

# Pregled rješenja za realizaciju LoRa bežične mreže

Saša Verić

Student drugog ciklusa studija  
Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci  
Banja Luka, BiH  
sasaveric@yahoo.com

**Sažetak – Brz razvoj tehnologije omogućava stvaranje novih koncepata koji pomažu čovjeku u obavljanju svakodnevnih aktivnosti, kao što je upravljanje raznim uređajima, kontrola životne sredine, upravljanje gradovima i slično. Internet of Things je jedan takav koncept i jedan je od najbrže rastućih aspekata informacionih tehnologija. IoT predstavlja budućnost interakcije između čovjeka i računara. U ovom radu predstavljena je bežična senzorska mreža LoRa, te je dat pregled integrisanih kola namijenjenih za njenu realizaciju. Analizirana je mogućnost pokrivanja urbanog područja grada Banja Luka sa LoRa mrežom. (Abstract)**

**Ključne riječi – Internet of Things; LoRa; LoRaWAN; Bežične senzorske mreže; (key words)**

## I. UVOD

Već godinama unazad sastavni dio čovjekovog života je koncept *Internet of Things*-IoT ili „internet stvari“ [1]. Sam pojam IoT je dosta širok i ne postoji njegova tačna definicija. Jedna od najprihvaćenijih definicija jeste da IoT predstavlja mrežu fizičkih uređaja, sa ugrađenim elektronskim sklopovima i sensorima, programiranih tako da mogu da sakupljaju i razmjenjuju podatke [2]. IoT koncept, koji je u ogromnoj mjeri zasnovan na bežičnoj komunikaciji između uređaja, podstiče istraživanja novih tehnologija koje se pojavljuju na tržištu. Komunikacija bežičnih senzorskih stanica je važna zbog prenosa podataka do centara gdje se ti podaci prikupljaju, analiziraju i koriste. Fokus budućih istraživanja predstavljaju samostalni sistemi koji pokrivaju velike površine uz minimalnu infrastrukturu i potrošnju električne energije, te uz mogućnost integracije velikog broja raznovrsnih senzora [3]. Primjeri takvih sistema su LoRa (eng. *Long Range*) i LoRaWAN (eng. *Long Range Wide Area Network*) tehnologije [4]. LoRa™ i LoRaWAN™ su registrovani znakovi kompanije *Semtech*.

Rad se sastoji od šest poglavlja. U drugom poglavlju kratko je predstavljen IoT koncept, te su date osnovne karakteristike LPWAN (eng. *Low Power WAN*) mreža. U trećem dijelu detaljnije je opisana LoRa, a u četvrtom LoRaWAN tehnologije, te su date njihove osnovne karakteristike. Peti dio rada obuhvata analizu dostupnih LoRa i LoRaWAN integrisanih kola od američke firme *Semtech* i mogućnost pokrivanja urbanog područja grada Banja Luka. Na kraju rada, u zaključku, sumirane su LoRa i LoRaWAN mreže.

## II. IOT KONCEPT

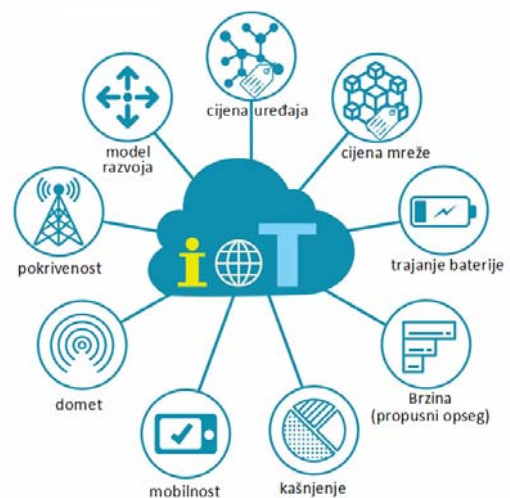
Za postojanje IoT koncepta, postoji nekoliko važnih faktora, a to su:

- Servisi: preko njih se vrši integracija i implementacija pojedinih komponenti IoT projekata.

- Softver: firmver i aplikativni softver omogućavaju rad IoT hardvera i interakciju sa krajnjim korisnicima.
- Hardver: obuhvata razne čipove, senzore, module koji komuniciraju između sebe, kao i uređaje koji komuniciraju sa krajnjim korisnicima.
- Mreža: sateliti, razne pristupne tačke i druga infrastruktura koja omogućava povezanost komponenti hardvera i korisnika. Najčešće se koristi Internet, ili je mrežna struktura IoT sistema povezana na Internet.
- Analitička rješenja: vještačka inteligencija i analitička softverska rješenja, koja donose potrebne odluke u odgovarajućim procesima.

IoT ima veoma široku primjenu, a neke od tih primjena su: lična upotreba (npr. razni podsjetnici), domaćinstvo (npr. potrošnja energije, kontrola uređaja), grad (npr. rasterećenost saobraćaja, kontrola otpada, efikasna ulična rasvjeta, praćenje zagađenosti vazduha), industrija (npr. kontrola kvaliteta) i životna sredina (npr. praćenje vodostaja, zaštita životne sredine) [1], [2].

