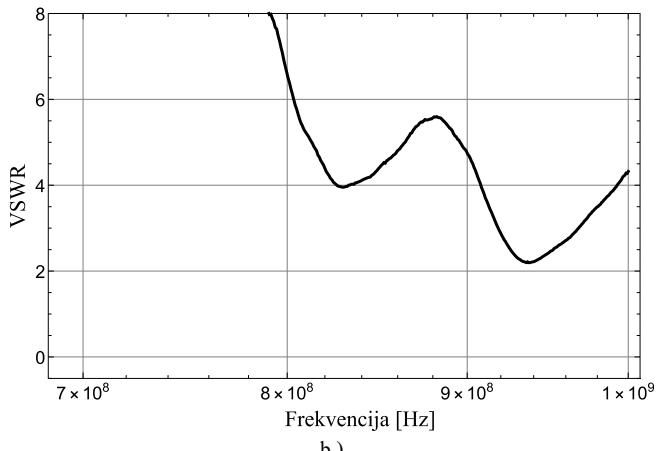
Sl. 2. Realni i imaginarni deo imedanse antene, izmereni u odsustvu ravni uzemljenja.

smo najpre obavili merenje impedanse ove antene u konfiguraciji sa koaksijalnim napajanjem, bez postojanja ravni uzemljenja. Dobijeni rezultati su prikazani na slici 2. Sa slike se vidi da na frekvenciji 868 MHz impedansa antene iznosi oko  $250\ \Omega$ . Impedansa je primarno realna, dok imaginarni deo impedanse iznosi oko  $-100\ \Omega$ .

Kako u realizaciji projekta još uvek nije donesena odluka o korišćenju konkretne antene, dalji koraci ka prilagođenju antene nisu preduzimani i testiranje prototipa je nastavljeno bez implementacije kola za prilagođenje. Jedan od faktora koji doprinosi ovakvoj odluci jeste i koaksijano napajanje antene



a.)



b.)

Sl. 3. a) Koeficijent refleksije i b) naponski koeficijent stopečih talasa.

putem RG174 kabla čija dužina nije precizno kontrolisana, tako da bi prilagođenje moralo da se posebno projektuje za svaki od uređaja na osnovu izmerenih vrednosti impedanse. Imajući ove činjenice u vidu, izmerene su karakteristike refleksije za konkretni slučaj i rezultati su prikazani na slici 3.

Slika 3. pokazuje da koeficijent refleksije,  $S_{11}$ , gledano od strane SMA konektora iznosi oko -3 dB, što odgovara naponskom koeficijentu stojećih talasa od 5.5. Iako ove vrednosti nisu blizu optimalnih, iz pomenutih razloga kolo za prilagođenje nije dalje razmatrano, već su performanse testirane sa datim prototipom uz komentar da će njihovo poboljšanje definitivno biti moguće u daljoj realizaciji projekta.

#### IV. TEST U URBANOJ SREDINI

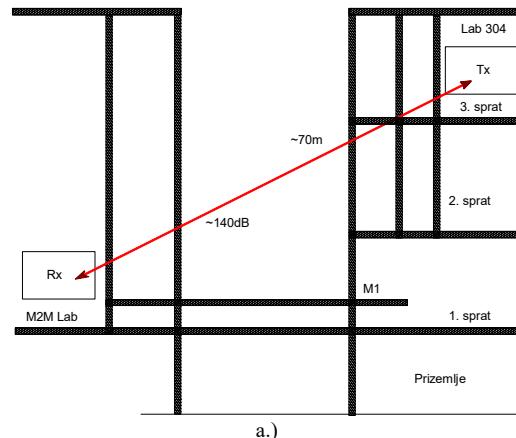
Iako su IoT uređaji koji sadrže LoRa module obično deklarisani kao uređaji dugog dometa, u urbanim sredinama ovakvu tvrdnju treba prihvatići sa izvesnom rezervom. Pri prostiranju u urbanoj sredini, radio signal podleže različitim propagacionim efektima od kojih su dominantni [8], [9]:

