

PRIMJENA MREŽNE NB-IOT TEHNOLOGIJE U DOMENI INTERNETA STVARI

Štrk, Kristijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Algebra University College / Visoko učilište Algebra**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:225:179758>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-30**



Repository / Repozitorij:

[Algebra University - Repository of Algebra University](#)



VISOKO UČILIŠTE ALGEBRA

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA MREŽNE NB-IOT
TEHNOLOGIJE U DOMENI INTERNETA
STVARI**

Kristijan Štrk

Zagreb, siječanj 2019.

„Pod punom odgovornošću pismeno potvrđujem da je ovo moj autorski rad čiji niti jedan dio nije nastao kopiranjem ili plagiranjem tuđeg sadržaja. Prilikom izrade rada koristio sam tuđe materijale navedene u popisu literature, ali nisam kopirao niti jedan njihov dio, osim citata za koje sam naveo autora i izvor, te ih jasno označio znakovima navodnika. U slučaju da se u bilo kojem trenutku dokaže suprotno, spreman sam snositi sve posljedice uključivo i poništenje javne isprave stečene dijelom i na temelju ovoga rada“.

U Zagrebu, 3.1.2019.

Predgovor

Želim se zahvaliti svome mentoru Albertu Tekoviću, koji me je usmjerio prema novom IT području u kojem se u buduće želim razvijati, a za koje nisam niti znao da me zanima. Također, hvala na iskazanom povjerenju i prilici da odradim i stručnu praksu u sklopu ovoga rada, koja me je upoznala sa stvarnom radnom okolinom i preprekama koje me tek očekuju.

Posebna hvala Sanji Valentić i Goranu Muhar bez čije podrške ne bih niti mogao upisati Visoko učilište Algebra.

Na kraju, želim se zahvaliti svome najboljem prijatelju Mariju Zebi s njim sam proveo mnogo lijepih trenutaka tokom studiranja, a bez njega, ovaj studij bih završio godinu dana ranije. :)

Prilikom uvezivanja rada, Umjesto ove stranice ne zaboravite umetnuti original potvrde o prihvaćanju teme završnog rada kojeg ste preuzeli u studentskoj referadi

Sažetak

Ovaj rad ima za cilj pokazati kako nova NB-IoT tehnologija ima značajnu prednost naspram LTE mrežne komunikacije u pogledu razmjene podataka kod IoT uređaja, te dokazati njegova bolja penetracijska svojstva u odnosu na LTE. Ovaj rad daje sažete informacije o LPWAN tehnologijama, te ih uspoređuje sa kratko-dometnim Wi-Fi i ZigBee i daleko-dometnim GPRS tehnologijama. Također, donosi usporedbu NB-IoT tehnologije, s njom sličnom, LoRa tehnologijom. U praktičnom dijelu rada iznesena su vlastita mjerenja NB-IoT i LTE signala, kao i analiza tih mjerenja, te na kraju zaključak.

Ključne riječi: NB-IoT, LTE, LPWAN, LoRa

The idea behind this paper was to demonstrate that the new NB-IoT technology has a significant advantage over LTE network communication in terms of data exchange on IoT devices and prove its better penetration properties compared to LTE. This paper provides a summary of LPWAN technologies, and compares them with short-range Wi-Fi and ZigBee and long-range GPRS technologies. It also brings a comparison of NB-IoT technology, with its similar LoRa technology. In the practical part of the work, the own measurements of NB-IoT and LTE signals were presented as well as the analysis and conclusion.

Keywords: NB-IoT, LTE, LPWAN, LoRa

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Internet of Things	2
2.1. Problematika IoT komunikacije	4
2.2. LPWAN kao rješenje problematike IoT komunikacije	5
2.2.1. Low Power Wide Area Network	5
2.2.2. NB-IoT i LoRa kao predstavnici LPWAN tehnologije	7
3. Narrow Band - Internet of Things	11
3.1. Tehnološki pregled	11
3.1.1. NB-IoT u odnosu na LTE	12
3.1.2. Baseband karakteristike	12
4. Terensko mjerenje	14
4.1. Odabir lokacija	14
4.2. Puštanje u rad	15
4.3. Mjerenja	15
4.3.1. Mjerna oprema	15
4.4. Rezultati sa pojedinih lokacija	16
4.4.1. Centar Cvjetni	16
4.4.2. Tuškanac	17
4.4.3. Importanne Galleria	18
4.4.4. Importanne Centar	19
4.4.5. Kvatrić	20
4.5. Rezultati mjerenja	21
Zaključak	23

Popis kratica	24
Popis slika.....	25
Popis tablica.....	26
Literatura	27

1. Uvod

Internet stvari (engl. *Internet of Things*, skraćeno IoT) je pojam koji se sve više koristi u našoj svakodnevnici. Ova tehnologija omogućava raznim predmetima i svakodnevnim objektima komunikaciju putem interneta. Na taj način možemo dobiti uvid u stanje nekog predmeta koji želimo pratiti ili nadzirati u realnom vremenu. Ti uređaji mogu biti kamere, razni senzori, cnc uređaji, foto-naponski paneli ili razni objekti kao što su prozori, zavjese, rasvjeta.

Drugo poglavlje ovoga rada daje pregled nad današnjim IoT uređajima, iznosi problematiku komunikacije kod uređaja koji su ograničeni životnim vijekom trajanja baterije i velikom udaljenošću od bazne stanice. Problemi koji se javljaju kod povezivanja svih tih uređaja su razni. U ovome radu izneseno je rješenje problema povezivanja velikog broja uređaja na velikim udaljenostima i mjestima gdje LTE signal teže dopire, kao što su garaže. Objasnjeno je zašto su LPWAN mreže pogodnije za ovakav tip komunikacije u odnosu na LTE te koje su prednosti, odnosno nedostaci ovog načina povezivanja.

Također, u trećem poglavlju donosi pregled nad jednom LPWAN tehnologijom, nazvanom NB-IoT. Vlastita mjerenja, kao i rezultati tih mjerenja te zaključak izneseni su u četvrtom poglavlju.

Cilj ovog rada je dokazati kako NB-IoT signal lakše dopire u podzemnim mjestima; konkretno u ovome radu su to javne zagrebačke garaže.