Pri projektovanju i implementaciji novog IoT sistema potrebno je razmotriti sljedeće faktore: cijena uređaja imreže, trajanje baterija, brzina prenosa, kašnjenje, mobilnost, domet, pokrivenost i model razvoja (Sl. 1). Nijedna tehnologija ne može da opsluži sve projektovane aplikacije zasnovane na IoT sistemima [5].



Slika 1. Faktori za razmatranje pri projektovanju IoT sistema.

WiFi i BLE (eng. *Bluetooth Low Energy*) su, npr, široko prihvaćeni standardi i prilično dobro opslužuju aplikacije koje se odnose na komunikaciju ličnih uređaja. Mobilne ćelijske tehnologije su odlična rješenja za aplikacije koje zahtijevaju veliki protok podataka, pri čemu je obezbijeđeno napajanje električnom energijom [4].

Da bi se, u što većoj mjeri, ispunili komunikacioni zahtjevi koje je potrebno ispuniti za IoT sisteme, pojavio se čitav niz novih protokola i tehnologija. LPWAN (eng. *Low Power Wide Area Network*) je pojam koji obuhvata mreža koje pokrivaju široko područje, a pri čemu imaju malu potrošnju [6]. LPWAN ima za cilj da pokrije područje prenosa podataka na velikim udaljenostima koje se uporedive sa onima u mrežama mobilne tehnologije i bežičnih čvorova (nodova) male potrošnje u M2M (eng. *Machine-to-Machine*) sistemima. Mogućnosti koje LPWAN tehnologije pružaju za IoT sisteme su povećanje pokrivenosti i upotreba uređaja sa malom potrošnjom energije na velikim udaljenostima. Uz dug životni ciklus i niske cijene uređaja, pokrivenost, odnosno domet, predstavljaju najznačajnije karakteristike LPWAN tehnologija [3]. Dakle, LPWAN predstavlja termin za grupu tehnologija sa sljedećim ključnim karakteristikama:

- Dug životni vijek baterija (često i preko 10 godina).
- Pokrivanje i povezanost širokog područja.
- Niska cijena čipseta i mreže.
- Ograničen kapacitet prenosa podataka.

U suštini, LPWAN tehnologije dopunjavaju postojeće mobilne ćelijske mreže itehnologije kratkog dometa, omogućavajući širokopojasne komunikacije sa nižim troškovimai bolje karakteristike potrošnje energije.

Početakom 2013. godine termin LPWAN čak nije ni postojao. Činjenica je da LPWAN od tada postaje jedan od najbržih aspekata razvoja IoT. Istraživanja predviđaju da će do 2024. godine postojatinekoliko milijardi LPWAN konekcija.Mnoge od LPWAN tehnologija su u početnoj i ranoj fazi razvoja, a LoRa, LoRaWAN, *SigFox* i *Ingenu* su samo neke od postojećih LPWAN platformi sa najvećim prodorom na tržištu [3], [7]. Iz tog razloga, u ovom radu, biće izvršen pregled i analiza LoRa, LoRaWAN tehnologija, kao i pregled karakteristika integrisanih rješenja koja podržavaju pomenute tehnologije.

### III. LORA

#### A. Opšte karakteristike

LoRa je tehnologija razvijena od strane američkog *Semtech*-a, koji je postavio osnovne standarde tehnologije i koji i dalje proizvodi komponente za nju. Dalji pravac razvoja LoRa tehnologije se definiše od strane neprofitne organizacije *LoRa Alliance* koja je osnovana na Mobilnom svjetskom kongresu2015. godine(eng.*Mobile World Congress 2015*). Članovi Alijanse su poznate kompanije kao što su *Actility*, *Cisco*, *Eolane*, *IBM*, *Kerlink*, *IMST*, *MultiTech*, *Sagemcom*, *Semtech* i *Microchip Technology*, kao i veliki telekomunikacioni operateri: *Bouygues Telecom*, *KPN*, *SingTel*, *Proximus*, *Swisscom* i *FastNet* [1].

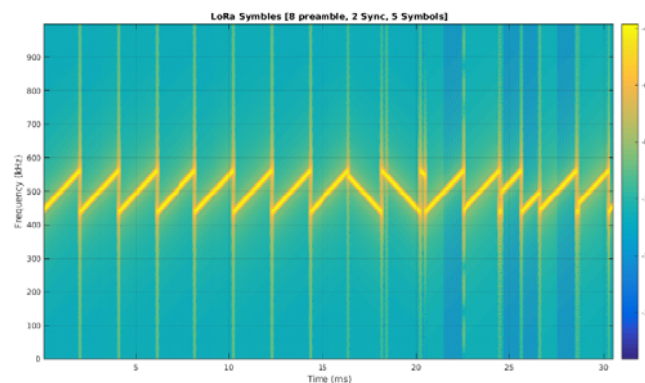
LoRa je fizički sloj ili bežična modulacija koja se koristi za kreiranje komunikacionog linka velikog dometa. Mnogi postojeći bežični sistemi koriste digitalnu frekventnu modulaciju (FSK)na fizičkom sloju zato što se na taj način

