

Sustav LoRa

Šimić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:117051>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**

Stručni studij

LoRa Sustavi

Završni rad

Ivan Šimić

Osijek, 2023.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 20.09.2023.

Odboru za završne i diplomske ispite**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime Pristupnika:	Ivan Šimić
Studij, smjer:	Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	A 4474, 20.07.2017.
OIB Pristupnika:	65842038718
Mentor:	mr. sc. Anđelko Lišnjić
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	izv. prof. dr. sc. Višnja Križanović
Član Povjerenstva 1:	mr. sc. Anđelko Lišnjić
Član Povjerenstva 2:	izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić
Naslov završnog rada:	Sustav LoRa
Znanstvena grana završnog rada:	Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Razvojem internet tehnologija pojavljuju se sve veće inačice njihove uporabe u raznim segmentima stvarnosti. Jedan od njih je sustav LoRa (Long Range) koji koristi modulacijske tehnike širokopojasne mreže male snage temeljene na tehnici modulacije raširenog spektra. Vaš zadatak je obraditi LoRa sustav sa programskog i hardverskog aspekta, opisati modulaciju koja se koristi u njemu, istražiti u kojim područjima se koristi i predložiti moguće nove načina njegove uporabe.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	20.09.2023.
<i>Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:</i>	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 09.10.2023.

Ime i prezime studenta:

Ivan Šimić

Studij:

Stručni prijediplomski studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4474, 20.07.2017.

Turnitin podudaranje [%]:

5

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Sustav LoRa**

izrađen pod vodstvom mentora mr. sc. Anđelko Lišnjić

Moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

Sadržaj

1. UVOD.....	1
2. SPECIFIČNOSTI LoRa SUSTAVA.....	3
2.1. Modulacije i doseg signala.....	4
2.2. Niski troškovi energije.....	6
2.3. Skalabilnost prema širokom opsegu uređaja.....	7
2.4. Prilagodljivost aplikacijama.....	8
2.5. Prilagodljive brzine prijenosa podataka.....	9
3. ARHITEKTURA LoRa SUSTAVA.....	10
3.1. Uloga senzora.....	11
3.2. Uloga mrežnih čvorova.....	12
3.3. Gateway i Network server.....	13
3.4. Fizički sloj - LoRa PHY.....	14
4. PREDNOSTI, IZAZOVI I PERSPEKTIVE LoRa SUSTAVA.....	15
4.1. Prednosti i izazovi LoRa sustava.....	15
4.2. Sigurnosni aspekti LoRa sustava.....	16
4.3. Primjeri postojećih sustava koji koriste LoRa tehnologiju.....	16
4.4. Primjer korištenja LoRaWAN uređaja.....	18
4.4.1 Pokretanje kontrolera.....	20
4.4.2 Generiranje LoRa poruka.....	20
4.4.3 Mjerenje električnih veličina.....	21
4.4.4 Mjerenje temperature i vlažnosti zraka.....	22
4.4.5 Mjerenje koncentracije ozona.....	22
4.4.6 Digitalni ulazi i logički alarmi kontrolera.....	23
4.4.7 Ponašanje PIR senzora i detekcija pokreta.....	23
4.4.8 Pregled detalja primljenih poruka.....	24
5. ZAKLJUČAK.....	26
LITERATURA.....	28
POPIS SLIKA.....	30
SAŽETAK.....	31
SUMMARY.....	32
ŽIVOTOPIS.....	33

1. UVOD

Uvođenje Interneta stvari (IoT) označilo je revoluciju u načinu na koji svijet povezuje i koristi različite uređaje i senzore. Porastom potreba za bežičnim komunikacijskim sustavima koji omogućavaju prijenos podataka na velike udaljenosti uz minimalnu potrošnju energije, LoRa (engl. *Long Range*) sustavi postali su jedna od ključnih tehnologija koje oblikuju budućnost povezane svakodnevice.

Bitna razlika između "Interneta" i "Interneta stvari" (IoT) je u tome što je u IoT-u "manje svega" dostupno u određenom uređaju ili mrežnom uređaju: manje memorije, manje procesorske snage, manja propusnost i manje raspoložive energije. Razlog tomu je što "stvari" pokreću baterije, pa je maksimiziranje njihovog životnog vijeka prioritet ili zato što se očekuje da će njihov broj biti ogroman. Zahtjev da se "učini više s manje" dovodi do ograničenja u primjenjivosti tradicionalnih mobilnih mreža i tehnologija, kao što je WiFi, zbog zahtjeva za energijom i skalabilnošću.

S IoT tehnologijom pojavio se niz novih protokola i tehnologija kako bi se ispunili njegovi komunikacijski zahtjevi: mreže širokog područja male snage (LPWAN). Može se reći, LPWAN bi trebao biti za IoT ono što je WiFi bio za potrošačko umrežavanje. Neke od karakteristika LPWAN-a su pružanje radio pokrivenosti velikog područja putem baznih stanica i prilagođavanje brzine prijenosa, snage prijenosa i radnih ciklusa. Rezultat navedenoga je taj da krajnji uređaji imaju vrlo nisku potrošnju energije zbog svoje povezanosti.

LoRa je, kao tehnološki standard za bežičnu komunikaciju, otvorio vrata za razvoj mnogih inovativnih rješenja u različitim sektorima, primjerice, pametne gradove, poljoprivredu i praćenje resursa. Njegova sposobnost prenošenja podataka na velike udaljenosti, čak i kroz prepreke uz minimalnu potrošnju energije, čini ga idealnim izborom za aplikacije koje zahtijevaju dugotrajnu autonomiju i pouzdanu komunikaciju.

Ovaj završni rad istražuje ključne aspekte ove tehnologije, uključujući njene prednosti, nedostatke, karakteristike, primjene i perspektive za budućnost. Proučavanje LoRa sustava omogućuje nam dublje razumijevanje kako tehnološki napredak oblikuje našu sposobnost da povežemo i koristimo uređaje na načine koji donose praktičnost, efikasnost i inovacije u naše živote.

Cilj ovog rada je analiza LoRa sustava te njihove primjene u području bežične komunikacije. Istražiti karakteristike, prednosti i izazove LoRa tehnologije te razmotriti moguće primjene u području Interneta stvari (IoT) i drugim relevantnim sektorima. Također, istraživanje ima za cilj pružiti uvid u tehničke aspekte LoRa sustava, kao i njihov potencijalni utjecaj na industriju i društvo u cjelini. Sagledati ćemo perspektive razvoja LoRa tehnologije i razmotriti kako bi se njena primjena mogla proširiti i unaprijediti u budućnosti.

Rad je podijeljen na četiri poglavlja. U uvodnom dijelu opisana je i naglašena važnost bežičnih tehnologija za komunikaciju u kontekstu Interneta stvari (IoT) te potreba za pouzdanim i energetski učinkovitim rješenjima. U drugom poglavlju detaljno su analizirane specifičnosti LoRa sustava koje ga čine jedinstvenim i prikladnim za različite primjene. To uključuje karakteristike kao što su modulacija signala, domet, niski troškovi energije, skalabilnost i prilagodljive brzine prijenosa podataka. Treće poglavlje razmatra arhitekturu LoRa sustava i uloge ključnih komponenti. Uloga senzora, mrežnih čvorova, Gateway-a i Network server-a bit će objašnjena kako bi se razumjelo kako podaci putuju i obrađuju se u LoRa mrežama. Četvrto poglavlje analizira prednosti LoRa sustava u usporedbi s drugim bežičnim tehnologijama, kao i izazove s kojima se suočava. Naglašena je važnost sigurnosnih aspekata u LoRa sustavima, uz konkretan primjer iz prakse te su objašnjeni primjeri postojećih sustava kao i primjer korištenja LoRaWAN uređaja.

2. SPECIFIČNOSTI LoRa SUSTAVA

LoRa je bežična tehnologija koja nudi izvanredne mogućnosti za komunikaciju na velike udaljenosti, uz minimalnu potrošnju energije i osiguran prijenos podataka, posebno za aplikacije u području M2M (engl. *Machine-to-machine*) i Interneta stvari (IoT). Temelji se na tehnici proširenog spektra poznatoj kao CSS (engl. *Chirp Spread Spectrum*) i svojom izvanrednom kombinacijom karakteristika postaje ključni igrač u svijetu bežične komunikacije.

Ova tehnologija je osmišljena za povezivanje različitih uređaja, uključujući senzore, gateway, strojeve, uređaje, kao i životinje i ljude, što je čini izuzetno fleksibilnom i prilagodljivom raznim primjenama. [1] Karakteristika koja LoRa tehnologiju izdvaja je njezina sposobnost osiguravanja pouzdane komunikacije na velike udaljenosti, bez obzira na prepreke poput zgrada i terena. Ovo je ključno za aplikacije koje zahtijevaju dalekosežnu komunikaciju, a istovremeno žele sačuvati energetska učinkovitost.

Jedna od najvažnijih karakteristika LoRa tehnologije je njezino radio sučelje koje je posebno dizajnirano za primanje izuzetno niskih razina signala. Zahvaljujući tome, LoRa omogućuje prijenos podataka čak i pri uporabi uređaja s malom snagom odašiljanja na značajnim udaljenostima. Ova kombinacija izvanrednih dometa i niske potrošnje energije čini LoRa tehnologiju izuzetno privlačnom za aplikacije koje zahtijevaju povremene veze s niskim brzinama prijenosa podataka [2].

Obzirom na sve ove karakteristike, LoRa je postala jedna od nezaobilaznih tehnologija u revoluciji Interneta stvari (IoT) i povezanih uređaja. Njezina sposobnost omogućavanja efikasne i dugotrajne komunikacije na velike udaljenosti otvorila je vrata mnogim inovativnim rješenjima, uključujući pametne gradove, poljoprivredu, praćenje resursa i mnoge druge aplikacije.