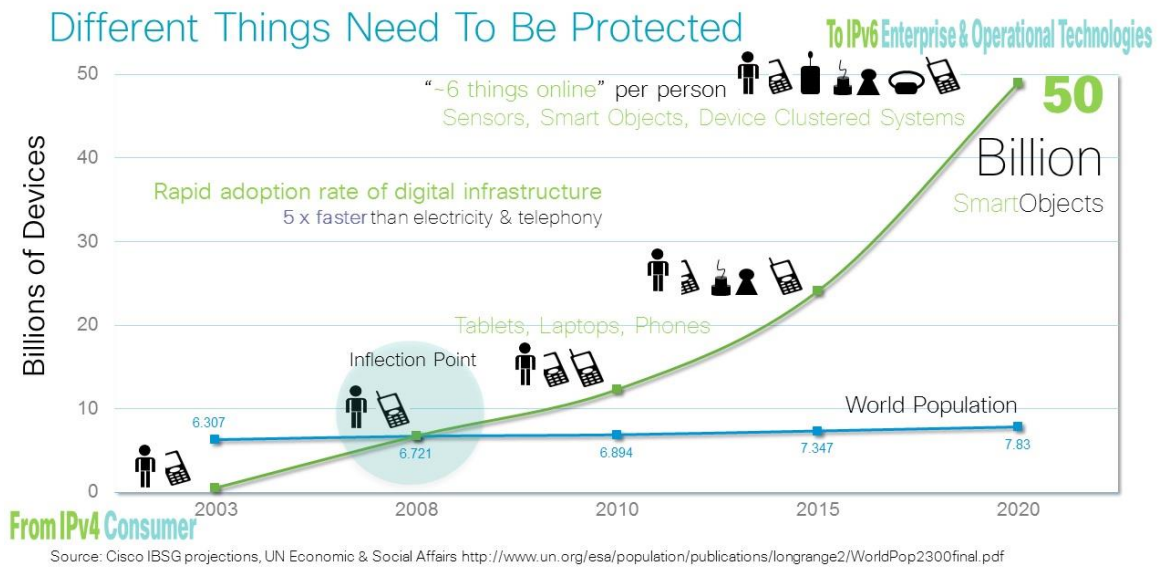
2. Internet of Things

Danas bismo teško mogli zamisliti dan bez interneta. Zamislite dan kada se probudite i prva stvar koju napravite nije provjera društvenih mreža, da uz prvu jutarnju kavu na čitate novosti sa portala, već kupite novine. Želite znati gdje su vam prijatelji, kakav je plan za večerašnji izlazak? Pokušajte zamisliti da morate svakoga od njih zvati posebno umjesto da napravite grupu na jednoj od društvenih mreža. Kako biste kupovali robu sa drugih krajeva svijeta ako online kupovina ne postoji? Vaša rodbina i prijatelji žele vidjeti vaše slike sa dalekih putovanja? Neka vam donesu USB *stick*!

Ovdje su nabrojane samo neke od naših privatnih rutina, no ne smijemo zaboraviti poslovnu važnost koju internet ima u našim životima, kao što je slanje mail-ova, dogovaranje sastanaka, razmjena podataka, informacija, planova, ...

Možete li si samo zamisliti koliko je internet duboko povezan sa našom svakodnevnicom. A uskoro ćemo postati još povezaniji sa dolaskom Interneta stvari.

IoT uistinu unosi internet u našu svakodnevnu rutinu. Cisco je predvidio kako će do 2020. godine na internetu biti povezano preko 50 bilijuna uređaja koji će stvarati oko 500 zetabajta podatkovnog prometa, a sve to u svrhu pružanja boljih usluga i poboljšanja životnog standarda [1]. Grafički prikaz ove predikcije prikazan je slikom (Slika 2.1) [2]. Danas postoje brojni senzori i uređaji koji prate nas i našu okolinu, svaki od njih ima svoju ulogu, primjenu, funkcionalnost. Prikupljajući i povezujući podatke generirane od tih senzora u smislenu cjelinu, možemo dobiti cjelovit pregled onoga što pratimo. Uzmimo za primjer jednu osobu koja ima aktivan sportski život, ali ima srčanih problema. Ta osoba na sebi može nositi senzor otkucaja srca i senzor krvnoga tlaka, te uz pomoć GPS lokatora koji se nalazi u mobitelu ili pametnom satu može se precizno odrediti gdje i u kojim uvjetima (temperatura, nadmorska visina, vlažnost zraka) se osoba nalazila kada su podaci sa senzora uzeti. Senzori šalju podatke o aktivnosti pacijenta direktno liječniku koji na temelju prikupljenih podataka može postaviti pravilnu dijagnozu. Međutim, zbog slabe povezanosti, nedostatka interoperabilnosti, nedostatka standardizacije te heterogenosti senzora; informacije koje generiraju različiti senzori još uvijek ne mogu biti međusobno dijeljene. Kako bi takvi sustavi mogli međusobno dijeliti informacije, potreban je jedinstven jezik koji razumije svaki uređaj.



Slika 2.1 Grafički prikaz CISCO-ove predikcije za 2020. godinu [2]

Kada govorimo o Internetu stvari, ne možemo, a da ne naiđemo na pojmove kao što su: Pametne Ceste (engl. *Smart Roads*), Pametne Mreže (engl. *Smart Grid*), Pametne Kuće (engl. *Smart Homes*) ili Pametni Gradovi (engl. *Smart Cities*).

Ako je riječ o *Smart Homes* okruženju, to podrazumijeva inteligentnu okolinu opremljenu različitim sensorima, aktuatorima i uređajima čiji je primarni cilj nadzor ukućana, njihovih navika i aktivnosti u svrhu podizanja kvalitete života [3]. Ako je pak riječ o *Smart Cities* okruženju, ovdje senzori služe za nadzor i regulaciju prometa, racionalniju potrošnju pitke vode te iskorištavanje električne energije, učinkovitije upravljanje odvozom smeća ili zalijevanjem travnatih površina. Također senzori dojavljaju informacije o prometnoj nesreći, slobodnim parkirnim mjestima te zagađenosti zraka na pojedinim područjima.

Internet stvari je mreža fizičkih uređaja, vozila, kućanskih aparata i drugih elemenata opremljenih elektronikom, softverom, sensorima te aktuatorima koja omogućuje povezivanje, prikupljanje i razmjenu podataka. IoT uključuje proširivanje internetske veze izvan standardnih uređaja, kao što su stolna računala, prijenosna računala, pametni telefoni i tableti, na bilo koji raspon tradicionalno glupih uređaja i svakodnevnih objekata (hladnjaci, rasvjeta, prozori,...) koji ne podržavaju internet. Ugrađeni tehnologijom, ti uređaji mogu komunicirati i međusobno djelovati putem interneta, a mogu se nadzirati i upravljati na daljinu [4]. Kao što je ranije rečeno, takvih uređaj do 2020. godine moglo bi biti preko 50 milijardi.

2.1. Problematika IoT komunikacije

Sada, kada imamo predodžbu o kojoj količini uređaja govorimo, postavlja se pitanje, kako povezati sve te senzore i sve te zasebne sustave. Danas postoji nekoliko tehnologija kojima bi smo mogli ostvariti bežičnu komunikaciju između dva uređaja. Wi-Fi, Bluetooth i ZigBee su definitivno mreže kojima bismo mogli povezati nekoliko uređaja putem zračnog sučelja. No, kako Wi-Fi mrežom povezati *Smart Watch* sa bazom podataka našeg liječnika iz primjera od maloprije. Nemoguće je naravno, jer smo vjerojatno udaljeni nekoliko kilometara, a Wi-Fi kao i Bluetooth i ZigBee konekciju je moguće ostvariti na svega nekoliko metara. Problem je očit, IoT uređaje je moguće povezati putem Wi-Fi, Bluetooth i ZigBee mreže, ali na vrlo malim udaljenostima. Oni služe za stvaranje lokalne IoT mreže u okruženjima kao što su *Smart Home*.

Druga mogućnost koja se nadmeće za povezivanje dva udaljena uređaja kao što su *Smart Watch* i baza podataka našeg liječnika je korištenje GSM i LTE mreže. Sada zamislite da su naš sat i baza podataka liječnika dva mobitela koji stalno imaju uspostavljenu konekciju. Koliko brzo bi vam se baterija na mobitelu ispraznila? Četiri, sedam, deset sati? Zamislite da morate svakih deset sati mijenjati bateriju u svakom od stotine i stotine senzora koji se nalaze u okolini. Ove tehnologije stvorene su sa ciljem da pružaju prijenos glasovnih i multimedijских podataka, odnosno, da pružaju što veću brzinu prijenosa podataka, a to nikako ne odgovara IoT uređajima, jer takav način komunikacije zahtijeva veliku potrošnju električne energije.