obezbjeđuje mala potrošnja. LoRa se zasniva na *Chirp Spread Spectrum* (CSS)modulaciji, koja, kao i FSK, obezbjeđuje nisku potrošnju, ali obezbjeđuje veći domet komunikacije. CSS modulacija se koristila uvojnim i svemirskim komunikacijama u proteklih nekoliko decenija upravo zbog mogućnostikomunikacije na velikim udaljenostima i otpornosti na interferenciju. LoRa je prvaimplementacija ove modulacije, koja ima nisku cijenu i komercijalnu upotrebu. Glavnaprednost LoRa tehnologije je veliki domet. On je opravdančinjenicom da jedan čvor u idealnim uslovima može da pokrije čitav grad ili nekoliko stotina kvadratnih kilometara. Domet u velikoj mjeri zavisi od okruženja i prepreka. Međutim, LoRa i LoRaWAN tehnologije imaju budžet linka (i do 170 dB) koji je veći od drugih standardnih komunikacionih tehnologija. Dodatne prednosti LoRa tehnologije su otpornost na *fading* i Doplerov efekat [3], [4]. Kao takva, LoRa se koristi za dizajn uređaja male potrošnje, povezanih u WAN mreže za potrebe komunikacije među mašinama (M2M) ili za IoT [1].

U zavisnosti od regiona u kome se koristi, LoRa radi u opseзима 868 MHz i 915 MHz. U Evropi se koristi 868 MHz ISM (eng. *Industrial, Scientific And Medical*) opseg (863-870MHz). Opseg je podijeljen u 8 kanala, gdje je razmak između centralnih frekvencija 300 kHz (0.3MHz), a između dva posljednja 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 podijeljen u 12 kanala gdje je razmak između centralnih frekvencija2.16 MHz [3], [6].

#### B. Fizički sloj

LoRa modulacija je CSS modulacija koja koristi *chirp* signale koji imaju linearnu promjenu frekvencije u vremenu.Frekvencija *chirp* signala, može da se mijenja od minimalne ka maksimalnoj i to je tzv. *up-chirp*, ili od maksimalne ka minimalnoj, to je tzv. *down-chirp*. Osnovna prednost ovog metoda modulacije je ta što su vremenski i frekventni $offset$  između prijemnika i predajnika ekvivalentni, što značajno umanjuje kompleksnost dizajna prijemnika. Frekventni opseg *chirp* signala je ekvivalentan spektralnom opsegu samog signala [8]. Ove karakteristike objezbjeđuju, takođe, otpornost i na Doplerov efekat. Frekventni $offset$  između predajnika i prijemnika može da iznosi i do 20% opsega signala bez uticaja na performanse dekodiranja. Ovo pomaže pri smanjenju cijene LoRa predajnika, pošto kristali koji su ugrađeni u njih, ne moraju da se izrađuju sa ekstremnom tačnošću. LoRa prijemnici mogu da dostignu osjetljivost od -130 dBm [6].



Slika 2. Spektrogram LoRa fizičkog sloja.

Nekoliko parametara je značajnoza podešavanje LoRa modulacije. To su:

- propusni opseg ili *Bandwidth* (BW) – razlika između maksimalne i minimalne frekvencije prenosa (LoRa koristi 3 Bandwidth-a: 125, 250 i 500 kHz),
- faktor proširenja ili *Spreading Factor* (SF) – logaritam po bazi 2 od broja *chirp*-ova po simbolu (ili broj bita potrebnih za kodovanje jednog simbola), kod LoRa tehnologije može iznositi od 7 do 12.
- kodna brzina ili *Code Rate* (CR) – iznos *Forward Error Correction* (FEC) polja, kod LoRa tehnologije je  $4/(4+n)$  gdje  $n \in \{1,2,3,4\}$  [9].

Ovi parametri utiču na efektivnu brzinu modulacije, njenu otpornost na smetnje i šum, kao i jednostavnost procesa demodulacije i dekodiranja.

LoRa simbol se sastoji od  $2^{SF}$  *chirp*-ova, koji pokrivaju cijeli frekventni opseg. Prvih osam *up-chirp* simbola predstavljaju tzv. preambulske simbole koji se koriste za detekciju LoRa *chirp*-ova, sljedeća dva *down-chirp* simbola su simboli koji se koriste za vremensku sinhronizaciju i na kraju se nalazi pet moduliranih simbola (*payload*). Na Sl. 2 je prikazan spektrogram LoRa fizičkog sloja gdje se mogu vidjeti prethodno opisani simboli. Diskontinuiteti u frekvenciji predstavljaju modulirane simbole, odnosno informaciju koja se prenosi [10].

