

PREDLOG ARHITEKTURE SOFTVERSKOG ALATA ZA ANALIZU LoRa SAOBRAĆAJA

Milan Malić¹, Dalibor Dobrilović², Dušan Malić³, Željko Stojanov⁴

¹Panonit, Novi Sad, milanmalic@outlook.com

²Univerzitet u Novom Sadu – Tehnički Fakultet “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin,
dalibor.dobrilovic@uns.ac.rs

³Visoka tehnička škola strukovnih studija u Zrenjaninu, Zrenjanin,
dusan.malic@outlook.com

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

Rezime: Brza ekspanzija upotrebe IoT uređaja tokom poslednjih nekoliko godina, kako u poslovnim tako i u privatnim aplikacijama, značajno je uticala na razvoj u oblasti novih komunikacionih tehnologija. LoRa, kao LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) tehnologija, sa svojim karakteristikama kao što su mala potrošnja električne energije i veliki domet, postala je veoma popularna i pokazala se kao jedno od potencijalnih rešenja za realizaciju bežičnih senzorskih mreža u raznim okruženjima. Njena upotreba je opravdana u mrežama koje su realizovane na otvorenom i zatvorenom prostoru na području velike površine u kojima su dovoljne male brzine prenosa podataka. Cilj ovog rada je predlog rešenja softverske arhitekture za analizu LoRa saobraćaja i kvaliteta veze. Rad se bavi dizajnom potrebnog hardvera, kao i protokola za uspostavljanje i testiranje veze. Takođe, u radu će biti predstavljena arhitektura aplikacije, kao i obrasci za analizu prikupljenih i obrađenih podataka.

Ključne reči: LoRa, IoT, WSN, analiza LoRa saobraćaja, propagacija radio talasa

1. Uvod

Porast broja *Internet of Things* (IoT) uređaja i njihova sve veća upotreba, kako u industriji tako i u domaćinstvima, značajno je uticao na razvoj novih komunikacionih tehnologija. Ukoliko se sagledaju mnogobrojna istraživanja iz oblasti komunikacionih tehnologija i njihove upotrebe u IoT sistemima, može se uočiti nagli trend u vidu primene IoT uređaja u industrijske svrhe, kao i u sistemima pametnih gradova. Količina informacija koju je moguće sakupiti i preneti uz pomoć ovih novih tehnologija, ukazuje na to da su one postale jedan od osnovnih stubova oslonaca nove tehnološke ere.

Postojeća rešenja u domenu bežičnog prenosa podataka, kao što su *Wireless Personal Area Networks* (WPAN) tj. Bluetooth, ZigBee, Z-Wave i sl. tehnologije, *Wireless Local Area Networks* (WLAN) ili IEEE 802.11 standard i mobilne tehnologije (2G/3G/4G), imaju u današnje vreme veliki udeo u IoT sistemima [1]. S druge strane, novija *Low-Power Wide Area Networks* (LPWAN) rešenja poput LoRa, SigFox i NB-IoT,

fokusiraju se na smanjenu potrošnju energije i povećanje udaljenosti. Uz pomoć ovih tehnologija moguće je poslati podatke sa velike udaljenosti, posebno u gradskom i prigradskom području i sa teško pristupačnih mesta, i sve to uz minimalnu količinu utrošene energije. Danas, preko 25 miliona uređaja koriste neki od komunikacionih tehnologija poput SigFox, LoRa, i NB-IoT. Jedna od glavnih njihovih karakteristika svakako jeste ekstremno dug životni vek baterije i mogućnost prenosa podataka na velikim udaljenostima, u nekim slučajevima i preko 20 km. Upravo ovo što je navedeno jasno ukazuje na značaj ovih komunikacionih tehnologija u njihovoj budućoj primeni. Važno je istaći da se na osnovu iste statistike [1] može očekivati nagli porast u primeni LPWAN tehnologija, gde su očekivanja da će preko 2 milijarde uređaja bude konektovano u narednom periodu.