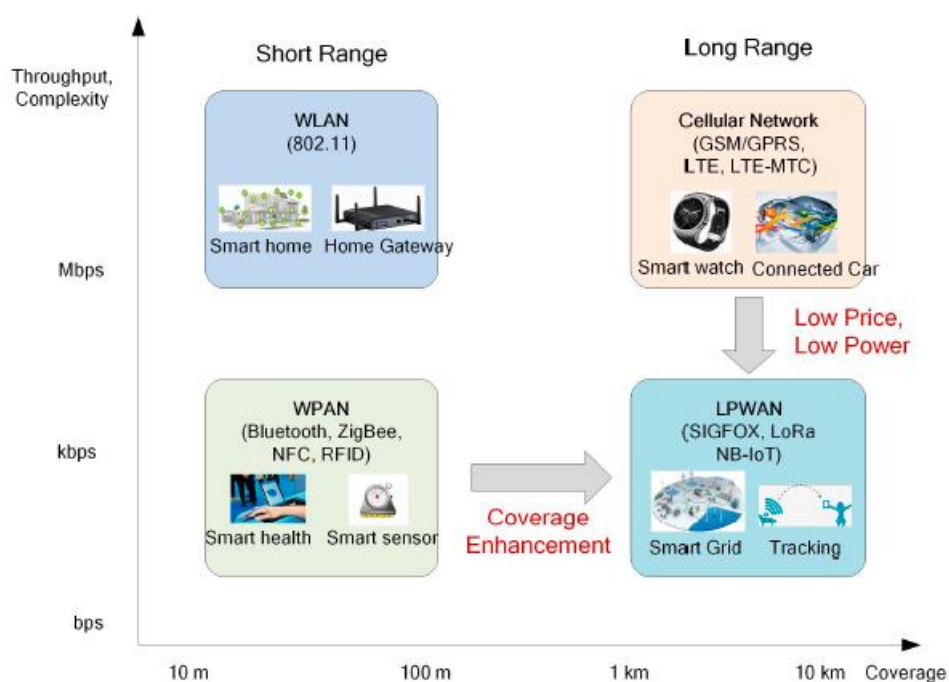
U svrhu rješavanja problema kratkog dometa, koji stvaraju Wi-Fi, Bluetooth i ZigBee i velike potrošnje električne energije kod GSM i LTE mreža, predstavljena je nova tehnologija, Low-Power-Wide-Area-Network (skraćeno LPWAN).

Zajedno sa brzim rastom IoT tržišta, LPWAN mreže postale su popularne *low-rate, long-range* radio komunikacijske tehnologije [5]. U nastavku, će biti objašnjeno kako LPWAN mreža rješava maloprije navedene probleme te kako Narrow Band IoT (skraćeno NB-IoT) tehnologija nudi rješenje kod sustava gdje je potrebna mala potrošnja električne energije, velik domet i niska cijena te zašto NB-IoT nudi prednosti u pogledu latencije i kvalitete usluge u odnosu na konkurentske tehnologije.

2.2. LPWAN kao rješenje problematike IoT komunikacije

2.2.1. Low Power Wide Area Network

Budući da je mobilna mreža optimizirana za glasovne i multimedijske servise, teško je postići nisku cijenu i nisku potrošnju energije za IoT module. Isto tako, zahtjevi *gatewaya*, kako bi pružao mogućnost komunikacije kratko-dometnim komunikacijskim tehnologijama sa vanjskim mrežama, stvaraju slične probleme kao i kod korištenja žičane ili mobilne tehnologije. Da bi se riješili ovi problemi, uvedena je nova tehnologija, Low-Power Wide Area Network. Ova tehnologija proširuje područje pokrivanja na nekoliko kilometara i smanjuje trošak uređaja i potrošnju energije zahvaljujući smanjenoj kompleksnosti modema. Slika (Slika 2.2) ilustrira LPWAN tehnologiju i IoT usluge po pokrivenosti i propusnosti [6].



Slika 2.2 LPWAN u odnosu na ostale komunikacijske tehnologije [6]

LPWAN je dizajniran prema sljedećim zahtjevima: komunikacijska udaljenost do 40 km, tisuće uređaja podržanih sa jedne bazne stanice, dostupnost preko 10 godina bez zamjene baterije i cijena modula ispod 5 USD. Primjeri LPWAN tehnologija koje koriste nelicencirane industrijske, znanstvene i medicinske bendove su SIGFOX i LoRa, dok NB-IoT koristi licencirane bendove [6].

Ključne performanse koje definiraju LPWAN tehnologiju su energetska učinkovitost, skalabilnost i pokrivenost; za razliku od 3G/4G i Wi-Fi komunikacije, gdje je fokus na razvoju velike brzine prijenosa podataka i smanjenju latencije [7].

2.2.1.1 LPWAN u odnosu na GPRS

Prije postojanja LPWAN sustava mnoge IoT aplikacije radile su na GPRS (engl. *General Packet Radio Service*) mreži. Ova mreža nije bila pogodna za IoT aplikacije jer je od svog nastanka, pa sve do današnjih 3G i 4G mreža, a uskoro i 5G, težila velikoj brzini prijenosa podataka i minimalnoj latenciji kako bi osigurala prijenos visokokvalitetnih zvučnih, slikovnih i video materijala. Ovakav način komunikacije troši veliku količinu električne energije, stoga nije pogodan za IoT uređaje. Od IoT uređaja se očekuje da će trošiti jednu desetinu električne energije i imati 20 dB jači signal u odnosu na GPRS. *Maximum Coupling Loss* (skraćeno MCL) je granična vrijednost gubitka kod kojega se usluga može isporučiti i stoga definira raspon usluge. U tablici (Tablica 2.1) možemo vidjeti usporedbu glavnih karakteristika LPWAN i GPRS tehnologija[7].

Tablica 2.1 Usporedba LPWAN i GPRS tehnologija [7]

Tehnologija	Potrošnja el. energije	Latencija	Pokrivenost	Brzina prijenosa podataka
GPRS	Visoka	Niska	MCL 130 dB	Max 170 kbps
LPWAN	Niska	Visoka	MCL 150 dB	Prilagodljiva od 0.1 kbps do 250 kbps

2.2.1.2 LPWAN u odnosu na ZigBee i Wi-Fi

Za povezivanje osobnih uređaja, ZigBee i Wi-Fi dominiraju trenutnim IoT tržištem. Ove dvije tehnologije posjeduju različite značajke i performanse, tako Wi-Fi prednjači u brzini prijenosa podataka i malom latencijom, ali velikom potrošnjom električne energije. ZigBee je dizajniran za projekte malih razmjera, koji zahtijevaju bežičnu komunikaciju, a koristi se za stvaranje privatne mreže koja ne troši puno električne energije. Iako je ZigBee optimiziran za IoT mreže, njegovi najveći nedostaci su slaba pokrivenost i skalabilnost. Zbog toga su ZigBee i Wi-Fi nazvani „lokalni IoT“, jer pružaju pokrivenost vrlo malih razmjera. Tablica 2.2 uspoređuje ZigBee i Wi-Fi sa LPWAN-om [7].

Tablica 2.2 Usporedba LPWAN sa ZigBee i Wi-Fi tehnologijom [7]

Tehnologija	Komunikacijska udaljenost	Max konekcija	Brzina prijenosa podataka
ZigBee	10-75m	≤ 255	Max 170 kbps
Wi-Fi	100 m	≤ 255	>10 Mbps
LPWAN	40 km	$\leq 50\,000$ (NB-IoT), $\leq 200\,000$ (LoRa)	Prilagodljiva od 0.1 kbps do 250 kbps

IoT uređaji obično su geografski raspršeni, tako ZigBee i Wi-Fi mreža kao sredstvo pokrivenosti, ne dolaze u obzir, a GPRS zahtijeva veliku potrošnju baterije IoT uređaja. Pod takvim scenarijima, LPWAN postaje alternativa. Primarna i najveća prednost LPWAN tehnologije leži u njegovoj mogućnosti široke komunikacijske pokrivenosti i niske potrošnje električne energije. Nedostatci su spor prijenos podataka i ograničena računrska sposobnost krajnjih uređaja [7].