Kod LoRa modulacije brzina *chirp*-a zavisi samo od propusnog opsega: brzina *chirp*-a je jednaka širini propusnog opsega (jedan *chirp* po sekundi po Hertz-u propusnog opsega). Ovo daje nekoliko posljedica na modulaciju: povećanje faktora proširenja SF za jedan će podijeliti frekventni raspon *chirp*-a sa 2 (pošto  $2^{SF}$  *chirp*-ova pokriva cijeli frekventni opseg) i množi trajanje simbola sa 2, takođe. Međutim, bitska brzina se neće podijeliti sa dva, jer će se u svakom simbolu prenijeti još jedan bit. Osim toga, simbolska brzina i bitska brzina za dati faktor proširenja su proporcionalne frekventnom opsegu, tako da dupliranje frekventnog opsega će efektivno duplirati brzinu prenosa. Sve ovo se može izraziti sljedećom jednačinom, koja povezuje trajanje simbola  $T_s$ , propusni opseg i faktor proširenja:

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW}. \quad (1)$$

Treba napomenuti da LoRa sadrži i FEC kod. Uzimajući ovo u obzir, kao i činjenicu da se po simbolu prenese SF bita, iz jednačine (1) se dobija izraz za izračunavanje ukupne bitske brzine ( $R_b$ ):

$$R_b = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times CR. \quad (2)$$

Npr, ako je BW=125 kHz, SF=7, CR=4/5, bitska brzina je  $R_b=5.5$  kbps.

Ovi parametri, takođe, utiču i na osjetljivost prijemnika. Generalno govoreći, povećanje propusnog opsega (BW) smanjuje osjetljivost prijemnika, dok povećanje faktora proširenja SF povećava i osjetljivost prijemnika [6].

### C. Format fizičkog LoRa okvira

Iako se LoRa može koristiti za prenos proizvoljnih okvira, format fizičkog okvira je specificiran i implementiran u *Semtech*-ovim predajnicima i prijemnicima. Propusni opseg (BW) i faktor proširenja (SF) su konstantni za okvir.

LoRa okvir počinje sa uvodnom sekvencom - preambulom (eng. *Preamble*). Preambula se sastoji od niza *up-chirp* simbola (ukupno osam) koji pokrivaju cijeli frekventni opseg. Posljednja dva *up-chirp*-a koduju sinhro riječ. Sinhro riječ se sastoji od jednog bajta i omogućava razlikovanje različitih LoRa mreža koje koriste iste frekventne opsege. Uređaj konfigurisan tako da ima odgovarajuću sinhro riječ, pretaće da „osluškuje“ prenos ukoliko se dekodovana sinhro riječ iz primljenog signala ne poklapa sa njegovom. Zatim slijede dva cijela i jedna četvrtina *down-chirp*-a, ili 2.25 simbola. Oni se koriste za vremensku sinhronizaciju. Ukupno trajanje preambulske sekvence može da bude između 10.25 i 65539.25 simbola. Nakon uvodne sekvence, postoji zaglavlje (eng. *Header*) koje je opciono. Kada je zaglavlje pristupno ono se prenosi sa CR (eng. *Coding Rate*) od 4/8. U ovom zaglavlju se čuva informacija o veličini *Payload*-a i da li je prisutan 16-bitni CRC za *Payload* na kraju okvira. Informacija o veličini *Payload*-a je smještena u jedan bajt, ograničavajući veličinu *Payload*-a na 255 bajtova. Zaglavlje je opciono i moguće je da se onemogući u situacijama kada su veličina *Payload*-a, CR i prisutnost CRC polja unaprijed poznati [3], [6]. Struktura LoRa okvira je prikazana na Sl. 3.



Slika 3. Struktura fizičkog LoRa okvira.

## IV. LORAWAN

LoRaWAN obezbjeđuje *Media Access Control* mehanizme, pružajući mogućnost mnogim krajnjim uređajima da komuniciraju sa *gateway*-om koristeći LoRa modulaciju. Za razliku od LoRa standarda koji je autorski zaštićen, LoRaWAN je otvoren standard koji je razvijen od strane LoRa Alijanse [6].

LoRaWAN, uz fizički sloj, definiše i komunikacioni protokol na mrežnom sloju i arhitekturusistema, za razliku od LoRa tehnologije koja definiše samo fizički sloj koji omogućava komunikaciju širokog dometa. Protokol i arhitektura zajedno imaju veliki uticajna životni vijek baterija, kapacitet mreže, kvalitet servisa, sigurnost i zaštitu, kao i moguće primjene ove tehnologije [4]. LoRaWAN je, u suštini, MAC protokol za WAN mreže, kojeg je, kao takvog, moguće mapirati na drugi i treći sloj OSI modela. Razvijen je tako da koristi LoRa fizički sloj (PHY) [11].

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 od 15 do 20 km. Moguća je takva implementacija da pruža sličnu pokrivenost kao i mobilne mreže. Takođe, predviđa se da je životni vijek baterije tih uređajaveći od 10 godina. Zahtjevi koje LoRaWAN ispunjava su ključni za IoT i bežične senzorske mreže. 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 [3].