IoT okruženja utiču na još jednu novinu. Velika količina generisanih podataka od strane IoT uređaja svakako predstavlja jednu od poteškoća sa kojima se suočavaju moderne softverske arhitekture. Kako bi se sačuvali i analizirali generisani podaci u realnom vremenu, kod sistema sa kritičnim odzivom, potrebno je razviti nove arhitekture aplikacija koje mogu da odgovore na ove potrebe. Prema [2, 3, 4] jedno od najadekvatnijih rešenja za sistem skladištenja velike količine podataka jeste MongoDB iz razloga što klasične relacione baze ili Relational DataBase Managements Systems (RDBMS) ne mogu odgovoriti na potrebe nametnute od strane IoT okruženja. Ukoliko se uzme u obzir veliki broj IoT uređaja koji u okviru jednog sistema prikupljaju informacije o okruženju, može se zaključiti da se moderne softverske arhitekture u IoT okruženjima takođe susreću sa problemom koji se ogleda u načinu skladištenja podataka. Dosadašnja primena relacionih sistema za skladištenje podataka (RDBMS) suočava se sa problemima u vidu performansi. Ne relacioni sistemi baza podataka (NoSQL) poput MongoDB-a se sve češće koriste od strane poslovnih organizacija kako bi se skladištili podaci prikupljeni od strane IoT uređaja.

Na osnovu sve većeg značaja koje LPWAN tehnologije imaju u IoT sistemima, u ovom radu je dat opis softverske aplikacije koja se koristi za analizu performansi LoRa saobraćaja i analizu kvaliteta veze. Softverska aplikacija koristi i merne uređaje (LoRa predajnik i prijemnik) koji su zasnovani na hardveru otvorenog koda. Kako je upotreba NoSQL baza podataka u IoT okruženjima sve prisutnija, aplikacija umesto klasičnih SQL baza podataka koristi NoSQL bazu MongoDB. Upotreba NoSQL baza u ovoj fazi razvoja aplikacije ne donosi nikakve prednosti samoj aplikaciji u odnosu na upotrebu SQL baza, ali autorima daje vredno iskustvo koje se može primeniti u razvoju aplikacije u sistemima u kojima se generišu i skladište velike količine podataka.

Ovaj rad je strukturiran na sledeći način: posle uvoda u sekciji 2 prezentovana su istraživanja koja su poslužila kao motivacija za izradu aplikacije za analizu LoRa saobraćaja; u sekciji 3 prikazana je arhitektura sistema i protokol merenja saobraćaja; u sekciji 4 prikazan je predlog arhitekture softverskog alata; i u sekciji 5 prikazana su zaključna razmatranja.

2. Dosadašnja istraživanja

U ovoj sekciji prikazana su istraživanja koja su poslužila kao motivacija za izradu aplikacije koja se može koristiti na terenu za prikupljanje i analizu podataka o kvalitetu LoRa veze i dometu LoRa uređaja. U istraživanju [5] prikazani su rezultati evaluacije performansi LoRaWAN tehnologije koja je izvršena u tri scenarija, tj. u gradskom, prigradskom i ruralnom području u slučajevima statičnih i mobilnih LoRa stanica. Rezultati su pokazali da na otvorenom prostoru može da se postigne pouzdana komunikacija na daljinama do 18 km, dok je u urbanom području daljina koja je postignuta je kraća od 3 km. Istraživanje performansi LoRa uređaja [6] pokazalo je da u prigradskim

područjima može da se ostvari komunikacija na udaljenosti do 10 km u slučajevima kada se koriste manje brzine prenosa podataka. U slučajevima kada se poveća brzina prenosa podataka, maksimalni domet se smanjuje na 7 km.

Različita istraživanja pokrivaju različita gradska područja. Tako je u [7] istraživanje vršeno u unutrašnjem i spoljašnjem okruženju u okviru univerzitetskog kampusa u gradu Lilu (Lille) na severu Francuske. Kampus ima ukupno 145 zgrada. Test je pokazao da LoRAWAN tehnologija pokazuje dobre performanse u okviru celog kampusa. Istraživanje koje je objavljeno u [8] izvršeno je na području grada Padove i pokazalo je da su iskustva sa upotrebom LoRa tehnologije veoma pozitivna.