2.2.2. NB-IoT i LoRa kao predstavnici LPWAN tehnologije

LPWAN prijenosni sloj uspostavlja bežične kanale između krajnjih uređaja i *cloud* platforme. Kao predstavnici tehnologije, NB-IoT i LoRa tehnologije pogodne su za različite primjene [7].

Postoje brojni faktori koje treba uzeti u obzir prilikom odabira prigodne tehnologije za IoT aplikacije. Ovo poglavlje uspoređuje dvije IoT tehnologije u pogledu kvalitete usluge, latencije, životnog vijeka baterije, pokrivenosti, udaljenosti i cijene [8].

2.2.2.1 Kvaliteta usluge

LoRa koristi nelicencirani spektar i asinkroni protokol. Njena modulacija bazirana je tako da može podnijeti smetnje, ali ne može pružiti istu kvalitetu usluge (engl. Quality of Service, skraćeno QoS) kao što može NB-IoT. To je zato jer NB-IoT koristi licencirani spektar, a njegov sinkroni protokol je optimalan za QoS. No zbog kvalitete usluge koju pruža, cijena mu je znatno veća. Zbog kompromisa između QoS-a i visoke spektralne cijene, aplikacije koje zahtijevaju QoS preferiraju NB-IoT, dok aplikacije kojima QoS nije bitan koriste LoRa mreže [8].

2.2.2.2 Životni vijek baterije i latencija

Uređaji koji koriste LoRa mrežu mogu biti u stanju spavanja kratko ili dugo, ovisno o potrebama aplikacije. U NB-IoT-u, zbog rijetke ali redovite sinkronizacije, uređaj troši dodatnu energiju baterije. Vrijednost struja prikazana je tablicom (Tablica 2.3). Ova dodatna potražnja za strujom kod NB-IoT uređaja rezultira kraćim životnim vijekom baterije. Drugim riječima, ova potražnja za dodatnom strujom pruža prednost NB-IoT mreži u pogledu smanjene latencije i veće brzine prijenosa podataka. Zbog toga, aplikacijama koje nisu osjetljive na latenciju i na zahtijevaju veliku brzinu prijenosa podataka, LoRa mreža je najbolji izbor. Za aplikacije koje zahtijevaju nisku latenciju i veću brzinu prijenosa podataka, NB-IoT je bolji izbor [8].

Tablica 2.3 Vršna struja, struja spavanja i latencija [8]

Tehnologija	Vršna struja	Struja spavanja	Latencija
LoRa	32 mA	1 μ A	> 10 s
NB-IoT	120/130 mA	1 μ A	< 10 s

2.2.2.3 Mrežna pokrivenost i udaljenost

Glavna prednost korištenja LoRa mreže je da cijeli grad može biti pokriven jednom baznom stanicom. Na primjer, u Belgiji, zemlji s ukupnom površinom od oko 30 500 km², implementacijom LoRa mreže pokrili bi cijelu zemlju sa otprilike sedam baznih stanica. NB-IoT se uglavnom fokusira na MTC (engl. *Machine-Type Communication*) klasu uređaja koji su instalirani na mjestima daleko od uobičajenog dosega. Uvođenje NB-IoT ograničeno je na pokrivenost signalom s LTE bazne stanice. Dakle, nije pogodan za ruralne ili prigradske regije koje nemaju pokrivenost 4G mrežom. Jedna od značajnijih prednosti LoRa sustava je njezina fleksibilnost. LoRa može imati širu mrežnu pokrivenost od NB-IoT mreže [8]. U udaljenim područjima bez pokrivenosti mobilnom mrežom, LoRa mreža praktičan je izbor jer oblikuje zvjezdastu topologiju oko krajnjih uređaja koje poslužuje samo jedna bazna stanica (BS). U gradovima, gdje postoji dobra mobilna pokrivenost, krajnji uređaji na *Cloud* se povezuju preko NB-IoT mobilne mreže plaćanjem naknade telekomunikacijskim tvrtkama [9].

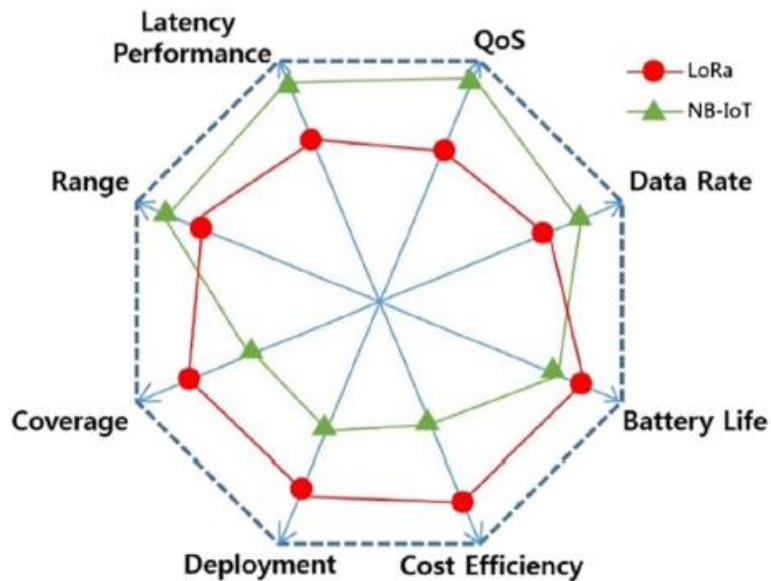
2.2.2.4 Cijena

Postoje različiti aspekti troškova koji se trebaju uzeti u obzir, kao što su troškovi spektra, troškovi mreže, troškovi uređaja i trošak implementacije. Tablica (Tablica 2.4) prikazuje troškove NB-IoT i LoRa mreža. Može se vidjeti da LoRa ima veliku prednost u odnosu na cijenu [10].

Tablica 2.4 Različitosti u cijenama [10]

Tehnologija	Troškovi spektra	Mrežni troškovi i troškovi implementacije
LoRa	Besplatno	USD 100 – USD 1000 / <i>gateway</i>
NB-IoT	> USD 500 <i>milijuna</i> / MHz	USD 15000 / <i>baznoj stanici</i>

NB-IoT i LoRa tehnologije zajedno čine 45% od ukupnog LPWAN komercijalnog tržišta. Tablica 2.5 prikazuje njihovu različitu primjenu [10].



Slika 2.3 Usporedba NB-IoT i LoRa tehnologija u pogledu različitih IoT faktora [10]

Tablica 2.5 Različita primjena NB-IoT i LoRa tehnologija [10]