Uz sve navedeno, LoRa tehnologija donosi značajan napredak u sigurnosnoj razmjeni podataka, što pridonosi povećanju učinkovitosti organizacija, bez obzira na njihovu veličinu, od malih poduzeća do velikih gradova. Njezina sposobnost pružanja pouzdane i ekonomične komunikacije na velike udaljenosti zasigurno je oblikovala način na koji svijet vidi i koristi bežičnu tehnologiju.

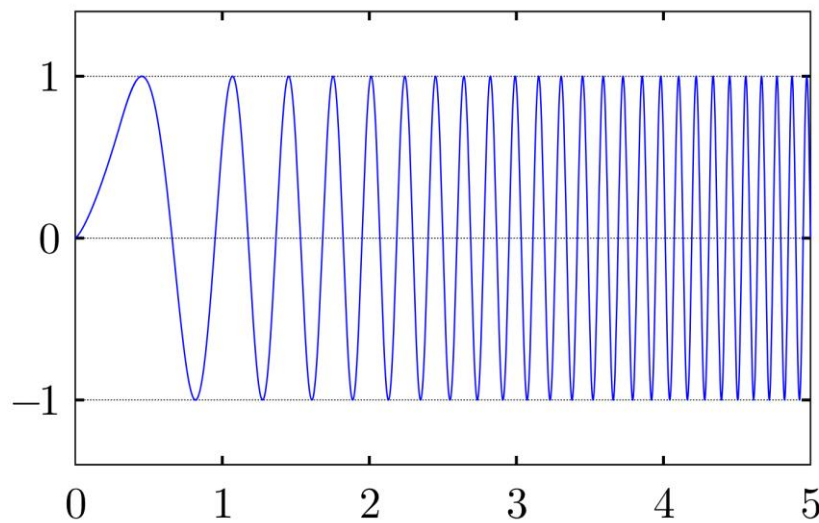
2.1. Modulacije i doseg signala

Modulacija signala je ključna u bilo kojem bežičnom komunikacijskom sustavu, pa tako i u LoRa sustavima koja koristi posebnu modulacijsku tehniku zvanu CSS, tehnika proširenog spektra [3].

Osnovni principi ove tehnike su:

Chirp signal – Osnovna komponenta CSS je signal koji mijenja frekvenciju tijekom vremena. Ovaj signal naziva se "chirp" zbog svog karakterističnog oblika, koji podsjeća na zvuk koji proizvode ptice. U signalu se frekvencija kontinuirano mijenja ili raste (poznato kao up-chirp) ili pada (down-chirp) tijekom vremena,

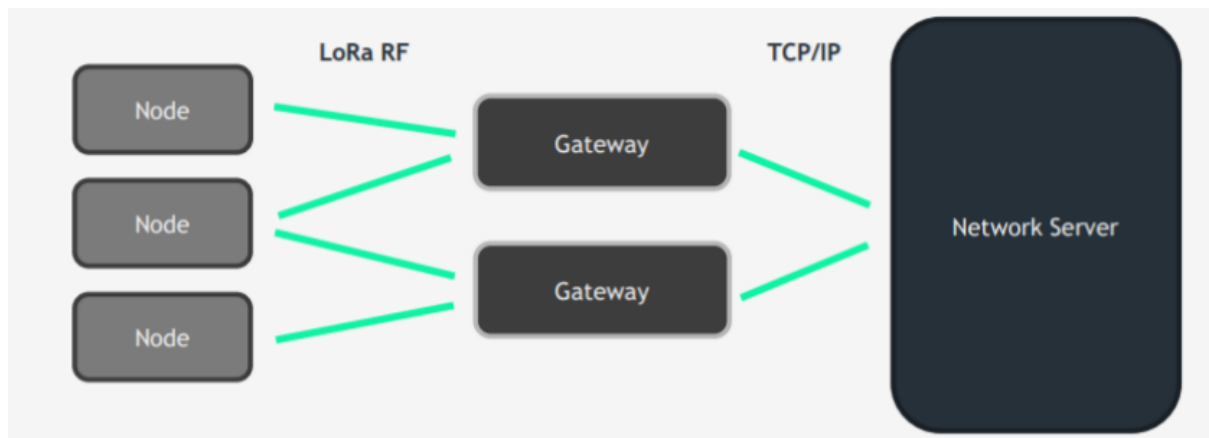
Rasprostiranje spektra (*Spread Spectrum*): CSS koristi rasprostiranje signala kroz široki frekvencijski spektar. Ovo se postiže variranjem frekvencije chirp signala. Signal se širi na veći broj frekvencija, čime postaje manje osjetljiv na smetnje i interferencije. Slika 1.2. Prikazuje sinusoidalan signal kojem se frekvencija povećava u vremenskoj domeni [4].



Slika 1.2. Upchirp u vremenskoj domeni [4]

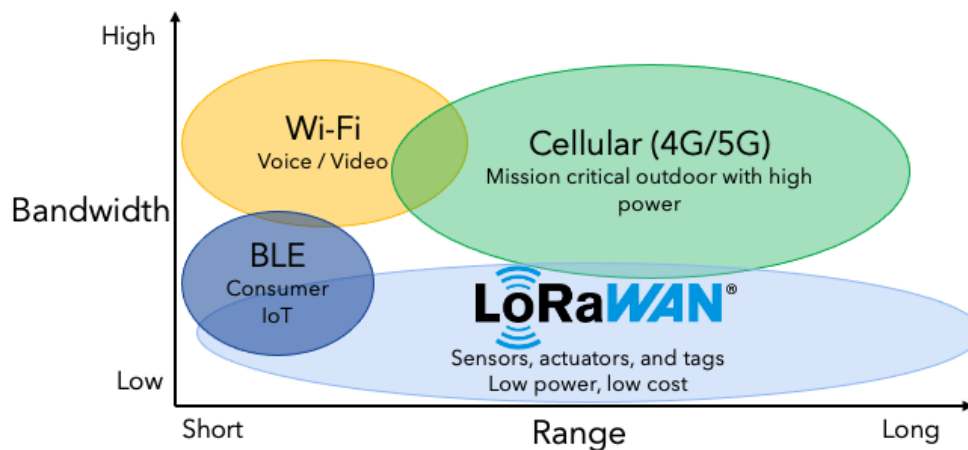
Modulacija signala omogućava LoRa sustavu da prenosi podatke na velike udaljenosti jer je signal manje osjetljiv na smetnje i degradaciju signala. CSS modulacija pruža LoRa uređajima da primaju izuzetno niske razine signala, čak i na velikim udaljenostima od odašiljača. To znači da LoRa uređaji mogu komunicirati čak i kroz prepreke poput zgrada i terena s mnogo manje problema nego što bi to bilo moguće kod drugih tehnologija. Kreiran od strane Semtecha za

standardizaciju LPWAN-ova, LoRa omogućava komunikaciju velikog dometa: 5 kilometara u urbanim područjima i do 15 kilometara ili više u ruralnim područjima [3]. Ključna karakteristika rješenja temeljenih na LoRa jesu niski zahtjevi za napajanjem, pa se iz tog razloga koriste baterije koje mogu trajati do 10 godina. Razmještena u zvjezdastoj topologiji, mreža temeljena na otvorenom protokolu LoRaWAN savršena je za aplikacije koje zahtijevaju dalekosežnu ili duboku komunikaciju unutar zgrade između velikog broja uređaja koji imaju male zahtjeve za napajanjem i koji prikupljaju male količine podataka. . Slika 2.1. prikazuje zvjezdanu topologiju mreže te osnovni princip arhitekture – *node* (krajnji uređaji), *gateway* (prosljeđuje poruke sa krajnjih uređaja) i *Network server* (serveri na kojima se nalazi softver koji nadzire cijelu mrežu).



Slika 2.1. LoRa zvjezdana topologija mreže [5]

Jedna od karakteristika LoRa sustava njezin je izuzetno velik domet signala. Može prenositi podatke na udaljenosti od desetaka kilometara, čak i u urbanim okruženjima. Ovaj veliki domet čini LoRa tehnologiju idealnom za primjene poput praćenja vozila, pametnih gradova, poljoprivrede i mnogih drugih [6]. Ovakav domet postiže se kombinacijom CSS modulacije i niske frekvencije na kojoj radi LoRa. LoRa koristi frekvencije ispod 1 GHz, što signalu omogućava prodiranje kroz prepreke i velik doseg. Na slici 2.2. prikazano je kako LoRaWAN koristi veći domet u usporedbi s mobilnom mrežom, WIFI-em i novom bežičnom tehnologijom BLE (*Bluetooth Low Energy*).



Slika 2.2. LoRa WAN u usporedbi s drugim načinima komunikacije u ovisnosti o domet [7]

2.2. Niski troškovi energije

Jedna od ključnih prednosti LoRa tehnologije njezina je iznimno niska potrošnja energije koja igra ključnu ulogu u uspješnoj primjeni LoRa sustava u raznim Internetu stvari (IoT) aplikacijama, gdje se često zahtijeva dug vijek trajanja baterija uređaja. LoRa uređaji koriste vrlo nisku snagu odašiljanja, što znači da troše vrlo malo energije pri slanju podataka [8]. Niska snaga odašiljanja osigurava da baterije uređaja traju mnogo dulje nego što bi to bilo moguće kod drugih bežičnih tehnologija koje koriste visoke razine snage.