- efekat fedinga, i
- efekat senke

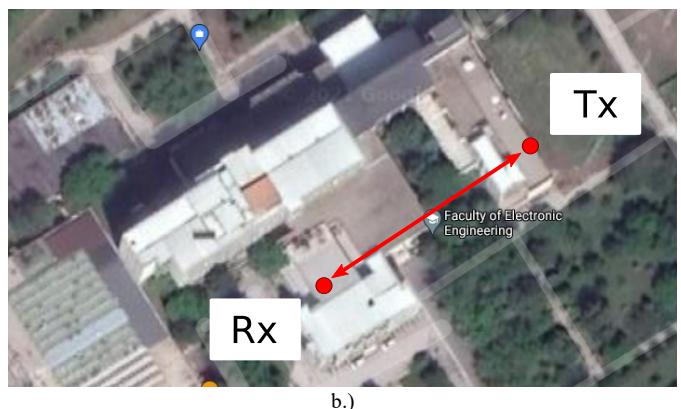
Feding nastaje kao posledica interferencije više talasa koji se prostiru različitim mogućim putanjama između predajnika i prijemnika. Obzirom da u urbanim sredinama postoji veći broj ravnih/neravnih površina koje mogu biti reflektivne ili predstavljati centre rasejanja radio talasa, na mestu prijema će doći do suštinskog kombinovanja velikog broja komponenti signala, koje imaju različite amplitude i faze. Kombinovanje može biti konstuktivno ili destruktivno, zavisno od konkretne raspodele faza i kašnjenja signala [8]. U vezi sa različitim raspodelama komponenti signala, mogu se formulisati različiti modeli fedinga koji na statistički način tretiraju ove propagacione efekte [10].

U testu koji se odnosi na urbanu sredinu, odlučili smo da predajnik i prijemnik udaljimo do te mere da signali na prijemu budu iznad nivoa šuma, kako bismo mogli da ih detektujemo sa relativno velikom verovatnoćom, odnosno tako da verovatnoća otkaza prenosa bude niska. Ovakvu situaciju smo postigli postavljanjem predajnika u laboratoriju 304 na Elektronskom fakultetu, dok je prijemnik bio smešten u suprotnom delu zgrade, u prostorije M2M laboratorije koja je trenutno u procesu osnivanja. Šematski prikaz pozicija predajnika i prijemnika, kao i fotografija iz vazduha na kojoj su označene ove pozicije, predstavljene su na slici 4.

Udaljenost predajnika i prijemnika je oko 70 m, pri čemu je ukupno slabljenje na ovoj deonici oko 140 dBm. Obzirom da se slabljenje u slobodnom prostoru može proceniti na 68 dB pod pretpostavkom izotropne antene, ostatak slabljenja se mora pripisati slabljenju na zidovima na putu prostiranja, što iznosi oko 72 dB. Sa slike 4.a se vidi da se na putu prostiranja nalazi 5 horizontalnih zidova i jedna podna površina, pa se može proceniti da je slabljenje na individualnom betonskom zidu/podu oko 12 dB.



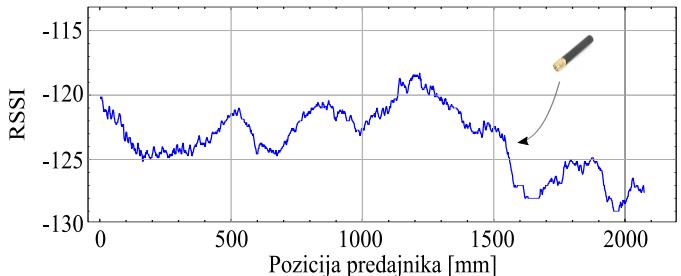
a.)



b.)

Sl. 4. Šematski prikaz lokacija predajnika i prijemnika unutar zgrade Elektronskog fakulteta prilikom procene propagacionih efekata za slučaj urbane sredine.