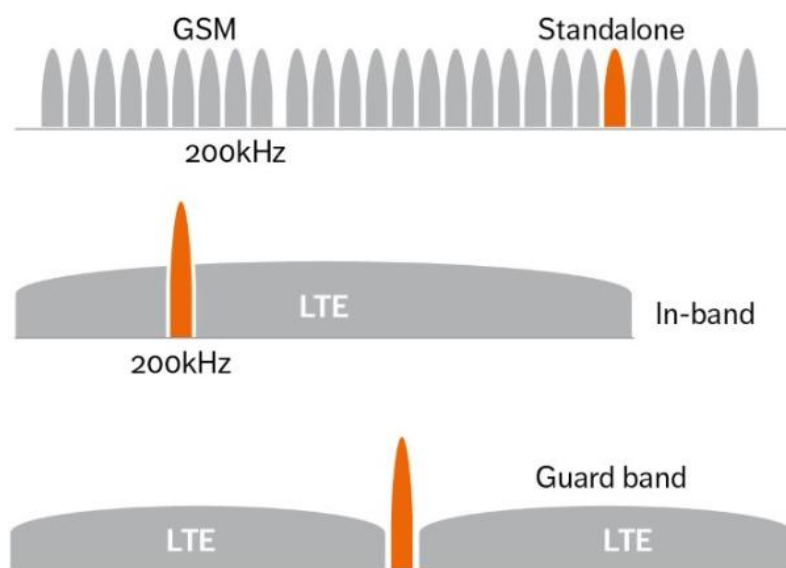
Tehnologija	Primjena	IoT kategorija	Parametri
LoRa	Logistika Praćenje imovine Pametna poljoprivreda Pametna zgrada Tvornice i industrije Upravljanje objektima Zdravstvo Upravljanje u zračnim lukama	Industrijski IoT	Cijena uređaja, životni vijek baterije, pokrivenost
NB-IoT	Pametni sat Pametni bicikl Nadzor djece Praćenje ljubimaca PoS uređaji Pametno mjerenje Pametno parkiranje Alarmi i razni detektori Pametne kante za smeće	Osobni IoT Javni IoT	Raspon, raznolikost, latencija, QoS
Ovisno o specifičnim potrebama	Hladnjaci Klima uređaji Mikrovalne pećnice Printeri	IoT uređaji	Raspon, pokrivenost, raznolikost, latencija, QoS

3. Narrow Band - Internet of Things

Projektom Partnerstva Treće Generacije (engl. *Third Generation Partnership Project*, skraćeno 3GPP) predstavljena je nova radio pristupna tehnologija nazvana *Narrow Band Internet of Things* (skraćeno NB-IoT) u lipnju 2016. godine. NB-IoT omogućuje sporu brzinu prijenosa podataka uz dug vijek trajanja baterije, nisku cijenu uređaja i proširenje signala za uređaje koji nisu osjetljivi na latenciju [11].

3.1. Tehnološki pregled

NB-IoT koegzistira zajedno sa GSM (engl. *Global Sistem for Mobile communications*) i LTE (engl. *Long-Term Evolution*) tehnologijama unutar licenciranih frekvencijskih pojaseva. NB-IoT zauzima širinu frekvencijskog pojasa od 200 kHz, što odgovara jednom resursnom bloku u GSM i LTE prijenosu [11].



Slika 3.1 Načini rada NB-IoT nosioca [12]

NB-IoT je klasificiran u *Standalone*, *In-band* i *Guard-band* načine implementacije prema svom odnosu s LTE mobilnom mrežom kao što je prikazano na slici (Slika 3.1). *In-band* scenarij oduzima 200 kHz od LTE nosioca i dodjeljuje ih NB-IoT-u i nanovo koristi frekvenciju koju je već osigurao mrežni operater. Stoga se trošak implementacije može smanjiti jer nema potrebe za dodatnim spektrom. Međutim, potrebno je prilagoditi plan raspodjele resursa kako bi se dostupna širina pojasa LTE mreže mogla smanjiti i zagarantirati ortogonalnost sustava. Nedostatak ovakve implementacije je da postojeći LTE korisnici ne

moгу ostvariti maksimalne brzine prijenosa podataka, jer je *In-band* implementacijom spektar sada podijeljen u dva dijela.

Nadalje, *Standalone* scenarij ne koristi resurse LTE nosioca, već dodjeljuje zaseban spektar posvećen samo NB-IoT-u, može koegzistirati sa GSM mrežom preuređivanjem mrežne frekvencije. Upravo je radi ostvarivanja mogućnosti ovakve implementacije, širina frekvencijskog kanala za NB IoT sustava jednaka širini kanala sustava GSM i iznosi 200 kHz.

Guard-band scenarij djeluje u LTE zaštitnom pojasu. Dakle, ne zahtijeva dodatni spektar, ali broj dostupnih kanala je ograničen. Ovo je za operatere najčešće preferabilna opcija [13].

3.1.1. NB-IoT u odnosu na LTE

NB-IoT može biti podržan samo s nadogradnjom softvera uz postojeću LTE infrastrukturu. NB-IoT komunikacijski protokol temelji se na LTE protokolu. Ustvari, NB-IoT smanjuje funkcionalnosti LTE protokola koje su potrebne za mobilnu komunikaciju na najmanju moguću razinu i pojačava ih za IoT potrebe. Na primjer, LTE *EPC* (engl. *Evolved Packet Core*) sustav koristi se za emitiranje informacija koje vrijede za sve krajnje uređaje unutar ćelije. Budući da čitanje informacija sa odašiljačkog (engl. Broadcast) zajedničkog kanala troši energiju baterije na svakom krajnjem uređaju, njegove mogućnosti svedene su na minimum u pogledu veličine kao i u broju pojavljivanja. Optimiziran je za male i rijetke podatkovne poruke i izbjegava značajke koje nisu potrebne u IoT svrhu, npr. mjerenja za praćenje kvalitete kanala, agregacije nosioca i dvostrukog povezivanja. Stoga, krajnji uređaji zahtijevaju malu količinu električne energije za rad, što ga čini troškovno učinkovitim. Zbog svojih specifičnih karakteristika, može se smatrati novim zračnim sučeljem u pogledu protokola, a istovremeno je izgrađena na dobro uspostavljenoj LTE infrastrukturi. NB-IoT omogućuje povezivanje do 100 000 krajnjih uređaja po ćeliji s mogućnošću povećanja kapaciteta dodavanjem više NB-IoT nosioca [13].

3.1.2. Base Band karakteristike

NB-IoT koristi *single-carrier* FDMA (engl. *Frequency Division Multiple Access*) u uzlaznoj vezi (engl. *uplink*) i OFDMA (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) u silaznoj vezi (engl. *downlink*), te QPSK (engl. *Quadrature Phaseshift Keying*) modulaciju. Brzina prijenosa podataka ograničena je na 200 kbps za *downlink* i 20 kbps za *uplink*. Maksimalna veličina korisnih informacija (engl. *payload*) za svaku poruku je 1600 bajta.

Prenoseći 200 bajtova prosječne vrijednosti svaki dan, NB-IoT tehnologija može održati životni vijek baterije i do 10 godina [14].