Za aplikaciju koja je prikazana u ovom radu posebno su interesantna istraživanja u kojima se vrši analiza LoRa performansi na osnovu merenja koja su vršena na terenu. Merenja su zasnovana na podacima za RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) signala kao i na procentu isporučenih paketa sa većeg broja lokacija i u različitim okruženjima. Istraživanje [9] su izvršili autori ovog rada u Zrenjaninu 2017. godine na 17 lokacija. U nemačkom gradu Ofenburg (*Offenburg*) izvršeno je istraživanje 2014. godine na 11 lokacija [10]. U Dortmundu, Nemačka, izvršeno je merenje na 4 lokacije u unutrašnjem i 4 lokacije u spoljašnjem okruženju [11].

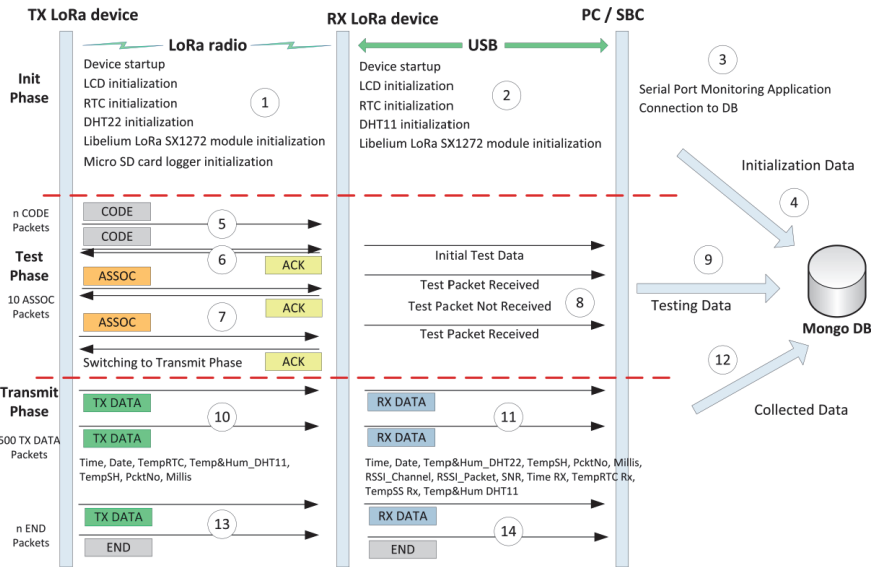
3. Arhitektura sistema

Eksperiment u kojem je korišćena aplikacija, predstavljen je u okviru tehničkog rešenja [12]. Eksperiment je izvršen u gradu Zrenjaninu. Grad je pretežno ravničarskog tipa i sa pretežno niskom gradnjom. Prilikom izvođenja eksperimenta, na strani predajnika, korišćena je omni-direkciona antena sa pojačanjem od 4.5 dBi, a na strani prijemnika eksterna *yagi* antena 9dBi sa uglom zračenja 60°.

U toku merenja previđeno je da se koriste tri uređaja, a to su: predajnik (Tx), prijemnik (Rx) i računar sa aplikacijom za analizu saobraćaja. Predajna stanica je zasnovana Arduino MEGA razvojnoj ploči, sa Libelium multiprotokol *shield*-om i Libelium LoRA SX1272 komunikacionim modulom.

Osnova prijemnog uređaja je Arduino MEGA koji je direktno povezan sa Libelium SX1272 LoRa komunikacionim modulom preko SPI magistrale. Prijemni uređaj je povezan preko USB kabla sa računarom. Na računaru se nalazi softver na kome se vrši skladištenje i dalja analiza podataka koji su pristigli. Detaljnije opis arhitekture uređaja za merenje, koji su zasnovani na hardveru otvorenog koda, može se naći u referenci [12].