LoRa sustav omogućava prilagodljive intervale odašiljanja [9]. To znači da uređaji ne moraju neprestano odašiljati podatke, već ih mogu slati u intervalima koji su prilagođeni konkretnim potrebama aplikacije. Smanjuje potrošnju energije jer uređaji mogu biti u stanju mirovanja između odašiljanja podataka [8]. Zbog niske potrošnje energije, LoRa uređaji imaju izuzetno dug vijek trajanja baterija. U mnogim aplikacijama, poput pametnih senzora za praćenje okoliša, uređaji mogu raditi na istoj bateriji godinama prije nego što je potrebno zamijeniti ili napuniti bateriju. Značajno smanjuje troškove održavanja i produžuje operativnu sposobnost uređaja. LoRa tehnologija idealna je za aplikacije koje zahtijevaju povremene veze s niskom brzinom prijenosa podataka [9]. Primjerice, senzori za praćenje temperature ili vlage u poljoprivredi ne trebaju visoke brzine prijenosa, ali zahtijevaju dug vijek trajanja baterija. LoRa sustav zadovoljava ove zahtjeve pružajući nisku potrošnju energije i dovoljno kapaciteta za slanje osnovnih podataka.

2.3. Skalabilnost prema širokom opsegu uređaja

LoRa sustav može podržavati velik broj uređaja koji komuniciraju na velike udaljenosti, a istovremeno osigurava nisku potrošnju energije [1]. Skalabilnost LoRa sustava ima značajne prednosti i omogućava raznolike primjene.

Jedna od ključnih značajki LoRa sustava koja pruža skalabilnost je ADR (engl. *Adaptive Data Rate*). ADR omogućuje dinamičko prilagođavanje brzine prijenosa podataka svakog uređaja prema njegovim potrebama i uvjetima komunikacije [5]. To znači da uređaji koji su bliži gateway-u mogu koristiti veće brzine prijenosa podataka, dok uređaji koji su udaljeni ili se nalaze u lošim uvjetima komunikacije koriste niže brzine.

Prednosti skalabilnosti LoRa sustava prema širokom opsegu uređaja: [10]

- Efikasnost: omogućava se učinkovita upotreba spektra i energije, što rezultira duljim vijekom trajanja baterija uređaja.
- Pouzdanost: Skalabilnost LoRa sustava ima pouzdanu komunikaciju čak i u uvjetima s velikim brojem uređaja.
- Ekonomičnost: LoRa sustav pruža ekonomičnu izgradnju i održavanje mreže za različite aplikacije.
- Prilagodljivost: LoRa se može prilagoditi različitim aplikacijama i potrebama, što ga čini idealnim za različite sektore.

Prilagodljivost osigurava učinkovitu upotrebu dostupnog spektra i energetske učinkovitost, što je ključno za skalabilnost. LoRa mreža omogućava različite topologije, uključujući star-topologiju (jedan gateway koji komunicira s mnogim uređajima) i mrežu s više „hopova“ (više gateway-a i mrežnih čvorova koji prenose podatke između gatewaya i uređaja) [10]. Ova fleksibilnost pruža LoRa sustavu mogućnost da skalira prema potrebama aplikacije. Ako je potrebno pokriti veliko područje ili podržavati velik broj uređaja, moguće je dodati više gatewaya i mrežnih čvorova kako bi se osigurala pouzdana komunikacija. LoRa tehnologija se ističe svojim iznimno dugim dometom, što znači da jedan gateway može pokrivati veliko područje. To predstavlja prednost da se velik broj uređaja poveže s jednim gatewayem, što dodatno povećava skalabilnost sustava. Osim toga, LoRa omogućava simultanu komunikaciju s više uređaja, čime se povećava kapacitet mreže.

2.4. Prilagodljivost aplikacijama

Jedna od najznačajnijih karakteristika LoRa tehnologije je njena prilagodljivost različitim aplikacijama. Ova prilagodljivost pruža mogućnost da LoRa sustav bude temeljni stup različitih IoT rješenja u raznim industrijama. LoRa tehnologija sve više se primjenjuje u pametnim gradovima i urbanoj infrastrukturi. Pametni gradovi koriste senzore za praćenje prometa, kvalitete zraka, rasvjete i drugih aspekata kako bi poboljšali kvalitetu života svojih građana [10]. LoRa sustav idealan je za ove primjene zbog svoje sposobnosti praćenja na velike udaljenosti i niskih troškova energije. Primjerice, senzori za praćenje kvalitete zraka mogu se postaviti diljem grada i slati podatke preko LoRa mreže na centralizirani sustav za analizu i upravljanje.

U poljoprivredi, LoRa tehnologija nudi pametno praćenje i upravljanje poljoprivrednim resursima. Senzori za praćenje vlage u tlu, temperature, vlažnosti zraka i drugih parametara mogu se koristiti za optimizaciju navodnjavanja i upravljanje usjevima [11]. Nadalje, LoRa sustav osigurava praćenje stanja okoliša, uključujući praćenje razine vode, požara i drugih prirodnih katastrofa. U sektoru pametnih zgrada, LoRa tehnologija može se koristiti za upravljanje svjetlom, grijanjem, ventilacijom i klimatizacijom (HVAC sustavima). Senzori za detekciju prisutnosti, svjetla i temperature mogu komunicirati s centralnim sustavom za upravljanje kako bi se postigla veća energetska učinkovitost [11]. Osim toga, LoRa se može koristiti za mjerenje potrošnje električne energije i vode te nudi bolje praćenje i upravljanje resursima. U logistici, LoRa tehnologija koristi se za praćenje i upravljanje inventarom i opskrbnim lancima.

Senzori na paletama, kutijama i vozilima mogu slati podatke o lokaciji, temperaturi, vlažnosti i drugim parametrima [10]. Ovo poboljšava vidljivost i kontrolu nad inventarom te pomaže u smanjenju gubitaka i optimizaciji procesa.

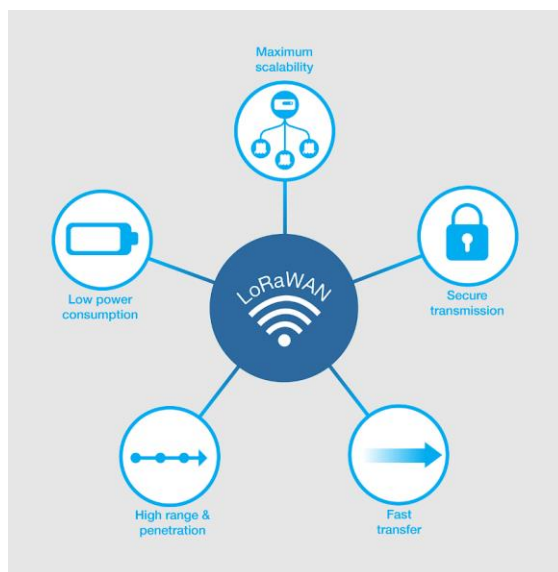
Prilagodljivost LoRa sustava čini ga idealnim izborom za različite aplikacije u IoT ekosustavu. Ova tehnologija kao rezultat daje efikasno, pouzdano i ekonomično povezivanje uređaja u različitim uređajima.

2.5. Prilagodljive brzine prijenosa podataka

LoRa tehnologija, kao ključna komponenta IoT ekosustava, ističe se svojom prilagodljivošću u prijenosu podataka. Jedna od ključnih prednosti LoRa sustava je sposobnost prilagodbe brzine prijenosa podataka različitim aplikacijama i uvjetima.

Primjeri prilagodljivih brzina prijenosa podataka u LoRa sustavima su brojni, a mogu se navesti najvažniji. Prvi su primjer aplikacije za praćenje lokacije vozila ili inventara u stvarnom vremenu, kod kojih je moguće koristiti visoku brzinu prijenosa podataka kako bi se osigurala brza i točna komunikacija. Za manje kritične aplikacije, poput praćenja temperature u transportu, brzina prijenosa podataka može biti niža kako bi se produžio vijek trajanja baterije uređaja. Drugi primjer su pametne zgrade. U pametnim zgradama, brzina prijenosa podataka može se prilagoditi ovisno o potrebama senzora i uređaja. Na primjer, senzori za praćenje prisutnosti mogu koristiti nisku brzinu prijenosa podataka, dok senzori za praćenje temperature mogu zahtijevati bržu komunikaciju [12].

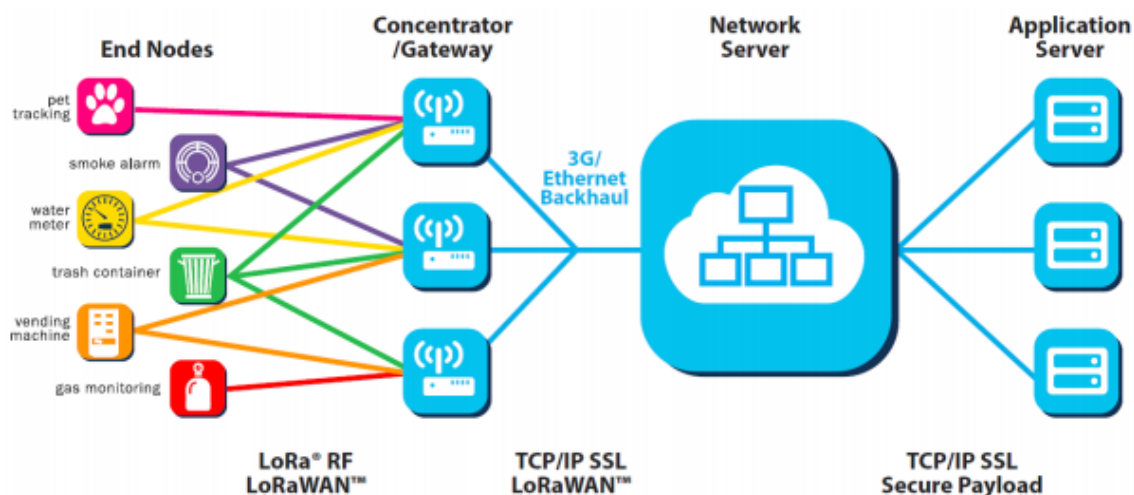
LoRa tehnologija omogućava prilagodbu brzine prijenosa podataka kako bi odgovarala specifičnim potrebama svake aplikacije. To znači da se brzina prijenosa podataka može podešavati na različite razine, omogućujući fleksibilnost u različitim scenarijima. [13] Prilagodljivost brzine prijenosa podataka ključna je karakteristika LoRa tehnologije koja je pridonijela njezinoj sveprisutnosti u IoT ekosustavu. Mogućnost prilagodbe brzine omogućava da se LoRa sustav koristi u različitim primjenama, od brze praćenja vozila do sporog prikupljanja podataka o okolišu. To čini LoRa tehnologiju izuzetno fleksibilnom i prilagodljivom tehnologijom koja će i dalje rasti i razvijati se kako bi podržala različite potrebe IoT industrije. Slika 2.3. prikazuje prednosti LoRaWAN mreže koje ju čine jednom od najpopularnijih u IoT industriji: skalabilnost, siguran i brz prijenos podataka, niska potrošnja i veliki domet.