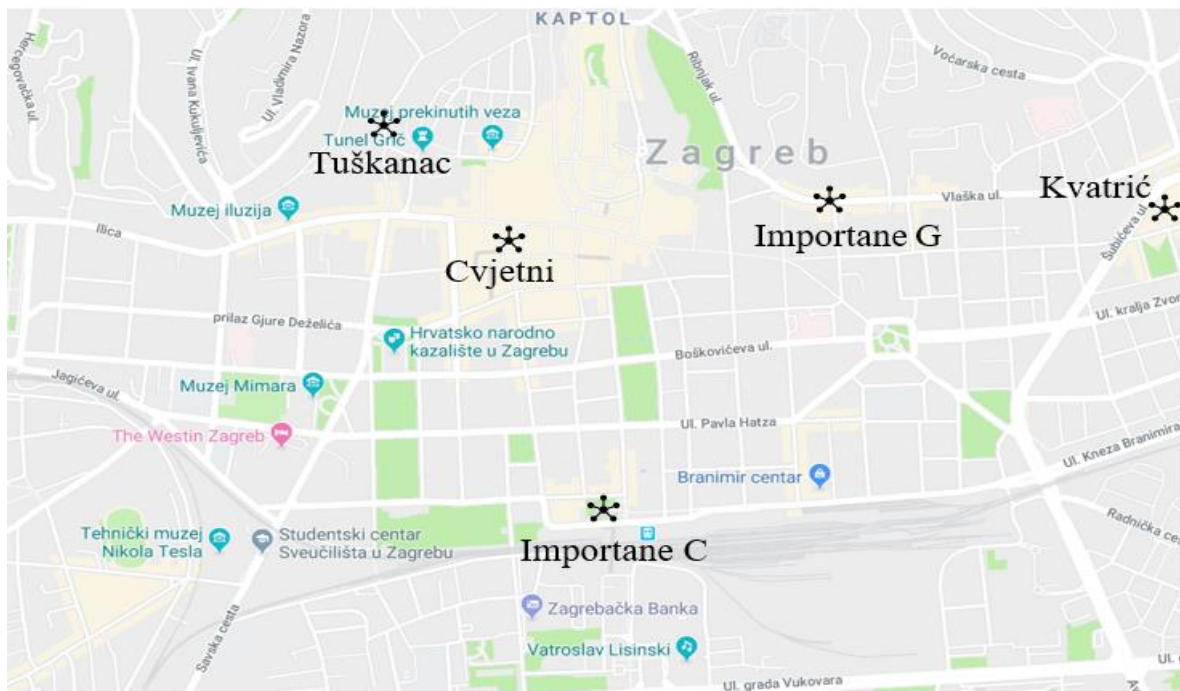
4. Terensko mjerenje sustava NB-IoT

Ovo poglavlje donosi pregled mjerenja koja su provedena na nekoliko zagrebačkih lokacija. Opisana je svaka od tih lokacija, kao i tehnologija koja se koristila prilikom mjerenja.

Mjerenja su se provodila kroz nekoliko dana na pet lokacija podzemnih garaža. Prije početka mjerenja bilo je potrebno odrediti lokacije na kojima je moguće mjeriti NB-IoT i LTE signale bez velikih ili nikakvih smetnji sa ostalih baznih stanica. Tražili smo lokacije garaža koje imaju barem četiri razine pod zemljom. Nakon kraćeg istraživanja odabrali smo pet lokacija koje su bile pogodne za provedbu ovog istraživanja.

4.1. Odabir lokacija

Prva uvjet prilikom odabira lokacija bio je da garaža mora imati barem četiri razine pod zemljom. Pronašli smo desetak takvih garaža, stavili smo ih na popis i nastavili sa selekcijom. Drugi uvjet koje su garaže morale ispuniti je taj da određenu garažu pokriva samo jedna bazna stanica, u suprotnom došlo bi do smetnji sa ostalih baznih stanica. Također, pazili smo da se garaže ne nalaze na presjeku sektora jedne bazne stanice kako bi dobili što jasnija očitavanja. Lokacije garaža prikazane su slikom (Slika 4.1).



Slika 4.1 Lokacije garaža

4.2. Puštanje u rad

Kada smo imali jasno definirane lokacije, mogli smo pustiti NB-IoT u rad. NB-IoT je pušten samo na određenim baznim stanicama u samo određenim sektorima. Na tim baznim stanicama u tim sektorima mjereni su NB-IoT i LTE signali.

4.3. Mjerenja

Mjerenja su se provodila kroz tri dana. Na svakoj lokaciji vršili smo po dva testa u različitim točkama na svakoj razini garaže, kako bi dobili što više uzoraka. Za test smo koristili vrlo jednostavnu skriptu (PING Google, IP: 8.8.8.8, 10 ponavljanja), koju smo pokretali sa NEMO Handy aplikacije. Ova aplikacija pružala nam je uvid u razne parametre mreže prilikom mjerenja, kao što su PING, RTT, RACH, SNR i brojne druge.

4.3.1. Mjerna oprema



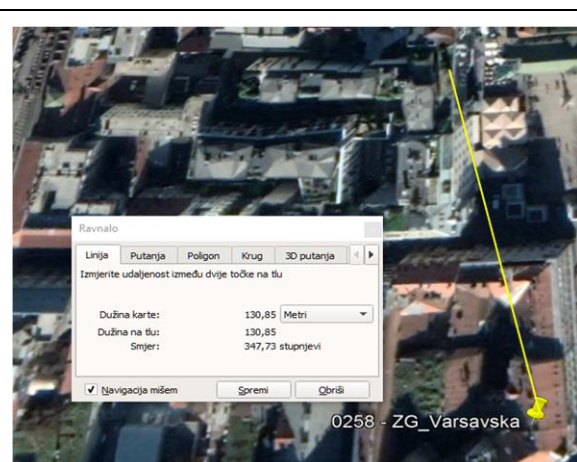
Slika 4.2 Mjerna oprema i izgled sučelja aplikacije

Za mjerenje smo koristili dva zasebna mjerena uređaja, oba istog proizvođača tvrtke Anite, model NEMO HANDY.. Za mjerenje LTE signala koristili smo pametni telefon sa NEMO HANDY PRO aplikacijom, koji je bio forsiran da koristi isključivo LTE mrežu. Na taj smo način izbjegli slučaj u kojem se „obični“ terminal u rubnim dijelovima pokrivanja LTE signalom prebaci na UMTS ili GSM mrežu. Drugi uređaj služio je za mjerenje NB-IoT signala. Ovaj se mjerni sustav sastoji od pametnog telefona i aplikacije za mjerenje NB-IoT mreže (NEMO Handy IoT), te putem USB kabela spojenog na NB-IoT modem

(KNOWYOU NB-IoT USB dongle). Sa oba smo telefona pokretali posebno za u tu svrhu pripremljenu mjernu skriptu, koja je izvodila naredbu PING prema istoj IP adresi.

4.4. Rezultati sa pojedinih lokacija

4.4.1. Centar Cvjetni



Slika 4.3 Udaljenost između BS i mjerne lokacije



Slika 4.4 Pogled sa BS prema mjernoj lokaciji

Tablica 4.1 Rezultati NB-IoT mjerenja

PING*	Cv_01	Cv_02	Cv_03	AVG	SC*
0	1137.67	1250.4		1194.06	100
-1	770.60	904.3		837.45	100
-2	5869	864.2	972.9	2568.70	100
-3	X	X		0	0
-4	X	X		0	0
RSRP***	Cv_01	Cv_02	Cv_03	AVG	SC*
0	-70.18	-90.94		-80.56	100
-1	-105.61	-94.99		-100.30	100
-2	-128.02	-110.64	-108.1	-115.60	100
-3	-138.83	X		-138.83	50
-4	X	X		0	0

*(ms)

**Success Rate(%)

***(dBm)

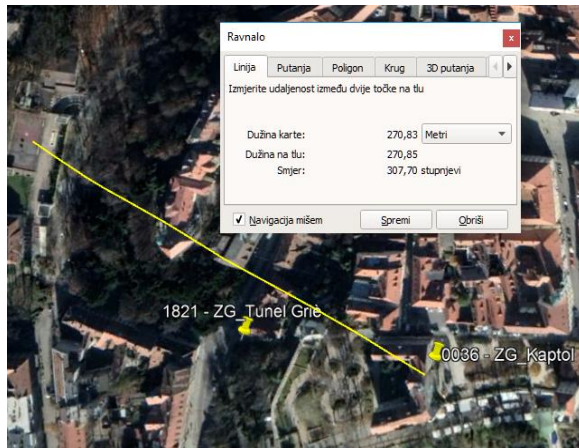
Tablica 4.2 Rezultati LTE mjerenja

PING*	Cv_01	Cv_02	Cv_03	AVG	SC*
0	44.6	49.9		47.25	100
-1	91.7	108.7		100.20	100
-2	X	X	949.14	949.14	33
-3	X	X		0	0
-4	X	X		0	0
RSRP***	Cv_01	Cv_02	Cv_03	AVG	SC*
0	-85.32	-107.18		-96.25	100
-1	-115.54	-113.91		-114.73	100
-2	X	X	-117.2	-117.16	33
-3	X	X		0	0
-4	X	X		0	0

blank = nije se vršilo mjerenje u toj točki

X = mjerenje je izvršeno, ali neuspješno

4.4.2. Tuškanac



Slika 4.5 Udaljenost između BS i mjerne lokacije



Slika 4.6 Pogled sa BS prema mornoj lokaciji

Tablica 4.3 Rezultati NB-IoT mjerenja

PING*	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	385.30	464.90	425.10	100
-1	921.10	684.60	802.85	100
-2	2547.4	5097.8	3822.60	100
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0
RSRP***	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	-71.04	-96.38	-83.71	100
-1	-113.33	-110.40	-111.87	100
-2	-124.64	-126.48	-125.56	100
-3	-132.85	X	-132.85	50
-4	X	X	0	0