Na slici 1 dat je shematski prikaz korišćenog protokola za analizu LoRa saobraćaja [12]. Kao što se može uočiti sa slike 1 protokol razdvaja merenje u tri faze. U toku prve faze vrši se startovanje uređaja kroz inicijalizaciju LCD (*Liquid Crystal Display*) ekrana, RTC (*Real Time Clock*) uređaja, DHT22 senzora, komunikacionog modula i MicroSD modula. Nakon toga se inicijalizuje proces prikupljanja podataka (1). S druge strane, na prijemniku se odvija ista procedura izuzev poslednjeg koraka, tj. ne vrši se inicijalizacija logera iz razloga što će svi primljeni podaci biti sačuvani u bazi podataka koja se nalazi na računaru. Kada je reč o serijskoj komunikaciji između prijemnika i računara ona će se odvijati u jednom pravcu, pri čemu je prijemnik taj koji će generisati poruke. U slučaju predajnika, *Serial Peripheral Interface* (SPI) magistrala se koristi za slanje poruka na microSD kao i moguću komunikaciju preko USB porta za dodatne potrebe kao što je *debugging* (2), pri čemu se dodatno uspostavlja konekcija sa računarom putem serijskoga porta (3). Takođe, u ovoj fazi, računaru i MongoDB bazi šalju se podaci o inicijalizaciji uređaja (4).



Slika 1. Protokol postupka merjenja [12]

Druga faza je test faza. Ona započinje slanjem paketa, od strane predajnika, koji identifikuje merenje (5). Slanje test paketa neće započeti sve dok prijemna strana ne pošalje potvrdni paket (6) koji ukazuje na to da je prijemnik uspešno primio i obradio inicijalni paket. Zatim se započinje sa slanjem test paketa. Tokom ove faze, razmenjuje se 10 paketa pri čemu će prijemnik za svaki uspešno primljeni paket, poslati poruku u vidu potvrde (7). Važno je istaći da se na test paket, na prijemnoj strani, čeka 10 sekundi. Ukoliko se isti ne pojavi u predefinisanoj periodu, taj paket će biti proglašen ne validnim (8). Svi podaci koji su primljeni šalju se aplikaciji na PC računaru na analizu i MongoDB na čuvanje (9). Ukoliko je više od 30% paketa uspešno primljeno i obrađeno, test faza se proglašava uspešnom i treća faza se pokreće. Ukoliko je manje od 30% uspešno primljeno, dalje merenje se prekida i lokacija se proglašava lošom za postavljanje LoRa stanice.

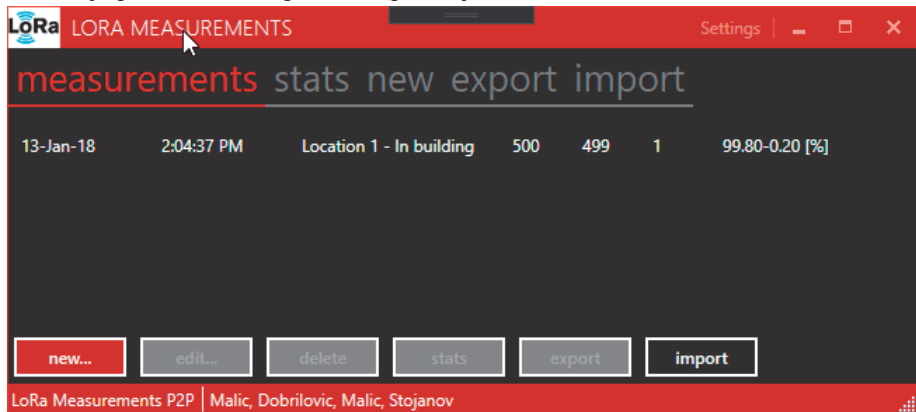
Tokom treće faze, faze merjenja, šalje se 500 paketa sa strane predajnika na stranu prijemnika (10). U ovoj fazi se ne šalje potvrdni signal od strane prijemnika, koji ukazuje na to da je paket primljen. Svi uspešno primljeni paketi se prosleđuju aplikaciji na analizu (11), a zatim na skladištenje u MongoDB bazu (12). Nakon slanja 500 paketa, šalje se kontinuirano paket sa porukom END (14) koja ukazuje na to da je merenje završeno, pri čemu se nakon prvog uspešno obrađenog paketa na strani prijemnika obaveštava računar o tom prekidu (14).