Slika 2.3. Prednosti LoRaWAN sustava [14]

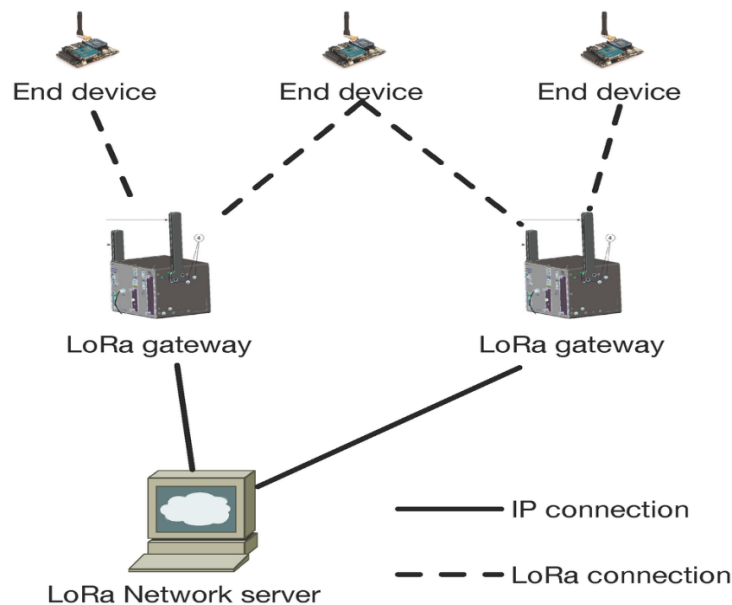
3. ARHITEKTURA LoRA SUSTAVA

Komunikacijska struktura LORA sustava prikazana je na slici 3.1. Na slici su za primjer prikazani krajnji uređaji poput alarma za dim, brojila za vodu, aparata za kavu i ostali. Oni preko koncentratora/gateway-a komuniciraju sa mrežnim serverima uz pomoć LoRaWAN radio mreže te se na mrežnim serverima podaci obrađuju i primjenjuju u različite svrhe.



Slika 3.1. Komunikacijska Arhitektura LoRaWAN sustava [15]

Arhitektura LoRa sustava od iznimne je važnosti kako bi se shvatilo kako podaci funkcioniraju u ovom bežičnom sustavu. Slika 3.2. prikazuje osnovnu arhitekturu LoRa mreže na kojoj su prikazani server, gateway i krajnji uređaji. Uređaj preko LoRa WAN radio mreže šalje signal prema gateway-u koji se nakon dekodiranja prenosi do krajnjeg korisnika.



Slika 3.2. Arhitektura LoRa sustava [1]

3.1. Uloga senzora

Uloga senzora u LoRa sustavima ima ključni značaj jer su senzori ti koji prikupljaju različite vrste podataka iz stvarnog svijeta i šalju ih putem LoRa mreže na daljnju obradu ili analizu. Senzori su ključan čimbenik u Internetu stvari (IoT) ekosustavu, gdje je potrebno prikupiti podatke o okolini, uređajima ili procesima radi donošenja informiranih odluka ili automatizacije različitih funkcija.

Senzori prikupljaju različite vrste podataka o okolini ili specifičnim parametrima koje je potrebno pratiti. To mogu biti podaci o temperaturi, vlažnosti zraka, razini buke, broju obrtaja strojeva, razini osvjetljenja ili bilo koje druge relevantne informacije [1]. Senzori pretvaraju fizičke ili analogni signali u digitalni oblik koji je pogodan za prijenos putem digitalnih komunikacijskih kanala, kao što je LoRa [10]. Ovaj postupak digitalizacije omogućava precizan i pouzdan prijenos podataka.

Većina senzora u LoRa sustavima dizajnirana je tako da troše minimalnu količinu energije kako bi produžili vijek trajanja baterije ili izvor napajanja [10]. To je ključno za senzore koji su postavljeni na udaljenim ili teško dostupnim lokacijama. Senzori koriste LoRa komunikacijski protokol kako bi podaci mogli putovati na velike udaljenosti. Ovo je iznimno važno za aplikacije koje pokrivaju šira geografska područja, kao što su sustavi za praćenje stoke na velikim farmama ili sustavi za praćenje okoliša na udaljenim lokacijama.

Senzori su često kompaktni uređaji koji se lako mogu instalirati na različitim mjestima. Ovo olakšava postavljanje i skaliranje LoRa sustava prema potrebama. Senzori se koriste u različitim industrijama i aplikacijama. Primjerice, u poljoprivredi se koriste senzori za praćenje vlage tla i temperature kako bi se poboljšala kvaliteta usjeva. U pametnim gradovima se koriste senzori za praćenje kvalitete zraka i buke radi poboljšanja životnih uvjeta građana.

3.2. Uloga mrežnih čvorova

Uloga mrežnih čvorova u LoRa sustavima od ključne je važnosti jer čine vezu između senzora i glavne mreže ili interneta. Mrežni čvorovi, također poznati kao LoRaWAN čvorovi, djeluju kao posrednici koji osiguravaju prijenos podataka između senzora i centralnog sustava [11]. Mrežni čvorovi su opremljeni za prijem podataka od senzora koji koriste LoRa komunikacijski protokol. Nakon što prime podatke, mrežni čvorovi ih prosljeđuju dalje prema glavnoj mreži ili cloud sustavu [10]. Ovaj proces omogućava centralizirano prikupljanje podataka sa svih senzora.

Mrežni čvorovi raspoređeni su na terenu na stratežičkim lokacijama kako bi pokrivali određeno područje ili geografsko područje [1]. Njihova prisutnost kao rezultat daje stvaranje šire mreže za prijenos podataka na velike udaljenosti. Ovisno o potrebama i veličini sustava, broj mrežnih čvorova može varirati. Slično sensorima, mrežni čvorovi također troše minimalnu količinu energije. To je ključno jer mnogi mrežni čvorovi često koriste baterije kao izvor napajanja. Ovakav pristup osigurava dugotrajnu upotrebu mrežnih čvorova na terenu.

Mrežni čvorovi igraju ključnu ulogu u rutiranju podataka prema odredištima. To znači da mogu prosljediti podatke iz jednog čvora u drugi kako bi se osiguralo da podaci dosegnu svoj cilj na najučinkovitiji način [16]. Ova sposobnost pruža izgradnju kompleksnih mreža s mnogo senzora i čvorova. Mrežni čvorovi obično su opremljeni autonomnim upravljačkim funkcijama

koje služe za konfiguriranje i nadzor čvorova na daljinu. To znači da se čvorovi mogu prilagoditi različitim uvjetima i promjenjivim potrebama sustava.

Mrežni čvorovi su povezani s LoRa gatewayima koji služe kao priključci na glavnu mrežu. Gatewayi prihvaćaju podatke od mrežnih čvorova i prosljeđuju ih na centralni server. U tom smislu, gatewayi su most između terenskih uređaja (čvorova) i cloud infrastrukture. LoRa sustavi pružaju mogućnost dodavanja novih mrežnih čvorova kako bi se proširila pokrivenost ili kapacitet sustava. Ova skalabilnost čini LoRa sustave prikladnima za različite primjene, od pametnih gradova do industrijskih IoT rješenja.

3.3. Gateway i Network server

Mrežni čvorovi su neophodna komponenta LoRa sustava jer nude prijenos podataka s terenskih uređaja prema glavnim mrežama i sustavima za daljnju obradu. Njihova sposobnost prijena podataka na velike udaljenosti uz nisku potrošnju energije čini ih idealnim za različite IoT i M2M primjene, pružajući mogućnost praćenja i upravljanja raznim parametrima u stvarnom vremenu.

Gateway je uređaj koji prima podatke od mrežnih čvorova (senzora) putem LoRa bežične komunikacije [1]. Ovi podaci dolaze u obliku radio signala s niskom razinom snage. Gateway konvertira primljene LoRa signale u IP pakete koji se mogu prenijeti putem interneta. Ovo je ključna funkcija jer kao rezultat osigurava spoj između bežične mreže i globalne mreže (internet) [1].

Gateway je povezan s network serverom putem internetskog povezivanja. On prenosi IP pakete network serveru radi daljnje obrade i dostave podataka aplikacijama [16]. Svaki gateway obično pokriva određeno geografsko područje ili urbanu zonu. Njihova distribucija na terenu osigurava širenje pokrivenosti LoRa mreže.

Network server je odgovoran za obradu i usmjeravanje primljenih IP paketa prema odgovarajućim aplikacijama i uređajima [11]. To uključuje prepoznavanje i deskripciju podataka te njihovo slanje na prave adrese. Network server također igra ključnu ulogu u osiguranju sigurnosti podataka tijekom prijena i obrade. On provodi autentifikaciju uređaja i enkripciju podataka kako bi osigurao povjerljivost i integritet. Network server nudi administraciju i

upravljanje cijelom LoRa mrežom [11]. To uključuje upravljanje registracijom uređaja, dodjeljivanje ključeva i adresa te nadzor nad statusom i performansama mreže. Network server može provoditi različite politike mreže, kao što su postavljanje brzina prijenosa podataka, raspodjela resursa i pristup određenim uređajima ili aplikacijama.