*(ms)

**Success Rate (%)

***(dBm)

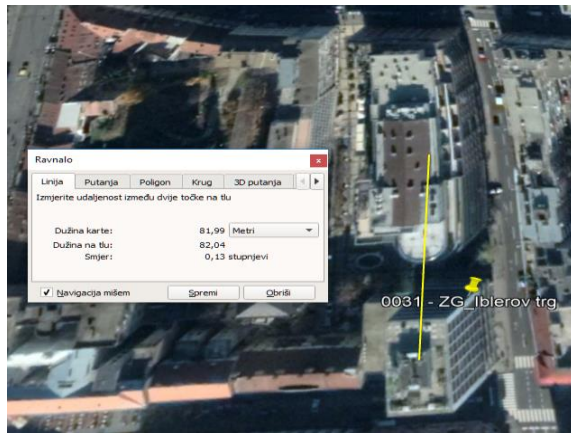
Tablica 4.4 Rezultati LTE mjerenja

PING*	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	67.7	75.5	71.60	100
-1	1958	X	1958	50
-2	X	X	0	0
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0
RSRP***	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	-91.76	-110.83	-101.3	100
-1	-130.83	X	-130.8	50
-2	X	X	0	0
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0

blank = nije se vršilo mjerenje u toj točki

X = mjerenje je izvršeno, ali neuspješno

4.4.3. Importanne Galleria



Slika 4.7 Udaljenost između BS i mjerne lokacije



Slika 4.8 Pogled sa BS prema mornoj lokaciji

Tablica 4.5 Rezultati NB-IoT mjerenja

PING*	Ig_01	Ig_02	AVG	SC**
0	568.8	1123.1	845.95	100
-1	511.4	466.4	488.90	100
-2	2608	2017.7	2312.85	100
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0
RSRP***	Ig_01	Ig_02	AVG	SC**
0	-76.110	-88.62	-82.360	100
-1	-101.53	-96.81	-99.170	100
-2	-126.92	-109.51	-118.22	100
-3	-133.69	-131.72	-132.71	100
-4	-138.80	X	-138.80	50

*(ms)

**Success Rate (%)

***(dBm)

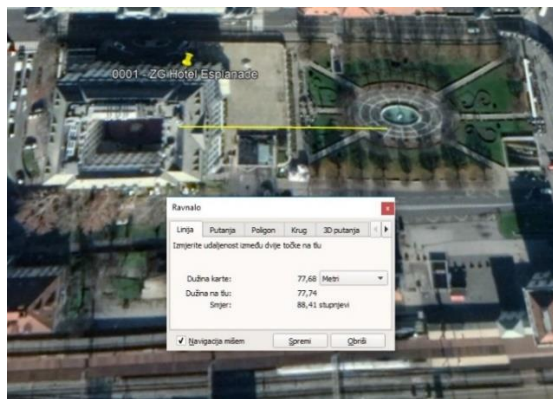
Tablica 4.6 Rezultati LTE mjerenja

PING*	Ig_01	Ig_02	AVG	SC**
0	78.2	70.3	74.25	100
-1	133.7	127.4	130.55	100
-2	X	X	0	0
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0
RSRP***	Ig_01	Ig_02	AVG	SC**
0	-89.66	-103.68	-96.67	100
-1	-117.98	-115.07	-116.5	100
-2	X	X	0	0
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0

blank = nije se vršilo mjerenje u toj točki

X = mjerenje je izvršeno, ali neuspješno

4.4.4. Importanne Centar



Slika 4.9 Udaljenost između BS i mjerne lokacije

Tablica 4.7 Rezultati NB-IoT mjerenja

PING*	Ic_01	Ic_02	AVG	SC**
-1	412.8	1381.6	897.18	100
-2	712.5	3109.0	1910.75	100
-3	919.1	X	919.10	50
-4	X	X	0	0
RSRP***	Ic_01	Ic_02	AVG	SC**
-1	-85.675	-108.57	-97.12	100
-2	-104.60	-119.52	-112.06	100
-3	-115.36	X	-115.36	50
-4	X	X	0	0

*(ms)

**Success Rate (%)

***(dBm)



Slika 4.10 Pogled sa BS prema mornoj lokaciji

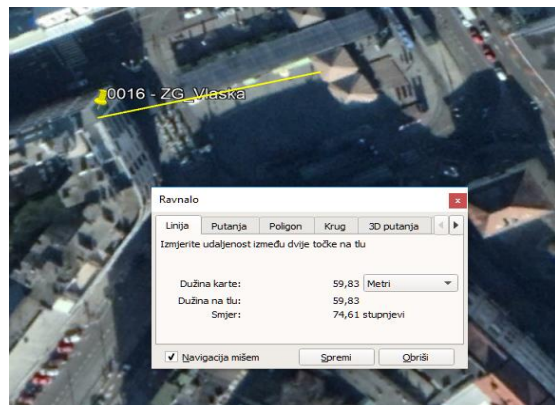
Tablica 4.8 Rezultati LTE mjerenja

PING*	Ic_01	Ic_02	AVG	SC**
-1	51.5	233.4	142.45	100
-2	65.7	X	65.70	50
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0
RSRP***	Ic_01	Ic_02	AVG	SC**
-1	-97.18	-119.38	-108.28	100
-2	-114.16	X	-114.16	50
-3	-129.10	-130.1	-129.60	100
-4	X	X	0	0

blank = nije se vršilo mjerenje u toj točki

X = mjerenje je izvršeno, ali neuspješno

4.4.5. Kvaternikov trg



Slika 4.11 Udaljenost između BS i mjerne lokacije

Tablica 4.9 Rezultati NB-IoT mjerenja

PING*	Kv_01	Kv_02	AVG	SC**
-1	426.4	414.9	420.65	100
-2	699.5	X	699.50	50
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0
RSRP***	Kv_01	Kv_02	AVG	SC**
-1	-81.57	-96.15	-88.86	100
-2	-103.96	X	-103.96	50
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0

*(ms)

**Success Rate (%)

***(dBm)



Slika 4.12 Pogled sa BS prema mornoj lokaciji

Tablica 4.10 Rezultati LTE mjerenja

PING*	Kv_01	Kv_02	AVG	SC**
-1	69.3	388.6	228.9	100
-2	118.1	X	118.1	50
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0
RSRP***	Kv_01	Kv_02	AVG	SC**
-1	-94.38	-120.11	-107.2	100
-2	-115.40	X	-115.4	50
-3	X	X	0	0
-4	X	X	0	0

blank = nije se vršilo mjerenje u toj točki

X = mjerenje je izvršeno, ali neuspješno

4.5. Analiza rezultata mjerenja

Ovim mjerenjima htjeli smo utvrditi na kojoj razini veše nećemo hvatati LTE signal, a na kojoj NB-IoT i došli smo do sljedećih rezultata:

Slabi LTE signal hvatali smo sve do -3 razine sa razinom signala od -130 dBm , ali ping na toj razini nije prolazio niti na jednoj lokaciji. Na razini -2 ping je prolazio, ali na svega tri mjerne točke, sa vrlo visokim odzivom od 950 ms. Tek na -1 razini možemo reći da postoji donekle kvalitetan LTE signal, jer smo na toj razini uglavnom imali konstantan signal sa 90% uspješnosti mjerenja i prosjekom razine signala od -113 dBm. Na nultoj razini ili razini prizemlja uspješnost mjerenja je 100% sa prosječnom razinom signala od -98 dBm, što je bilo i za očekivati.