4. Opis funkcionalnosti aplikacije

Danas, kako bi se odgovorilo na izazove koje moderne IT arhitekture postavljaju neophodno je primenjivati nove načine razvoja aplikacija. U izradi aplikacije za analizu LoRa saobraćaja primenjeni su neki od savremenijih pristupa u razvoju. Jedan od njih svakako jeste primena *Model-View-ViewModel* (MVVM) šablona. Reč je o strukturiranom dizajnerskom šablonu koji ima za cilj razdvajanje grafičkog korisničkog interfejsa od biznis logike aplikacije, odnosno *back-end* dela. MVVM je razvijen od strane arhitekata kompanije Microsoft Kena Kupera i Teda Petersa kako bi se pojednostavio korisnički interfejs kod programiranja vođenog događajima (*event-driven programming*).

Stoga, jedno od osnovnih načela koja aplikacija treba da implementira jeste MVVM šablon iz razloga što događaji kreirani od strane prijemnika trebaju da budu pokretači određenih funkcionalnosti na aplikaciji.

Kada je reč o korisničkom grafičkom interfejsu, potrebno je izdvojiti nekoliko celina, a to su: lista dosadašnjih merenja, kreiranje novog merenja, proces testiranja konekcije, proces obrade podataka i sekcija za prikaz statistički obrađenih podataka. Na slici 2 dat je prikaz osnovnog ekrana aplikacije.



Slika 2. Osnovni dijalog aplikacije

Kao što se može uočiti sa slike 2 početni prozor aplikacije prikazuje listu dosadašnjih merenja. Lista treba da se sastoji od nekoliko osnovnih informacija o izvršenom merenju, kao što su, datum merenja, vreme merenja, naziv merenja, maksimalan broj paketa merenja, broj uspešno obrađenih paketa, broj neispravnih paketa paketa, kao i procentualno izražen odnos između broja primljenih i izgubljenih paketa.

Pored osnovnog prozora, kao i prethodno navedenih funkcionalnosti, aplikacija bi trebala da sadrži funkcionalnosti za izvoz i uvoz podataka u nekom standardizovanom formatu. S obzirom, da se za sistem čuvanja podataka predlaže MongoDB, izvoz je preporučljivo ostvariti u JSON (JavaScript Object Notation) formatu.

Isto tako, aplikacija bi trebala da poseduje funkcionalnost brisanja i modifikovanja prethodnih merenja. Naravno, pristup ovim funkcionalnostima trebalo bi da bude zaštićen od slučajnog brisanja i modifikovanja.

Kreiranje novog merenja ostvaruje se klikom na dugme „new...” koje se nalazi u donjem levom uglu aplikacije. Prozor za dodavanje novog merenja sastoji se od tri dela. Prvi deo odnosi se na unos meta-podataka o merenju, dok se drugi i treći deo koriste za prikaz podataka u realnom vremenu koji su pristigli tokom sve tri faze protokola merenja opisanog u poglavlju 3. Na slici 3, dat je prikaz prozora za dodavanje novog merenja. Prozor je podeljen u tri celine po kolonama.

Pod meta-podacima se podrazumevaju podaci kao što je kada je merenje započeto, naziv merenja, tip merenja (tačka-tačka ili P2P, tačka-više tačaka ili M2P, rešetka ili Mash), podaci o GPS koordinatama predajnika i prijemnika, maksimalan broj paketa merenja, i slično. Po unosu svih navedenih podataka, korisnik pokreće merenje klikom na dugme start, koje se nalazi na dnu ove kolone. U slučaju da prijemnik nije povezan iz bilo koga razloga sa računarom potrebno je obavestiti korisnika o tome i sačekati određeni vremenski period da korisnik učini isto. S obzirom da je aplikaciju potrebno razviti tako da je vođena događajima, po detekciji uspešnog povezivanja prijemnika sa računarom potrebno je da aplikacija samostalno nastavi dalje sa radom.



Slika 3. Dodavanje novog merenja

Podaci u drugoj i trećoj koloni, predstavljeni na slici 3, automatski se popunjavaju tokom merenja. Polja u drugoj koloni predstavljaju podatke iz prve dve faze protokola merenja koje je prikazan u poglavlju 3. Prvi i drugi segment ove kolone odnose se na podatke vezane za inicijalizaciju prijemnika, dok se treći segment odnosi na podatke obrađene tokom test faze protokola.