### A. Komponente LoRaWAN mreže

Da bi se implementirala LoRaWAN mreža, potrebne su sljedeće komponente:

- **Krajnji uređaj** (eng. *End-Device*): Uglavnom senzori male potrošnje koji komuniciraju sa *gateway*-om koristeći LoRa modulaciju.
- **Gateway**: Posredni uređaji koji primaju pakete iz krajnjih uređaja i prosleđuju ih ka mrežnom serveru putem standardnih IP konekcija koje mogu da budu *Ethernet* ili neka druga mreža. U LoRa okruženju može da postoji više *gateway*-a i paketi podataka mogu da budu primljeni ili prosleđivani od strane više od jednog *gateway*-a.
- **Mrežni server** (eng. *Network Server*): Server koji upravlja mrežom. Mrežni server eliminiše duple pakete, raspoređuje potvrde, i prilagođava brzine prenosa podataka.

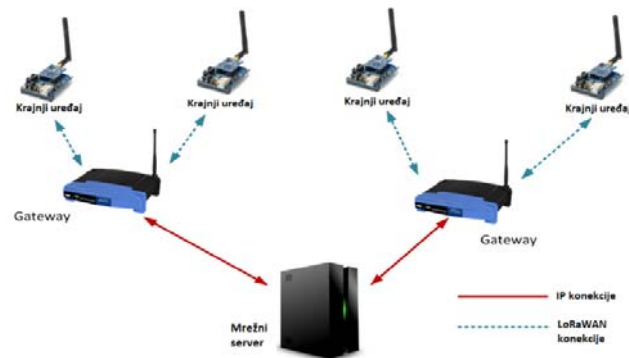
Za razliku od tradicionalnih ćelijskih mreža, krajnji uređaji nisu povezani sa određenim *gateway*-om kako bi imali pristup mreži. *Gateway* služi jednostavno kao veza i prosleđuje pakete, koje dobija od krajnjih uređaja, do mrežnog servera. Prema tome, krajnji uređaj je povezan sa mrežnim serverom koji je odgovoran za otkrivanje duplih paketa, odabira odgovarajućeg *gateway*-a za slanje odgovora (ukoliko postoji), odnosno za slanje paketa ka krajnjim uređajima [3], [6].

Na osnovu prethodnog opisa, moguće je steći sliku o arhitekturi LoRaWAN mreža, koja je prikazana na Sl. 4.

LoRaWAN ima tri različite klase krajnjih uređaja koji ispunjavaju različite zahtjeve aplikacijama:

- **Klasa A** – Uređaji klase A podržavaju dvosmjernu komunikaciju između uređaja i *gateway*-a. *Uplink* poruke (od uređaja do servera) mogu se poslati u bilo kom trenutku (slučajno). Uređaj zatim otvara dva prijemna prozora (eng. *receive windows*) u određeno vrijeme (1s i 2s) nakon emitovanja *uplink* poruke. Ako server ne odgovori ni u jednom od ovih prozora, sljedeća prilika će biti nakon sljedećeg emitovanja *uplink* poruke sa uređaja. Server može da odgovori bilo u prvom prozoru za prijem ili u drugom prijemnom prozoru. Uređaji klase A imaju najmanju potrošnju, ali i nude najmanju fleksibilnost u smislu prijema *downlink* poruka.
- **Klasa B** – Uređaji klase B dopunjavaju karakteristike uređaja klase A tako što otvaraju dodatne prijemne prozoreu planiranom 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** – Kod ovih uređaja moguća je dvosmjerna komunikacija sa maksimalnim vremenom primanja paketa. Uređaji ove klase primaju pakete skoro u kontinuitetu sa servera (osim kada šalju pakete) i samim tim imaju najveću potrošnju energije.

Treba napomenuti da LoRaWAN ne podržava međusobnu komunikaciju krajnjih uređaja: paketi mogu samo da se šalju od krajnjih uređaja ka mrežnom serveru obrnuto [6], [11].

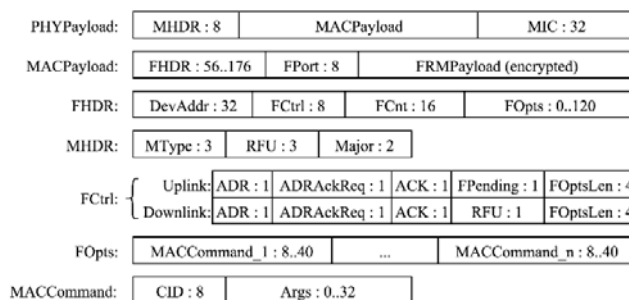


Slika 4. Arhitektura LoRaWAN mreže.

### B. Format LoRaWAN poruka

LoRaWAN koristi fizički LoRa okvir opisan u prethodnom poglavlju i prikazan na Sl. 3. Zaglavlje (eng. *Header*) i CRC su obavezna polja za *uplink* poruke. *Downlink* poruke imaju zaglavlje, ali nemaju CRC polje. Format LoRaWAN poruke je detaljno prikazan na Sl. 5.