3.4. Fizički sloj - LoRa PHY

Fizički sloj (LoRa PHY) predstavlja ključni dio LoRa bežične tehnologije. Ovaj sloj odnosi se na način na koji se podaci prenose kroz radiofrekvencijski spektar te kako se održava iznimno niska potrošnja energije. LoRa PHY koristi posebnu tehniku modulacije poznatu kao Chirp Spread Spectrum (CSS). Ova tehnika kao prednost ima iznimno nisku potrošnju energije i veliku otpornost na interferenciju.

Jedna od najvažnijih karakteristika LoRa PHY-a je njegov ogroman domet. Ova tehnologija pruža komunikaciju na udaljenostima od nekoliko desetaka kilometara, čak i u urbanim okruženjima. LoRa PHY omogućava dinamičko prilagođavanje brzine prijenosa podataka. To znači da se može prilagoditi zahtjevima aplikacije, što je posebno korisno jer neke aplikacije zahtijevaju visoku brzinu prijenosa, dok druge prioritiziraju nisku potrošnju energije. LoRa PHY može koristiti različite širine spektra ovisno o potrebama. Šire širine daju kao rezultat bolji domet, dok uže širine osiguravaju veću brzinu prijenosa.

Zahvaljujući CSS modulaciji, LoRa PHY iznimno je otporan na interferenciju od drugih uređaja koji koriste iste frekvencijske pojaseve. To ga čini pogodnim za korištenje u gusto naseljenim urbanim područjima. Jedna od najvažnijih karakteristika LoRa PHY-a je iznimno niska potrošnja energije. Uređaji koji koriste LoRa tehnologiju mogu raditi na baterije ili druge izvore energije i trajati godinama bez zamjene.

4. PREDNOSTI, IZAZOVI I PERSPEKTIVE LoRa SUSTAVA

Dok su prednosti LoRa sustava često očite, izazovi ne manjkaju, a perspektive sugeriraju potencijalni razvoj tehnologije u budućnosti.

4.1. Prednosti i izazovi LoRa sustava

U usporedbi s tradicionalnim komunikacijskim protokolima, LoRaWAN nudi nekoliko prednosti, uključujući sposobnost pokrivanja velikih geografskih područja, nisku potrošnju energije i sigurnu komunikaciju. Ova je tehnologija posebno prikladna za aplikacije u kojima uređaji moraju komunicirati na velikim udaljenostima bez pražnjenja baterija.

U LoRaWAN-u, uređaji koji su obično u većoj količini su gatewayi i terminali. Budući da pristupnik služi samo kao prosljeđivač podataka, cijena mu je relativno niska, a iznosi 50 USD. Terminalni uređaj samo treba slati podatkovne informacije pristupniku, tako da je cijena terminalnog uređaja oko 10 USD [16].

Koristeći CSS i ADR, LoRaWAN može komunicirati s pristupnikom udaljenim do 15 km u otvorenim područjima bez prepreka ili do 5 km u urbanim područjima [10]. To znači da jedan gateway može pokriti sve uređaje na području od približno 700 četvornih kilometara. U usporedbi s 4G CAT1, LoRaWAN ima nisku potrošnju energije. U vanjskim okruženjima kao što su poljoprivreda i šumarstvo, 4G CAT1 se ne može napajati baterijama kao LoRaWAN [11].

Zbog zahtjeva male potrošnje energije i niske vršne struje, potrošnja energije LoRaWAN terminalnih uređaja u stanju mirovanja je ispod $5\mu\text{A}$, što značajno smanjuje potrošnju energije uređaja. Jedno punjenje može produljiti vijek trajanja uređaja na 10 godina, čime se znatno smanjuju troškovi podrške i održavanja [1]. Tehnologija bežične modulacije LoRa može prodrijeti u dubinu unutarnjeg prostora s mogućnošću doseganja senzora podzemne vode i plinomjera.

LoRaWAN radi na besplatnom javnom spektru, dostupnom svima za korištenje, što ga razlikuje od NB-IoT-a, još jedne tehnologije niske potrošnje koja zahtijeva mreže operatera. LoRaWAN-ova značajka privatne mreže daje veću ekonomsku i operativnu fleksibilnost. LoRaWAN mreže su raspoređene na slobodnim ISM (industrijski, znanstveni i medicinski frekvencijski raspon) frekvencijskim pojasima (EU868, AS923, US915MHz), omogućujući bilo

kojem pružatelju usluga ili poduzeću da postavi i upravlja LoRaWAN mrežama bez frekvencijske licence. [11]

LoRaWAN tehnologija je isplativa opcija za aplikacije koje zahtijevaju dug vijek trajanja, nisku potrošnju energije, širok raspon pokrivenosti, ali ne zahtijevaju velike prijenose podataka. Omogućuje svakome da pokrene LoRaWAN projekt i postavi i upravlja LoRaWAN mrežama bez frekvencijske licence.

Kao glavni nedostatak LoRa sustava trebaju se istaknuti smetnje u odnosu na ALOHA shemu. LoRa komunikacija je usporediva s čistom ALOHA shemom jer ne bi specificirala nikakvo specifično upravljanje pristupom spektra. Međutim, jedan od nedostataka rješenja temeljenih na ALOHA-i je njihova metoda slijepog emitiranja, koja omogućuje emiteru emitiranje kad god postoji paket za prijenos koji zahtijeva praćenje kanala [17]. Nadalje, u sustavu koji sadrži samo ALOHA, osjetljivo razdoblje je dvostruko duže od trajanja ciklusa. To implicira da će svako duplo emitiranje koje započne u intervalu vremenskog okvira koji otvara jedno razdoblje signala ranije i zatvara se nakon emitiranja signala uništiti prijenos.

4.2. Sigurnosni aspekti LoRa sustava

Instalacije LoRa povezat će mnoge krajnje uređaje uključene u otkrivanje aktivnosti. Osim toga, da bi se razumjela skalabilnost ove inovacije, bitno je procijeniti njezinu sposobnost. Stoga su provedene studije o mogućnostima LoRaWAN-a za pojedinačne lučke instalacije i urbanu implementaciju [17]. Prema analizi brzina prijenosa i udaljenosti širenja, preporučuje se da implementacije LoRa u urbanim uvjetima koriste najveću bitsku brzinu. Zapravo, s obzirom na brzinu veze manju od maksimalne, popunjenost terminala po području ostaje nepromijenjena pod danom pretpostavkom.

4.3. Primjeri postojećih sustava koji koriste LoRa tehnologiju

LoRa tehnologija, s obzirom na svoje izvanredne karakteristike kao što su veliki domet, niska potrošnja energije i prilagodljiva brzina prijenosa podataka, pronašla je primjenu u raznim sektorima i aplikacijama.

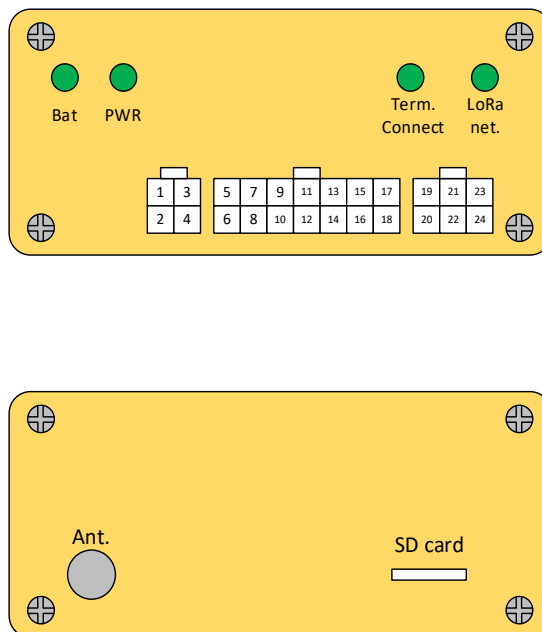
U industriji, LoRa se koristi za praćenje i upravljanje opremom i strojevima, praćenje razine zaliha, te praćenje uvjeta skladišta i transporta. To pomaže u smanjenju troškova održavanja i povećanju produktivnosti [10]. U zdravstvu se LoRa tehnologija koristi za praćenje pacijenata izvan bolnica, praćenje vitalnih znakova, praćenje unosa lijekova i upravljanje medicinskim uređajima. To omogućuje bolju skrb o pacijentima i smanjenje troškova zdravstvene zaštite.

U logistici, LoRa se koristi za praćenje vozila, tereta i kontejnera. To omogućava učinkovito praćenje robe tijekom transporta i smanjuje rizik od gubitka ili krađe. Gradovi koriste LoRa tehnologiju za implementaciju pametnih sustava za upravljanje prometom, što uključuje praćenje vozila javnog prijevoza, upravljanje parkiralištima i kontrolu prometnih gužvi [11]. LoRa se primjenjuje za praćenje stanja okoliša, uključujući mjerenje kvalitete zraka, praćenje razina voda, praćenje divljih životinja i praćenje šuma kako bi se podržala održiva upotreba resursa i zaštita okoliša.