U drugoj koloni, korisnik najpre može da vidi podatke očitane sa senzora prijemnika kao što je DHT senzor koji daje podatke o temperaturi i vlažnosti vazduha, a potom detaljne informacije sa kojim parametrima je inicijalizovan LoRa modul. Treći segment sadrži informacije o nazivu log datoteke sa predajnika koja će biti smeštena na MicroSD kartici, unikatno obeležje merenja (*Measurement code*), kako i statistički obrađene informacije o tome koji paket je uspešno stigao na prijemnik. Ukoliko je test faza uspešno kompletirana, aplikacija beleži informaciju o promeni režima rada koja je definisana protokolom.

Kao što se može zaključiti, na ovaj način korisnik u realnom vremenu može da vidi statistički obrađene podatke ovih faza i da dobije informacije o tome da li treba da nastavi merenje ili ne po završetku test faze.

Treća kolona prozora, sa slike 3, prikazuje informacije u realnom vremenu o obrađenim paketima kako sa strane prijemnika tako i sa strane predajnika. Sva očitavanja kao što su RSSI, SNR, RSSI kanala, kao i podaci koji mogu da utiču na konekciju kao što su vlažnost vazduha, temperatura, itd. se obrađuju i skladište u MongoDB radi dalje analize.

Po uspešno završenom merenju svi podaci se nalaze u MongoDB bazi i novokreirano merenje se pojavljuje na listi početnog prozora. Ukoliko se žele sagledati statistički podaci o merenju, sa liste na glavnom prozoru, potrebno je odabrati željeno merenje i kliknuti na dugme *stats*. Na slici 4, dat je prikaz prozora sa statistički obrađenim podacima merenja.

Kao što se može uočiti sa slike 4, prozor sa statistički obrađenim podacima sastoji se iz nekoliko segmenata. Prvi segment ukazuje na broj uspešno i neuspešno primenjenih paketa na nivou kvartala merenja, polovini merenja, i na nivou celog merenja. Takođe, prikazani su podaci na nivou celoga merenja prosečnog SNR, RSSI i RSSI paketa. Isto tako prozor sadrži grafički prikazane podatke tokom merenja iz ugla SNR i RSSI na nivou paketa.



Slika 4. Prozor aplikacije sa statistički obrađenim podacima merenja

5. Zaključak

U radu je ukazano na sve veću upotrebu LoRa i sličnih LPWAN tehnologija u IoT okruženjima, kao i na veliko interesovanje koje se u skorije vreme pridaje analizi performansi LoRa mreže u istraživanjima. Budući da je analiza LoRa saobraćaja, bitna za dobro planiranje i implementaciju LoRa baziranih IoT mreža u radu je predstavljena arhitektura aplikacije za analizu LoRa saobraćaja. Uporedo sa aplikacijom, prikazan je i protokol za merenje na osnovu kojeg se prikupljaju podaci za analizu.

Predložena arhitektura softverskog alata pruža mogućnost potencijalnim dizajnerima, ali i administratorima LPWAN mreža zasnovanih na LoRa tehnologijama, efikasniju i efektivniju analizu saobraćaja. Prikupljeni i obrađeni podaci se pre svega mogu koristiti u procesu dizajniranja mreža, a kasnije i pri instalaciji, implementaciji i održavanju istih.

Zahvalnica: Ovo istraživanje je finansirano od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR-32044 „Razvoj softverskih alata za analizu i poboljšanje poslovnih procesa”, 2011-2019.

Literatura

- [1] K, L. Lueth, "State of the IoT 2018: Number of IoT devices now at 7B – Market accelerating", August 2018. Link: <https://iot-analytics.com/state-of-the-iot-update-q1-q2-2018-number-of-iot-devices-now-7b/>. Pristupljeno: Oktobar 2019.
- [2] Y. Kang, I. Park, J. Rhee, and Y. Lee, "MongoDB-Based Repository Design for IoT-Generated RFID/Sensor Big Data," *IEEE Sensors Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 485-497, Jan.15, 2016. doi: 10.1109/JSEN.2015.2483499
- [3] M. Villari, A. Celesti, M. Fazio, and A. Puliafito, "AllJoyn Lambda: An architecture for the management of smart environments in IoT," *2014 International Conference on Smart Computing Workshops*, Hong Kong, 2014, pp. 9-14. doi: 10.1109/SMARTCOMP-W.2014.7046676