Polje *DevAddr* sadrži 32-bitnu adresu uređaja. *FPort* je polje porta za multipleksiranje. Kada je vrijednost 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 *FRMPayload*. *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 vrijednost nula ispravna. *ADR* i *ADRackReq* kontrolišu mehanizam adaptacije brzine prenosa podataka sa mrežnog servera. *ACK* potvrđuje posljednji primljeni okvir. *FPending* pokazuje da server ima još podataka za slanje i da bi krajnji uređaj trebao da pošalje sljedeći okvir što prije. *FOptsLen* je dužina *FOpts* polja u bajtovima. *FOpts* se koristi da prenosi MAC naredbe. *CID* je identifikator MAC naredbe, a *Args* su opciono 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 5. Format LoRaWAN poruke.

## V. LORA I LORAWAN IC RJEŠENJA

S obzirom da su LoRa i LoRaWAN tehnologije razvijene od strane *Semtech*-a, ova američka kompanija na tržištu nudi veliki broj integrisanih kola. U ovom poglavlju su prikazane karakteristike nekoliko *Semtech*-ovih integrisanih kola. Pažnja je usmjerena na dvije vrste *gateway* uređaja, kao i nekoliko vrsta primopredajnika, sa naglaskom na one koji se mogu koristiti u Evropi.

### A. LoRa Gateway-i

LoRa *gateway*-i su posredni uređaji koji omogućavaju senzorskim uređajima da prenose podatke prema serveru. Obezbeđujući pokrivenost na teško dostupnim lokacijama u zatvorenom prostoru, *pikogateway* dugog dometa je IoT platforma koja prati LoRaWAN infrastrukturu koja se koristi u kućama, poslovnim objektima i zgradama. *Piko gateway* može da povezuje na hiljade senzora u zgradi ili rezidencijalnoj zajednici u rasponu od 1-2 km. Istovremeno može primiti LoRa i FSK poruke na više kanala sa odličnom osjetljivošću od -139dBm [12]. Jedno takvo integrisano kolo za unutrašnju upotrebu je *Semtech SX1308*. Njegove osnovne karakteristike su prikazane u Tabeli I.

TABELA I. KARAKTERISTIKE INTEGRISANOG KOLA SX1308 [12]

SX1308 - Karakteristike	
Prijemna osjetljivost: do -139 dBm (za SX1257 ili SX1255 uređaje)	
Otpornost na 70 dB CW interferenciju za <i>offset</i> od 1 MHz	
Mogućnost da radi sa negativnim odnosom SNR -CCR do 9 dB	
Emulira 49 LoRa demodulatora i 1 (G)FSK demodulator	
Dualni digitalni Tx & Rx radio <i>front-end</i> interfejsi	
10 programabilnih paralelnih putanja za demodulaciju	
Dinamička adaptacija brzine prenosa (ADR)	
Antenski <i>true diversity</i> ili istovremen rad na dva opsega	
Frekventni opsezi: Europe 868 MHz ISM band [863 MHz - 870 MHz], USA/Australia 915 MHz ISM band [902 MHz - 928 MHz], China 470 MHz ISM band [470 MHz - 510 MHz]	
<b>Moguća upotreba</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pametno mjerenje</li> <li>- Sigurne senzorske mreže</li> <li>- Praćenje u poljoprivredi</li> <li>- IoT</li> </ul>

Drugi *Semtech*-ov *gateway* je posebno projektovan da ponudi mogućnosti za ISM opsege širom svijeta. Jedno takvo integrisano kolo za vanjski makro *gateway* je *Semtech SX1301* čije su karakteristike date u Tabeli II.

TABELA II. KARAKTERISTIKE INTEGRISANOG KOLA SX1301 [12]

SX1301 - Karakteristike	
Prijemna osjetljivost: I do -142.5 dBm (za SX1257 krajnje uređaje)	
Otpornost na 70 dB CW interferenciju za <i>offset</i> od 1 MHz	
Mogućnost da radi sa negativnim odnosom SNR -CCR do 9 dB	
Emulira 49 LoRa demodulatora i 1 (G)FSK demodulator	
Dualni digitalni Tx & Rx radio <i>front-end</i> interfejsi	
10 programabilnih paralelnih putanja za demodulaciju	
Dinamička adaptacija brzine prenosa (ADR)	
Antenski <i>true diversity</i> ili istovremen rad na dva opsega	
Frekventni opsezi: Europe 868 MHz ISM band [863 MHz - 870 MHz], USA/Australia 915 MHz ISM band [902 MHz - 928 MHz], China 470 MHz ISM band [470 MHz - 510 MHz]	
<b>Moguća upotreba</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pametno mjerenje</li> <li>- Sigurne senzorske mreže</li> <li>- Praćenje u poljoprivredi</li> <li>- IoT</li> </ul>

### B. LoRa primopredajnici

*Semtech*-ove LoRa primopredajnike karakteriše bežični modem dalekog dometa koji omogućava širokopojasnu komunikaciju i visoku robusnost na smetnje, uz minimalnu potrošnju električne energije. LoRa modulacija omogućava primopredajnicima unutar ovog niza proizvoda da postignu osjetljivost od -137 dBm do -148dBm. Visoka osjetljivost u kombinaciji sa pojačavačem snage do +22 dBm čini ove primopredajnike optimalnim za svaku aplikaciju koja zahtijeva veliki domet ili robusnost. LoRa tehnologija pruža značajne prednosti u blokiranju i selektivnosti u odnosu na konvencionalne modulacione tehnike, rješavajući tradicionalni kompromis dizajna između dometa, otpornosti na interferencije i potrošnje energije [12]. U daljem tekstu, prikazane su dvije grupe primopredajnika.