Konkretna realizacija efekta fedinga je proučena za ovaj slučaj korišćenjem mehanizma za precizno pozicioniranje predajnika u laboratoriji 304. Prilikom pomeranja predajnika duž linijske putanje sa korakom od 1 mm, na prijemu je svaki put zabeležen nivo primljenog signala. Procena primljenog nivoa se oslanja na informaciju dobijenu od samog prijemnika, a ova informacija se beleži u obliku indikatora jačine primljenog signala (RSSI), koji približno odgovara primljenoj snazi u jedinicama dBm. Na slici 5. je prikazan skup prikupljenih podataka dobijenih skeniranim putanje predajnika u dužini od 2.1 m, koji sadrži ukupno 2100 tačaka. Potrebno je pomenuti da ispod indikatora -129 nije primljen ni jedan paket, odnosno svi primljeni paketi su iznad ovog nivoa.



Sl. 5. Indikator jačine signala na prijemu u zavisnosti od precizne pozicije predajnika, za slučaj prostiranja u urbanoj sredini.

Ovde treba navesti da su parametri komunikacije podešeni na sledeći način: propusni opseg – 62,5 kHz, faktor proširenja spektra – 10, kodni faktor – 4/5, što odgovara bitskoj brzini od 488 b/s. Naravno, niska bitska brzina odgovara IoT namenama koje prenose malu količinu podataka, zauzimajući zadati kanal u toku veoma kratkog vremenskog intervala i sa relativno velikom pauzom između sukcesivnih transmisija.

Svakako, treba imati u vidu i prirodu modulacije sa proširenim spektrom, koja obezbeđuje izvesni nivo imunosti na efekat fedinga u odnosu na uskopojasne signale. Obzirom da je ukupna varijacija signala usled efekta fedinga iznosila oko +/-5 dB, očigledno je da u urbanim uslovima, kada ne postoji linija direktnе optičke vidljivosti između predajnika i prijemnika, osnovni problem sistema predstavlja efekat senke oličen u slabljenju na fizičkim preprekama.

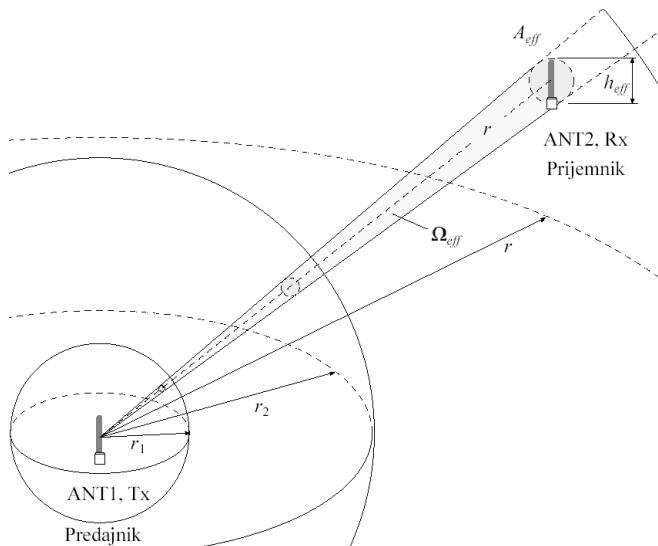
## V. TEST NA OTVORENOM PROSTORU

Kada se razmatraju performanse IoT sistema zasnovanog na LoRa primopredajnicima u ruralnim uslovima, treba uočiti da su tada propagacioni efekti značajno različiti od uslova u urbanim sredinama. Snaga signala na prijemu se usled prostiranja u slobodnom prostoru može proceniti shodno ilustraciji na slici 6. i poznatim parametrima koji se odnose na izotropnu antenu, kao [6]:

$$[P_{Rx}]_{dB} = [P_{Tx}]_{dB} + 2 \left( 10 \log_{10} \frac{c}{4\pi f_0} - 10 \log_{10} r \right) \quad (1)$$

Analizom ove jednačine može se utvrditi da slabljenje koje odgovara nivou osetljivosti prijemnika zahteva ekstremno velike udaljenosti. Ova činjenica ima i praktičnu potvrdu u merenjima koja su pokazala da je u povoljnim uslovima pri kojima postoji linija optičke vidljivosti, prijem LoRa signala moguć i na udaljenostima većim od 700 km. U pomenutom slučaju je optička vidljivost obezbeđena time što je predajnik podignut na visinu od 38 km uz pomoć meteorološkog balona.