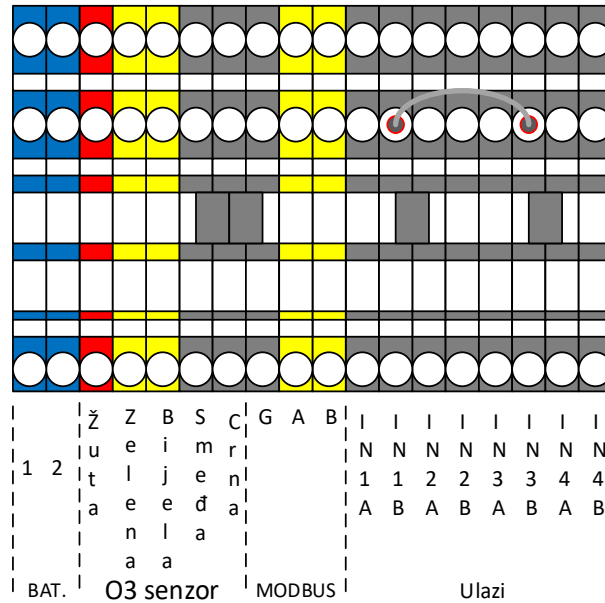
Njezina prilagodljivost i sposobnost za dugotrajno praćenje na velikim udaljenostima čine je izuzetno vrijednim alatom za mnoge industrije i sektore.

4.4. Primjer korištenja LoRaWAN uređaja

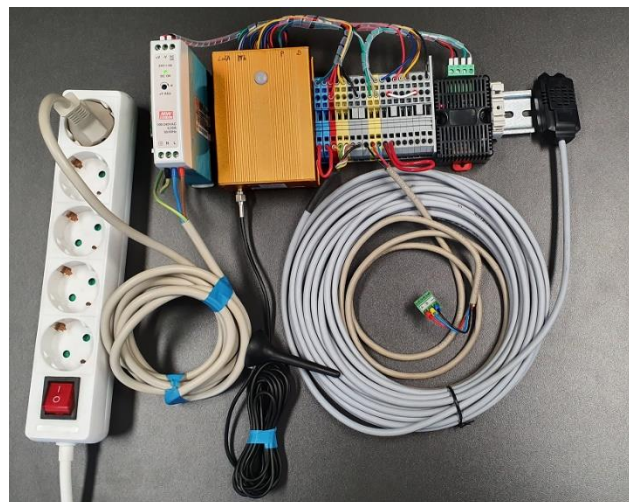
U ovom dijelu prikazan je način korištenja LoRaWAN kontrolera koji je u pokusnom radu i testiranju u HEP-ODS-u (Operator distribucijskog sustava). Radi se o kontroleru koji povremeno šalje podatke iz transformatorskih stanica 10(20)/0,4 kV prema IoT platformi korištenjem LoRaWAN radijske mreže. IoT kontroler i shema spajanja prikazani su na slici 4.1. Slika prikazuje osnovne LED diode koje signaliziraju stanja baterije, napajanja, povezanosti LoRa signala (gornja strana) dok se na donjoj strani povezuju antena i SD kartica (na kojoj se nalazi firmware). Na slici 4.3. nalazi se potpuno ožičen kontroler koji je pripremljen za ugradnju.



Slika 4.1. Kontroler s diodama za signalizaciju [18]



Slika 4.2. Shema spajanja kontrolera [18]



Slika 4.3. Priključen LoRa kontroler [18]

Kontroler radi na način da očitava periodički električne mjerne veličina po Modbus protokolu sa fiksno ugrađenog mjernog terminala, očitava ciklički mjerne veličine temperature, vlažnosti i koncentracije ozona preko zasebnih senzora. Očitava stanje 4 digitalna ulaza, stanje PIR (*Pasivni infracrveni senzor*) senzora detekcije pokreta i prati stanje napajanja 230Vac. Ciklički šalje na platformu očitane mjerne vrijednosti. Spontano po nastanku na platformu šalje promjenu stanja digitalnih ulaza te sedam različitih logičkih alarma.

4.4.1 Pokretanje kontrolera

Kontroler se može pokrenuti spajanjem interne baterije na rednim stezaljkama 1 i 2 ili spajanjem na napajanje 230Vac sa otpojenom baterijom ili oboje. Interna baterija je punjiva i služi za privremeni autonomni rad kontrolera kada u TS nema napona vlastite potrošnje. Autonomija baterije iznosi cca 24 sata na temperaturi oko 10 stupnjeva.

Nakon pokretanja kontroler se inicijalizira te nakon cca. 2 minute upali zelenu LED za LoRa konekciju i zeleni LED kad je uspostavio vezu sa mjernim terminalom po Modbus protokolu.

Kontroler automatski prepoznaje spojeni mjerni terminal ako su isti podešeni kako slijedi:

MT10SQ	Adresa-1	MODBUS-9600,N,1,8
MT10S	Adresa-1	MODBUS-9600,E,1,8
DIOS	Adresa-1	MODBUS-9600,N,1,8

Drugi tipovi mjernih terminala, ako postoje u mreži ODS-a nisu programirani u kontroleru i neće se moći povezati za prijenos podataka.

Nakon uspješnog spajanja kontrolera na mjerni terminal i LoRa mrežu, nakon 15 minuta na platformi će se pojaviti prva ciklička poruka, u slučaju da je u međuvremenu kontroler detektirao bilo koji alarm doći će prvo spontana poruka, najčešće unutar jedne minute od uzrokovanja alarma.

4.4.2 Generiranje LoRa poruka

Kontroler šalje na platformu u načelu samo dvije vrste poruka:

- Cikličku poruku s mjernim podacima svakih 15 minuta i trenutnim stanjem 16 različitih signala (0/1)
- Kratku spontanu poruku koja sadrži trenutna stanja 16 različitih signala (0/1), bez mjerenja.

Nakon slanja poruke na LoRa mrežu kontroler očekuje potvrdnu poruku bazne postaje OiV (*odašiljači i veze*) da je poruka primljena. U slučaju da potvrda izostane kontroler automatski nakon dvije minute šalje ponovno istu poruku. Pri tome je broj poruke „msg_ID“ isti ali se broj retransmisija „retr_send“ povećava za jedan. Sama poruka u sebi ne sadrži „time stamp“ tako da je za moguću restauraciju najbližeg vremena nastanka poruke na platformi stvoren zasebni mehanizam brojenja poruka i brojenja retransmisija. Restaurirano vrijeme na platformi ne može biti točnije od nekoliko minuta gore/dolje.

U slučaju problema sa LoRa mrežom, kontroler ima sposobnost fi-fo (engl. *first in first out*) spremanja 20 zadnjih generiranih poruka što je dovoljno da može premostiti i nekoliko sati prekida radijske mreže te naknadno iz spremnika (engl. *buffer*) poslati spremljene cikličke i spontane poruke.

Kratke spontane poruke sa stanjem signala generiraju se na logičku promjenu bilo kojeg signala iz stanja 0 u stanje 1, za obrnutu promjenu spontane se poruke ne generiraju. Promjena signala iz 1 u 0 se evidentira samo u sadržaju cikličkih 15 minutnih poruka jer se u trenutku formiranja cikličke poruke skeniraju trenutna stanja svih 16 signala te slažu u sadržaj cikličke poruke. Na taj je način osigurano da se i u slučaju gubitka spontane poruke o alarmu (promjena iz 0 u 1) taj alarm pošalje u sadržaju prve slijedeće cikličke poruke ukoliko je alarm još uvijek aktivan - kao neka vrsta „backup“ poruke. Ukoliko je alarm bio aktiviran na platformi nekom od ranijih spontanih poruka, njegov prestanak će se evidentirati u prvoj cikličkoj poruci koju kontroler pošalje na platformu nakon stvarnog prestanka alarma, odnosno logičke promjene signala iz 1 u 0.

4.4.3 Mjerenje električnih veličina

Preko RS485 porta kontroler svakih 15 sekundi čita modbus registre mjernog terminala sa trenutnim mjernim vrijednostima tri fazna napona, tri fazne struje te radnu i jalovu snagu. Prikupljene vrijednosti zaokružuje na cijela mjesta bez decimala i sprema u lokalnu memoriju.

Po isteku 15 minutnog perioda kontroler na osnovi 15 sekundnih podataka izračunava srednju vrijednost za svaku od 8 mjernih veličina: U11, U12, U13, I11, I12, I13, P i Q pri čemu odbacuje stršeće vrijednosti. Podatak o izračunatim srednjim vrijednostima, zajedno sa ostalim podacima, pakira se u jednu cikličku u LoRa poruku duljine 23 bajta i šalje na platformu.

Za tri fazna napona nule ne ulaze u izračun srednje vrijednosti, odnosno podatke bliske nuli kontroler odbacuje tako da se srednja vrijednost odnosi samo na period kad je napon bio prisutan. Ukoliko je napon blizak nuli dulje od tri minute kontroler proglašava alarm i šalje jedan od 7 mogućih internih alarma kao spontanu poruku na platformu, odmah po nastanku.

Srednja vrijednost mjerne veličine koja se kao jedan podatak prikazuje na platformi izračunata je tako iz 60 uzoraka unutar jednog 15-minutnog perioda.

Srednje vrijednosti napona i struja su uvijek pozitivne vrijednosti dok se za P i Q izračunavaju sa predznakom. Prema shemi spajanja mjernih terminala, tok radne i jalove snage je negativan

kada energija ide iz SN/NN transformatora prema NN sabirnicama u TS. Obrnuti smjer tokova snaga prikazuje se sa pozitivnim predznakom na platformi. Zbog prikazivanja predznaka za P i Q moguće je, iako rijetko, da se na platformi prikaže vrijednost 0 ako je pola perioda snaga tekla u jednom smjeru a drugu polovinu perioda u drugom smjeru jer je izračun srednje vrijednosti aritmetički, temeljen na spremljenim 15 sekundnim uzorcima.