TABELA III. KARAKTERISTIKE GRUPE PRIMOPREDAJNIKA SX1261/62/68 [13]

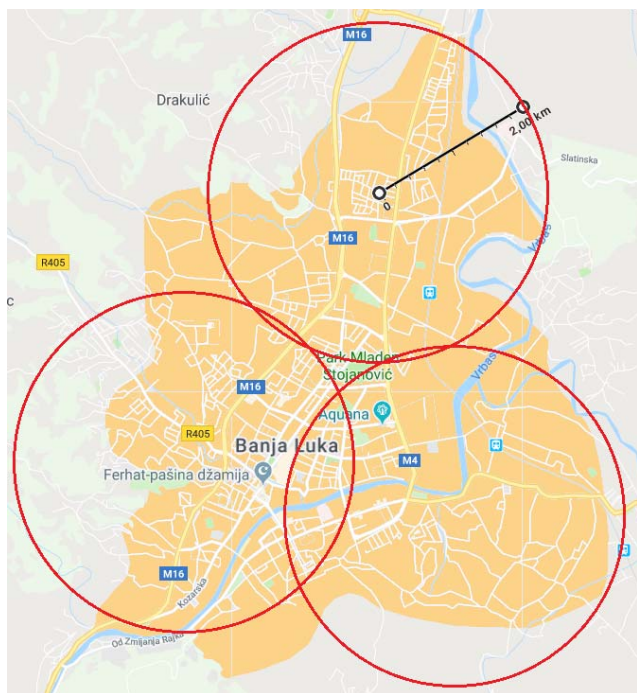
SX1261/62/68 - Karakteristike
LoRa i FSK modem
Maksimalni budžet linka - 170 dB
Visoka efikasnost pojačavača snage (+22 ili +15 dBm kod SX1261)
Mala struja potrošnje - 4,6 mA
Integrisani DC-DC pretvarač i LDO
Programabilna brzina prenosa do 62.5 kbps (za LoRa modulaciju) i 300 kbps (za FSK)
Visoka osjetljivost: do -148 dBm
Odličan imunitet na blokiranje (88dB za <i>offset</i> od 1 MHz)
FSK, GFSK, MSK, GMSK i LoRa modulacija
Ugrađeni bit-sinhronajzer za oporavak sata
Automatska detekcija aktivnosti kanala (CAD) sa ultra brzim AFC

*SX1261/62/68* primopredajnici su idealni za bežične aplikacije velikog dometa. Dizajnirani su da koriste dugotrajne baterije sa samo 4,2 mA aktivne potrošnje. *SX1261* može da emituje sa +15 dBm, dok *SX1262* i *SX1268* mogu sa +22 dBm. Takođe, podržavaju LoRa modulaciju za slučajeve korištenja LPWAN-a i (G)FSK modulaciju za slučajeve upotrebe starijih aplikacija. Njihove osnovne karakteristike su date u Tabeli III [13]. Karakteristike *SX1276/77/78/79* primopredajnika prikazane su u Tabeli IV.

TABELA IV. KARAKTERISTIKE GRUPE PRIMOPREDAJNIKA SX1276/77/78/79 [14]

SX1276/77/78/79 - Karakteristike
Maksimalni budžet linka - 168 dB
+20 dBm - konstantni RF izlaz od 100 mW u odnosu na V napajanje
Visoka efikasnost pojačavača snage (+14 dBm)
Programabilna brzina prenosa podataka do 300 kbps
Visoka osjetljivost: do -148 dBm
Programabilna brzina prenosa do 62.5 kbps (za LoRa modulaciju) i 300 kbps (za FSK)
Visoka osjetljivost: do -148 dBm
Odličan imunitet na blokiranje
Mala struja potrošnje - 9,9 mA
Potpuno integrisani sintisajzer sa rezolucijom od 61 Hz
FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa i OOK modulacija
Ugrađeni bit-sinhronajzer za oporavak sata
Dinamički opseg od 127 dB za RSSI
Automatska detekcija aktivnosti kanala (CAD) sa ultra brzim AFC
Veličina paketa do 256 bajtova sa CRC-om
Ugrađeni senzor temperature i indikator slabe baterije

Postoje velike mogućnosti integracije *Semtech*-ovih integriranih kola sa drugim uređajima. Jedan od primjera je radio-modul iC880A koji se koristi kao *gateway*. Unutar njega je ugrađen *Semtech*-ov SX1301. Iz [15] se vidi da je doomet signala tog *gateway*-a u ruralnim područjima do 15 km, a u urbanim do 2 km. U tom smislu, posmatračemo moguću upotrebu takve vrste *gateway*-a na području grada Banja Luka [16]. Na Sl. 6 je prikazan urbani dio grada, dodatno označen drugom bojom. Ucrtavanjem krugova poluprečnika od 2 km može se zaključiti da su tri *gateway*-a dovoljna za pokrivanje urbanog područja grada. Položaji ta tri *gateway*-a bi bili približno u centrima krugova. Ukupna pokrivena površina bi bila približno oko 40 km<sup>2</sup>.