Jedna od osnovnih pretpostavki je da u ruralnim uslovima može postojati optička vidljivost između predajnika i



Sl. 6. Ilustracija slabljenja u slobodnom prostoru.

prijemnika. Ipak, ovu pretpostavku treba uzeti sa rezervom jer je upadljivo zavisna od konfiguracije terena. Čak i kada pretpostavimo da na površini Zemlje ne postoje užvišenja i udubljenja, odnosno kada Zemljinu površinu posmatramo kao savršenu sferu, jednostavnim geometrijskim razmatranjem možemo doći do formule koja opisuje maksimalnu daljinu optičke vidljivosti u zavisnosti od visine na kojoj je postavljena antena. Ova formula se može aproksimirati izrazom:

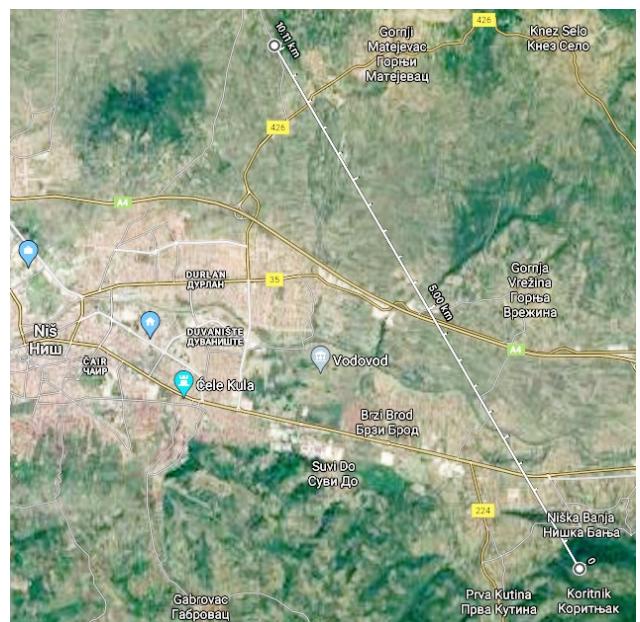
$$d_{[km]} \approx 3.57 \sqrt{h_{[m]}}, \quad (2)$$

u kome je domet  $d$  izražen u kilometrima, a visina na kojoj je postavljena predajna antena -  $h$ , u metrima. U tabeli I je prikazana udaljenost horizonta za različite visine postavljanja antene.

TABELA I  
TEORIJSKI RADIO-HORIZONT KADA JE ANTENA POSTAVLJENA NA RAZLIČITIM VISINAMA IZNAD POVRŠINE ZEMLJE

Pozicija antene iznad nivoa zemlje [cm]	Domet [km]
10	1.13
30	1.95
60	2.77
100	3.57
200	5.05

U konkretnom eksperimentu koji smo izveli na otvorenom prostoru, pouzdana i uspešna veza je ostvarena između predajnika na brdu Čegar i prijemnika na lokaciji iznad Niške Banje, na rastojanju od oko 10 km, uz uslov da između njih postoji optička vidljivost (Slika 7). RSSI vrednost je tom prilikom iznosila oko -125.



Sl. 7. Deonica uspešnog prenosa na daljinu većoj od 10 km kada postoji optička vidljivost.