Vrijednosti napona mogu biti od 0V do 255V,

Vrijednosti struje od 0A do 65.535A

Vrijednosti P i Q od -32.768kW do $+32.767\text{kW}$

4.4.4 Mjerenje temperature i vlažnosti zraka

Kontroler očitava mjerne vrijednosti temperature i vlage u zraku svakih 15 sekundi te po isteku 15 minutnog perioda izračunava srednju mjernu vrijednost za obje veličine te ih pakira zajedno sa električkim mjernim vrijednostima u istu cikličku poruku duljine 23 bajta. Mjerenje temperature i vlažnosti zraka mjeri posredstvom zasebnog senzora na DIN šinji uz redne stezaljke.

Raspon mjerenih vrijednosti temperature, teoretski iznosi od $-128\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+128\text{ }^{\circ}\text{C}$, bez decimalnih mjesta a rad kontrolera je za sada testiran od $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Raspon vlažnosti zraka može biti od 0 % do 100%, bez decimalnih mjesta.

4.4.5 Mjerenje koncentracije ozona

Kontroler mjeri koncentracije ozona u okolnom prostoru posredstvom elektrokemijskog detektora koji se isporučuje na duljem kabelu (cca 7m) kako bi se sam detektor mogao postaviti u prostor kablskih priključaka SN sklopnog bloka ili na drugo pogodno mjesto.

Ideja je pokušati potvrditi ponašanje koncentracija ozona u slučaju pojave korona efekta na kablskim završecima srednjeg napona. Opće je poznata činjenica da korona efekt ima za posljedicu ionizaciju okolnog zraka i stvaranje ozona -za sada u nepoznatim koncentracijama. U organizaciji ODS-a priprema se pokus generiranja korona efekta povišenim naponom na testnim kablskim završecima u prostorno sličnim uvjetima kakvi se nalaze u kablskom pretincu SN sklopnog bloka kada ćemo imati na raspolaganju više podataka o mogućoj primjeni ovakvog detektora za preventivno otkrivanje slabih mjesta u kablskoj SN mreži.

Kontroler mjeri koncentracije u ppb (broj čestica na milijardu) i teoretski može mjeriti koncentracije od 0 ppb do 65.535 ppb. Kao i za temperaturu, kontroler izračunava srednju vrijednost koncentracije ozona u 15-minutnom periodu te podatak pakira u redovnu cikličku LoRa poruku.

Iz dosadašnjeg testiranja kontrolera poznato da u normalnim uvjetima sonda mjeri koncentracije ozona od 20 do 100 ppb pri čemu privremeno koncentracije mogu narasti i do 1.000 ppb uslijed naglih promjena temperature i vlažnosti zraka no već nakon par sati se vrijednosti ponovno ustale ispod 100 ppb. Obzirom da korona može biti prisutna i mjesecima prije konačnog proboja izolacije kabela, za uvjete korona efekta očekuje se kontinuirani porast koncentracija kroz značajno dulji vremenski period nego što je to slučaj kod promjene temperature no to ostaje još za potvrditi. Također, ostaje još i provjeriti koncentracije ozona prilikom grmljavinskog nevremena kada se očekuju veće koncentracije prizemnog ozona kao i u slučaju pojave većeg smoga u središtima velikih gradova.

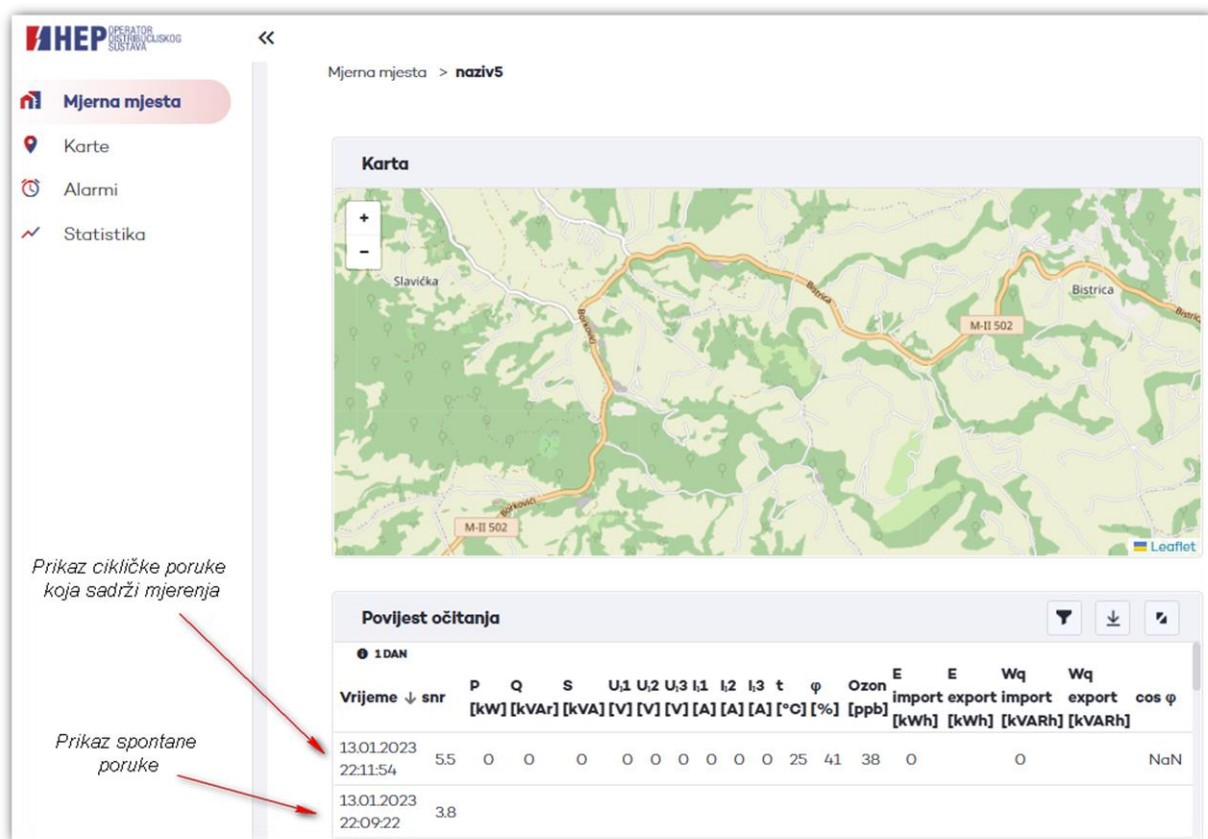
4.4.6 Digitalni ulazi i logički alarmi kontrolera

Kontroler, osim mjernih podataka koje šalje na platformu svakih petnaest minuta, može generirati i spontane alarmne poruke po nastanku kako je ranije opisano. Alarmne poruke su kratke poruke sadržaja 6 bajta koje sadrže trenutna logička stanja (0 ili 1) svih 16 mogućih alarma. Logičko stanje 1 predstavlja aktivan alarm, a 0 neaktivan. Alarmi na kontroleru nastaju kao posljedica promjene stanja digitalnih ulaza na kontroleru ili kao interni logički alarmi na osnovi prelaska pragova mjerenja, detekcije pokreta i slično.

Karakteristika alarma jest da se kratka spontana poruka šalje na platformu samo na prvi brid promjene signala (prelazak a iz stanja 0 u stanje 1). Opis djelovanja pojedinih alarma dan je u nastavku.

4.4.7 Ponašanje PIR senzora i detekcija pokreta

Na kućištu kontrolera smješten je PIR senzor za detekciju pokreta i radi na način da po detekciji pokreta ostaje blokiran 5 minuta kako se ne bi uzastopce generirali alarmi na svaki pokret. Po detekciji pokreta kontroler šalje kratku spontanu poruku koja se očekuje pojaviti na platformi najčešće u periodu 20 do 45 sekundi, iznimno može doći i nakon jedne minute što ovisi o kvaliteti LoRa signala i eventualnim retransmisijama. Prestanak detekcije pokreta se šalje kao logičko stanje 0 u prvoj slijedećoj 15-minutnoj poruci prema prethodnom opisu.



Slika 4.4. Kontrolna ploča – detaljni IoT mjernog mjesta [18]

4.4.8 Pregled detalja primljenih poruka

Na slici 4.5. prikazani su detalji kratke spontane poruke sadržaja 6 bajta koja ne sadrži mjerne podatke već samo statuse digitalnih ulaza i internih alarma. Na prikazu su vidljivi i svi ostali servisni podatci o primljenoj poruci.

5. ZAKLJUČAK

LoRa je LPWAN komunikacijski protokol temeljen na ISM-pojasu s pokrivenošću širokom od približno 20 kilometara i više uz korištenje snage prijenosa niže od 14 decibela. LoRa povezivost definira javnu platformu i omogućava korisnicima stvaranje neovisnih bežičnih veza male snage uz oslanjanje na vanjsku arhitekturu. Dvije temeljne komponente ove platforme su LoRaWAN i LoRa PHY. Potrošačka LoRaWAN komponenta tehnologije opisuje mrežni model, postupke povezivanja, sposobnost upravljanja frekvencijskim rasponom i vrste međusobno povezanih uređaja dok, komponenta LoRa PHY pruža informacije o korištenoj vrsti modulacije.

U ovom trenutku je dostupno nekoliko LoRa platformi. Kako bi se stvorili upotrebljivi LoRa sustavi, trenutno postoji nekoliko tehničkih poteškoća koje treba prevladati, poput upravljanja vezom, dodjele resursa, komunikacije i sigurnosti.

Uzimajući u obzir brz razvoj LoRa veza i pretpostavku da LoRa ima nekoliko slabosti, privatnost i sigurnost su ključni. Lorine fizičke karakteristike otkrile su nove i moćne napade od kojih se teško braniti, a značajna potražnja za učinkovitom snagom također otežava provedbu učinkovite obrane. Dok sigurnosne tehnike fizičkog sloja potencijalno mogu jamčiti potpunu zaštitu, njihova je upotreba ograničena nedostatkom robusnosti. Trenutne tehnike stvaranja ključa često dopuštaju pojavu samo dvije važeće strane tijekom dugog vremena postavljanja upita, iako nikada više strana.