Slika 6. Urbano područje grada Banja Luka.

## VI. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljene su osnovne karakteristike LoRa i LoRaWAN tehnologija. Poznavanje formata fizičkog LoRa okvira, kao i osnovnih parametara za podešavanje u LoRa primopredajnicima stvaramogućnost za projektovanje LoRaWAN mreža. Arhitekturu ovakvog sistema čine krajnji uređaji, *gateway* i mrežni serveri. Upravo su u posljednjem poglavlju date karakteristike i mogućnosti upotrebe nekoliko ovakvih *Semtech*-ovih integriranih kola koja se ugrađuju u *gateway*-e i primopredajnike. Na kraju, analizirana je mogućnost pokrivanja urbanog područja grada Banja Luka sa LoRa mrežom. Na osnovu navedene analize vidi se da su dovoljna tri *gateway* da se pokrije cijelo urbano područje Banjaluke, što je relativno mali broj baznih čvorova. Nastavak istraživanja biće u pravcu uspostavljanja i testiranja LoRa mreže na Elektrotehničkom fakultetu u Banjaluci.

## ZAHVALNICA

Posebnu zahvalnost bih izrazio doc. dr Željku Ivanoviću pod čijim nadzorom i mentorstvom je izrađen ovaj rad.

## LITERATURA

- [1] Jovanović N., "IoT sistemi na primeru LoRa mreže u Kruševcu" Informacione tehnologije 2014/2015, Fakultet tehničkih nauka, Čačak
- [2] [https://en.wikipedia.org/wiki/Internet\\_of\\_things](https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things), pristupljeno 13.01.2018
- [3] Dobrilović D., Malić M., Malić D., Stojanov Ž., "Analiza performansi LoRa tehnologije kod mobilnih senzorskih stanica u urbanim okruženjima", XXXV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel 2017, Beograd 5. i 6. decembar 2017.
- [4] LoRa® Alliance, "LoRaWAN™ What is it? A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™" Technical Marketing Workgroup 1.0, [https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_ed71ea1cd969417493c74e4a13c55685.pdf), preuzeto 02.01.2018.
- [5] LoRa® Alliance™, "NB-IoT vs LoRa™ Technology – Which could take gold?", A White Paper by Hardy Schmidbauer prepared for the LoRa Alliance, September 2016, [https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_fb4ea35d44a5492b8c7c58c3b64cd3d.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_fb4ea35d44a5492b8c7c58c3b64cd3d.pdf), preuzeto 11.01.2018.
- [6] 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.
- [7] LoRa® Alliance, "LPWA Technologies, Unlock New IoT Market Potential", A White Paper prepared for the LoRa® Alliance, [https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a\\_a45b82212b3e4a3098cc714200e8e5c6.pdf](https://docs.wixstatic.com/ugd/eccc1a_a45b82212b3e4a3098cc714200e8e5c6.pdf), preuzeto 11.01.2018
- [8] Semtech, "AN1200.22, LoRa™ Modulation Basics", Revision 2, May 2015, <https://www.semtech.com/uploads/documents/an1200.22.pdf>, pristupljeno 14.01.2018.
- [9] <https://revspace.nl/DecodingLora>, pristupljeno 15.01.2018.
- [10] <http://www.sghosly.com/p/lora-is-chirp-spread-spectrum.html>, pristupljeno 14.01.2018.
- [11] <https://www.thethingsnetwork.org/wiki/LoRaWAN/Home>, pristupljeno 10.01.2018.
- [12] <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-gateways>, pristupljeno 20.01.2018.
- [13] <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/sx1261>, pristupljeno 20.01.2018.
- [14] <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-transceivers/SX1276>, pristupljeno 20.01.2018.
- [15] [https://wireless-solutions.de/downloads/Radio-Modules/iC880A/iC880A\\_Datasheet\\_V0\\_50.pdf](https://wireless-solutions.de/downloads/Radio-Modules/iC880A/iC880A_Datasheet_V0_50.pdf), pristupljeno 20.01.2018.
- [16] <https://www.google.ba/maps/@44.7694292,17.1923898,14z>

## ABSTRACT

The rapid development of technology enables the creation of new concepts that help people in their everyday activities, such as managing various devices, controlling the environment, managing in cities and the like. Internet of Things is one such concept and one of the fastest growing aspects of information technology. IoT represents the future of interaction between humans and computers. In this paper, the wireless sensor network LoRa is presented, and an overview of the integrated circuits intended for its realization is presented. The possibility of covering the urban area of Banja Luka with LoRa network was analyzed.

Keywords - Internet of Things; LoRa; LoRaWAN; Wireless Sensor Networks

## OVERVIEW OF THE SOLUTIONS FOR IMPLEMENTATION LORA WIRELESS NETWORK

Saša Verić