## VI. ZAKLJUČAK

U radu su predstavljeni rezultati eksperimentalne procene dometa LoRa primopredajnika za IoT u urbanom i ruralnom okruženju. Dobijeni rezultati za urbanu sredinu pokazuju da je efekat senke dominantan uticaj u ukupnom slabljenju signala kada ne postoji optička vidljivost između predajnika i prijemnika, dok je uticaj fedinga tada znatno manji. U zatvorenom prostoru se usled ovoga veoma brzo smanjuje nivo signala sa povećanjem udaljenosti i broja prepreka, pa se može očekivati da će domet biti za nekoliko redova veličine manji od specifikacija za otvoreni prostor. Zbog toga je u zatvorenom prostoru pogodnije koristiti neke od tehnologija kratkog dometa, pri čemu treba obezbediti da predajnik i prijemnik budu fizički u međusobnoj poziciji kojom je omogućen uspešan prenos. Sa druge strane, u otvorenom prostoru se dobri rezultati u pogledu dometa mogu očekivati kada između predajnika i prijemnika postoji linija direktnе optičke vidljivosti. U ovakvim slučajevima domet može biti i veći od 10 km, što je eksperimentalno potvrđeno na terenu. U slučaju da ne postoji optička vidljivost, ili da na liniji optičke vidljivosti postoje prepreke, domet će biti znatno manji, zavisno od specifičnosti određene situacije.

## ZAHVALNICA

Projekat CANANDI finansira Fond za inovacionu delatnost iz budžeta Republike Srbije sa razdela Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja, a kroz Projekat za unapređenje konkurentnosti i zapošljavanja (sporazum o zajmu sa Svetskom bankom).

## LITERATURA

- [1] L. Farhan, R. Kharel "Internet of Things: Vision, Future Directions and Opportunities," In: Mukhopadhyay S., Jayasundera K., Postolache O. (eds) *Modern Sensing Technologies. Smart Sensors, Measurement and Instrumentation*, vol 29. Springer, Cham., 2019.
- [2] E. Sisinni, A. Saifullah, S. Han, U. Jennehag and M. Gidlund, "Industrial Internet of Things: Challenges, Opportunities, and Directions," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 14, no. 11, pp. 4724-4734, Nov. 2018.

- [3] M. Sauter, *From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G: An Introduction to Mobile Networks and Mobile Broadband*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2017.
- [4] A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, W.M. Townsley, "A study of LoRa: Long range & Low Power Networks for the Internet of Things," *Sensors*, 16, 1466., 2016.
- [5] I. Ahmed, S. Orfali, T. Khattab and A. Mohamed, "Characterization of the indoor-outdoor radio propagation channel at 2.4 GHz," *2011 IEEE GCC Conference and Exhibition (GCC)*, pp. 605-608, 2011.
- [6] E. N. Sharma and G. C. Lall, "Enhancement and Character-ization of Indoor Propagation Models," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 2, no. 11, pp. 1-7, Nov. 2011.
- [7] E. Suikkanen, A. Tölli and M. Latva-aho, "Characterization of propagation in an outdoor-to-indoor scenario at 780 MHz," *21<sup>st</sup> Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 70-74., 2010.
- [8] P. M. Shankar, *Fading and Shadowing in Wireless Systems*, NewYork, NY, USA: Springer Science Business Media, 2012.
- [9] B. Liu, B.P. Otis, S. Challa, P. Axon, C. Chou and S.K. Jha "The impact of fading and shadowing on the network performance of wireless sensor networks," *International Journal of Sensor Networks*, vol. 3, no. 4 pp. 211-223, 2008.
- [10] S. Popa, N. Draghiciu and R. Reiz: "Fading Types in Wireless Communications Systems", *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 1, pp. 232-237, 2008.

## ABSTRACT

In this paper we report practical results of signal level measurements during data transmission using a LoRa-based platform. Although the target applications for these platforms are primarily Internet of Things in urban environments, the paper also considers their use in rural surrounding. One of the ideas for an application is monitoring animals in environments that are located outside inhabited areas. Range of radio links in these environments can be significantly larger than in urban environments, depending on conditions of optical line-of-sight and obstacles located between the transmitter and the receiver. Practical results indicate that under favorable conditions acceptable transmission results can be achieved even at ranges beyond 10 km.

## Range evaluation of LoRa IoT transceivers in urban and rural environment

Dejan N. Milić, Slavimir Stošović, Dejan Stevanović,  
Jelena Anastasov