- [4] S. Rautmare and D. M. Bhalerao, "MySQL and NoSQL database comparison for IoT application," *2016 IEEE International Conference on Advances in Computer Applications (ICACA)*, Coimbatore, 2016, pp. 235-238. doi: 10.1109/ICACA.2016.7887957
- [5] R. Sanchez-Iborra, J. Sanchez-Gomez, J. Ballesta-Viñas, M.-D. Cano, and A. F. Skarmeta1, „Performance Evaluation of LoRa Considering Scenario Conditions”, *Sensors (Basel)*. 2018 Mar; 18(3): 772., Published online 2018 Mar 3. doi: 10.3390/s18030772
- [6] J. Sanchez-Gomez, R. Sanchez-Iborra, and A. Skarmeta, "Transmission Technologies Comparison for IoT Communications in Smart-Cities," *GLOBECOM 2017 - 2017 IEEE Global Communications Conference*, Singapore, 2017, pp. 1-6., doi: 10.1109/GLOCOM.2017.8254530
- [7] M. Lorient, A. Aljer, and I. Shahrour, "Analysis of the use of LoRaWan technology in a large-scale smart city demonstrator," *2017 Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET)*, Beirut, 2017, pp. 1-4., doi: 10.1109/SENSET.2017.8125011
- [8] M. Centenaro, L. Vangelista, A. Zanella, and M. Zorzi, "Long-range communications in unlicensed bands: the rising stars in the IoT and smart city scenarios," *IEEE Wireless Communications*, vol. 23, no. 5, pp. 60-67, October 2016. doi:10.1109/MWC.2016.7721743
- [9] D. Dobrilović, M. Malić, D. Malić, and S. Sladojević, Analyses and Optimization of Lee Propagation Model for LoRa 868MHz Network Deployments in Urban Areas, *Journal of Engineering Management and Competitiveness (JEMC)*, Vol. 7, No. 1, pp 55-62, 2017.
- [10] M. Aref and A. Sikora, "Free space range measurements with Semtech Lora™ technology," *2014 2nd International Symposium on Wireless Systems within the Conferences on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*, Offenburg, 2014, pp. 19-23. doi: 10.1109/IDAACS--SWS.2014.6954616
- [11] P. Jörke, S. Böcker, F. Liedmann, and C. Wietfeld, "Urban channel models for smart city IoT-networks based on empirical measurements of LoRa-links at 433 and 868 MHz," *2017 IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Montreal, QC, 2017, pp. 1-6. doi: 10.1109/PIMRC.2017.8292708
- [12] M. Malić, D. Dobrilović, D. Malić, Ž. Stojanov, Srđan Sladojević, "Prototip uređaja za merenje performansi LoRa tehnologije baziran na hardveru otvorenog koda", *M85 – novo tehničko rešenje u fazi realizacije*, Tehnički Fakultet "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, Univerzitet u Novom Sadu, 2018. Dostupno na http://www.tfzr.uns.ac.rs/Content/files/0/Teh_Resenje_LoRa.pdf

Abstract: *The rapid expansion of the IoT devices usage over the last few years, both in business and in private applications, has significantly influenced the development of new communications technologies. LoRa, as LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) technology, with its features such as low power consumption and long range, is becoming increasingly popular and has proven to be one of the potential solutions for the implementation of wireless sensor networks in various environments. Its use is justified in outdoors and indoors networks covering a large area where low data rates are sufficient. The aim of this paper is to propose a software architecture solution for the analysis of LoRa traffic and link quality. The paper deals with the design of the necessary hardware as well as the protocols for establishing and testing the connection. The application architecture as well as forms for collected and processed data visualization and analyzing will also be presented.*

Keywords: *LoRa, IoT, WSN, LoRa traffic analysis, radio wave propagation*

**PROPOSAL OF THE SOFTWARE TOOL
ARCHITECTURE FOR LORA TRAFFIC ANALYSIS**
Milan Malić, Dalibor Dobrilović, Dušan Malić, Željko Stojanov