Perspektive i budućnost LoRa sustava obećavaju znatne mogućnosti za daljnji tehnološki razvoj i primjenu u različitim sektorima. Ova bežična tehnologija već je dokazala svoju vrijednost u mnogim aplikacijama, pružajući dugi domet, nisku potrošnju energije i prilagodljivost brzine prijenosa podataka. Obzirom na sve veći interes i investicije u IoT tehnologije, očekuje se da će LoRa ostati ključni igrač u ovom sektoru. Njegova sposobnost povezivanja velikog broja uređaja na velike udaljenosti čini ga idealnim za pametne gradove, poljoprivredu, industriju, zdravstvo i mnoge druge sektore.

Prednosti LoRa sustava, kao što su niska cijena implementacije, dug vijek trajanja baterija i pouzdana komunikacija, pridonose njegovoj sveprisutnosti. Međutim, izazovi poput sigurnosti podataka, upravljanja mrežama i interoperabilnosti također će zahtijevati daljnje razmatranje i razvoj. Sigurnost će biti ključni faktor u budućnosti LoRa sustava kako bi se osiguralo da podaci

koji se prikupljaju i prenose ostanu zaštićeni od potencijalnih prijetnji. Također, standardizacija i interoperabilnost između različitih LoRa mreža i uređaja bit će važna kako bi se osigurala jednostavna integracija i komunikacija.

U perspektivi, očekuje se daljnji rast i širenje LoRa tehnologije na globalnoj razini. Razvoj novih aplikacija, senzora i uređaja koji koriste LoRa omogućit će inovacije u mnogim industrijama. Također, suradnja između različitih dionika u IoT ekosustavu, uključujući proizvođače čipova, operatere mreža i razvojne zajednice, bit će ključna za uspješan razvoj LoRa tehnologije. LoRa sustavi nastavit će transformirati način na koji se prikupljaju, razmjenjuju i koriste podaci u mnogim sektorima. Njihova sposobnost za prilagodbu i široku primjenu čini ih tehnologijom koja će imati dugotrajni utjecaj na naše društvo i gospodarstvo.

LITERATURA

- [1] Gubbi, J.; Buyya, R.; Marusic, S.; Palaniswamia, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Gener. Comput. Syst.* **2013**, *29*, 1645–1660.
- [2] Evans, D. *The Internet of Things: How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything*; Cisco Internet Business Solutions Group: San Jose, CA, USA, 2011.
- [3] Semtech (2023): What are LoRa® and LoRaWAN®?, dostupno na <https://lora-developers.semtech.com/documentation/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/> (07.09.2023.)
- [4] <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Linear-chirp.svg> (18.9.2023.)
- [5] Miller, R. (2016): LoRa Security: Building a Secure LoRa Solution, 2016, dostupno na: <https://labs.fsecure.com/assets/BlogFiles/mwri-LoRa-security-guide-1.2-2016-03-22.pdf> (07.09.2023.)
- [6] LoRa Alliance. *White Paper: A Technical Overview of Lora and Lorawan*; The LoRa Alliance: San Ramon, CA, USA, 2015.
- [7] <https://wifivitae.com/2022/12/14/lorawan-mapper-overview> (07.09.2023.)
- [8] Bouras, C., Gkamas, A. (2021): Energy efficient mechanism for LoRa networks, *Internet of Things*, *13* (3), str. 25 – 37
- [9] Tan, L. (2020): Comparison of LoRa and NBIoT in Terms of Power Consumption, dostupno na <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1451892/FULLTEXT01.pdf> (07.09.2023.)
- [10] Gehlot, A. (2021): LORA and IOT Networks for Applications in Industry 4.0 (Computer Science, Technology and Applications), Nova Science Pub Inc, New York
- [11] Quan, G. (2021): LoRa IoT communication technology, Tsinghua University Press, China
- [12] Augustin, A., Yi, J. (2016): A Study of LoRa: Low Power & Long Range Networks for the Internet of Things, *Sensors* *2016*, *16*(9), 1466 – 1475
- [13] Khutsoane, O., Basse, I. (2017) IoT Devices and Applications based on LoRa/LoRaWAN, Conference: IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, *7* (5), 12 – 22

- [14] <https://www.elvaco.com/en/news/2023/juni/the-advantages-of-lorawan--1042> (07.09.2023.)
- [15] <https://microchipdeveloper.com/lora:lorawan-architecture> (07.09.2023.)
- [16] Prashant, R. (2021): LPWAN, LoRa, LoRaWAN and the Internet of Things, dostupno na <https://medium.com/coinmonks/lpwan-lora-lorawan-and-the-internet-of-things-aed7d5975d5d> (07.09.2023.)
- [17] Kamal, M. (2023): Requirements, Deployments, and Challenges of LoRa Technology: A Survey, Computational Intelligence and Neuroscience, 17 (2), str. 48 – 56
- [18] Mogućnosti primjene IoT tehnologija u funkciji osmotrivosti distribucijske mreže [Obrazac za izradu referata \(ho-cired.hr\)](#) (HEP ODS) (07.09.2023.)

POPIS SLIKA

Slika 1.2. Upchrip u vremenskoj domeni	4
Slika 2.1. LoRa zvjezdana tipologija mreže	5
Slika 2.2. LoRa WAN u usporedbi s drugim načinima komunikacije u ovisnosti o dometu ...	6
Slika 2.3. Prednosti LoRaWAN sustava	10
Slika 3.1. Komunikacijska Arhitektura LoRaWAN sustava	10
Slika 3.2. Arhitektura LoRa sustava	11
Slika 4.1. Kontroler s diodama za signalizaciju	18
Slika 4.2. Shema spajanja kontrolera	19
Slika 4.3. Priključen LoRa kontroler	19
Slika 4.4. Kontrolna ploča – detaljni IoT mjernog mjesta	24
Slika 4.5. Kratka spontana poruka	25
Slika 4.6. Ciklička 15 minutna poruka	25

SAŽETAK

LoRa sustavi predstavljaju bežičnu tehnologiju koja se ističe velikim dometom, malom potrošnjom energije i pouzdanom komunikacijom za Internet stvari (IoT) aplikacije. Ova tehnologija temelji se na tehnici proširenog spektra CSS (engl. *Chirp Spread Spectrum*) i omogućava bežično povezivanje različitih uređaja, uključujući senzore, strojeve, životinje i ljude, na znatnoj udaljenosti. LoRa sustavi posebno su usmjereni na tržište M2M (engl. *Machine-to-Machine*) i IoT, gdje se često koriste za povremene veze s niskim brzinama prijenosa podataka. Ključne karakteristike LoRa tehnologije uključuju modulaciju signala koja omogućuje prijenos podataka na velike udaljenosti, nisku potrošnju energije, skalabilnost za veliki broj uređaja i prilagodljive brzine prijenosa podataka. Sustav se sastoji od senzora, mrežnih čvorova, gatewaya i network servera, koji zajedno omogućuju prikupljanje, obradu i prijenos podataka.

Prednosti LoRa sustava uključuju nisku cijenu implementacije, dug vijek trajanja baterija, pouzdanu komunikaciju i mogućnost povezivanja velikog broja uređaja. Međutim, izazovi uključuju sigurnosne aspekte, upravljanje mrežama i interoperabilnost između različitih LoRa mreža i uređaja. Perspektive LoRa sustava ukazuju na daljnji rast i širenje tehnologije na globalnoj razini. Razvoj novih aplikacija, senzora i uređaja omogućit će inovacije u mnogim industrijama, dok će suradnja između različitih dionika u IoT ekosustavu biti ključna za uspješan razvoj LoRa tehnologije. LoRa sustavi transformiraju način na koji se prikupljaju, razmjenjuju i koriste podaci u mnogim sektorima. Njihova prilagodljivost, pouzdanost i ekonomska isplativost čine ih tehnologijom koja će imati trajni utjecaj na IoT industriju i suvremeno društvo.

Ključne riječi: LoRa sustavi, Gateway, modulacije, LoRA – PHY, tehnologija

SUMMARY

LoRa systems represent a wireless technology that stands out for its long range, low energy consumption and reliable communication for Internet of Things (IoT) applications. This technology is based on the CSS (Chirp Spread Spectrum) technique and enables the wireless connection of various devices, including sensors, machines, animals and people, over a considerable distance. LoRa systems are particularly targeted at the M2M (Machine-to-Machine) and IoT markets, where they are often used for intermittent connections with low data rates. Key characteristics of LoRa technology include signal modulation that enables data transmission over long distances, low power consumption, scalability for a large number of devices, and adjustable data rates. The system consists of sensors, network nodes, gateways and network servers, which together enable the collection, processing and transmission of data.

The advantages of LoRa systems include low implementation cost, long battery life, reliable communication and the ability to connect a large number of devices. However, challenges include security aspects, network management and interoperability between different LoRa networks and devices. The perspectives of LoRa indicate the system for further growth and expansion of the technology on a global scale. The development of new applications, sensors and devices will enable innovation in many industries, while collaboration between different stakeholders in the IoT ecosystem will be key to the successful development of LoRa technology. LoRa systems are transforming the way data is collected, exchanged and used in many sectors. Their adaptability, reliability and economic profitability make them a technology that will have a lasting impact on the IoT industry and modern society.

Keywords: LoRa systems, Gateway, modulations, LoRA – PHY, technology

ŽIVOTOPIS

Ivan Šimić rođen je 1. prosinca 1998. Godine u Dubrovniku. Pohađao je Tehničku školu u Požegi, smjer tehničar za računalstvo. Nakon srednje škole upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika. Kao student okušao se u različitim studentskim poslovima, a trenutno radi u firmi za telekomunikacijske usluge kao referent za rješavanje korisničkih zahtjeva.