NB-IoT signal uspjeli smo mjeriti sve do -4 razine, ali u samo jednoj mjernoj točki, razina signala zabilježena u ovoj točki bila je -138 dBm, što je -8 dBm-a više nego kod LTE, ping ovdje nije prolazio niti na jednoj mjernoj lokaciji. Na -3 razini postojala su očitavanja razine signala, ali ping je prošao samo u jednoj mjernoj točki. Ovdje, tek na -2 razini možemo reći da smo uspjeli imati konstantan signal sa 90% uspješnosti mjerenja te prosjekom od -116 dBm i vrlo visokim, ali stabilnim odzivom na ping koji je u prosjeku iznosio 2450 ms. Na prizemnoj razini i razini -1 uspješnost mjerenja bila je 100% sa razinom signala od -82 dBm u prizemlju te -99 dBm na razini -1, ping je ovdje normalno prolazio u svakoj mjernoj točki.

Tablica 4.12 Prikaz svih LTE mjernih rezultata

RSRP***	Cv_0	Cv_02	Cv_03	Ic_01	Ic_02	Ig_01	Ig_02	Kv_01	Kv_02	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	-	-107.2				-89.66	-103.7			-91.76	-110.8	-98.07	100
-1	-	-113.9		-97.18	-119.4	-117.9	-115.4	-94.38	-120.1	-130.8	X	-113.8	90
-2	X	X	-117.2	X	X	X	X	-115.4	X	X	X	-116.3	18
-3	X	X		-129.1	-130.1	X	X	X	X	X	X	-129.6	20
-4		X		X	X	X	X	X	X	X	X	0	0
PING*	Cv_0	Cv_02	Cv_03	Ic_01	Ic_02	Ig_01	Ig_02	Kv_01	Kv_02	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	44.6	49.9				78.2	70.3			67.7	75.5	64.37	100
-1	91.7	108.7		51.5	233.4	133.7	127.4	69.3	388.6	1958	X	351.37	90
-2	X	X	949.1	X	X	X	X	118.1	X	X	X	533.62	18
-3	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	0	0
-4	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	0	0

*(ms)

**Success Rate (%)

***(dBm)

blank = nije se vršilo mjerenje u toj točki

X = mjerenje je izvršeno, ali neuspješno

Tablica 4.13 Prikaz svih NB-IoT mjernih rezultata

RSRP***	Cv_01	Cv_02	Cv_03	Ic_01	Ic_02	Ig_01	Ig_02	Kv_01	Kv_02	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	-70.17	-90.94				-76.11	-88.62			-71.04	-96.38	-82.21	100
-1	-105.6	-94.99		-85.67	-108.6	-101.5	-96.81	-81.57	-96.15	-113.3	-110.4	-99.46	100
-2	-128.0	-110.6	-108.1	-104.6	-119.5	-126.9	-109.5	-103.9	X	-124.6	-126.5	-116.2	90
-3	-138.8	X		-115.4	X	-133.7	-131.7	X	X	-132.8	X	-130.5	50
-4	X	X		X	X	-138.8	X	X	X	X	X	-138.8	10
PING*	Cv_01	Cv_02	Cv_03	Ic_01	Ic_02	Ig_01	Ig_02	Kv_01	Kv_02	Tu_01	Tu_02	AVG	SC**
0	1138	1250				568.80	1123.1			385.30	464.90	821.70	100
-1	771	904.3		412.80	1381.6	511.40	466.40	426.40	414.90	921.10	684.60	689.41	100
-2	5869	864.2	972.9	712.50	3109	2608	2017.7	699.50	X	2547.4	5097.8	2449.8	90
-3	X	X		919.10	X	X	X	X	X	X	X	919.10	10
-4	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	0	0

*(ms)

**Success Rate (%)

***(dBm)

blank = nije se vršilo mjerenje u toj točki

X = mjerenje je izvršeno, ali neuspješno

Iz ovih mjerenja možemo zaključiti kako NB-IoT ima prednost u odnosu na LTE u pogledu bolje mrežne pokrivenosti u prostorijama koje se nalaze ispod razine zemlje. Iako smo očekivali -20 dB dobitka, dobili smo tek -8 dB na najnižim razinama garaža. Dok smo kod LTE-a hvatali konstantan signal samo na -1 razini, NB-IoT signal smo hvatali kroz cijelu -2 razinu i na 50% mjernih lokacija kroz -3 razinu.

Zaključak

LPWAN je novo rješenje na području bežične komunikacije. Za razliku od Wi-Fi, Bluetooth i LTE tehnologija, LPWAN omogućuje velik broj bežičnih konekcija uz pokrivanje velikih udaljenosti, te minimalno održavanje i malu potrošnju električne energije [15].

NB-IoT je novi uskopojasni (engl. *narrow-band*) sustav izgrađen iz postojećih LTE funkcionalnosti. Neprimjetno radi na postojećem Globalnom Sustavu za Mobilne komunikacije (GSM) i dugoročnim evolucijskim mrežama (LTE) u licenciranim frekvencijskim pojasevima. Mnoge telekomunikacijske kompanije kao što su Huawei, Ericsson i Nokia prepoznali su važnost NB-IoT tehnologije te zajedno rade na podizanju kvalitete IoT mreže za NB-IoT tehnologiju, te zbog učinkovitog korištenja postojećih mobilnih mreža podržavaju standardizaciju NB-IoT mreže. Tehnološki standard najavljen je projektom partnerstva treće generacije (3GPP) u 2016. godini, koji obećava da će osigurati poboljšanu pokrivenost niskobudžetnih uređaja male potrošnje električne energije i niske propusnosti. NB-IoT koristi uskopojasne kanale kako bi pružio veću osjetljivost i veći domet, ali pod cijenu ograničenja brzine prijenosa podataka, tipično ispod nekoliko stotina bitova u sekundi (bps) [15]. NB-IoT je primjenjiv u područjima koja su duboko pod zemljom, gdje LTE signal ne može prodrijeti.

Popis kratica

NB-IoT	<i>Narrow Band - Internet of Things</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
GSM	<i>Global Sistem for Mobile communications</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
MCL	<i>Maximum Coupling Loss</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
MTC	<i>Machine-Type Communication</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
EPC	<i>Evolved Packet Core</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
QPSK	<i>Quadrature Phaseshift Keying</i>

Popis slika

Slika 2.1 Grafički prikaz CISCO-ove predikcije za 2020. godinu [2]	3
Slika 2.2 LPWAN u odnosu na ostale komunikacijske tehnologije [6]	5
Slika 2.3 Usporedba NB-IoT i LoRa tehnologija u pogledu različitih IoT faktora [10]	9
Slika 3.1 Načini rada NB-IoT nosioca [12]	11
Slika 4.1 Lokacije garaža.....	14
Slika 4.2 Mjerna oprema i izgled sučelja aplikacije	15
Slika 4.3 Udaljenost između BS i mjerne lokacije	16
Slika 4.4 Pogled sa BS prema mjernoj lokaciji	16
Slika 4.5 Udaljenost između BS i mjerne lokacije	Error! Bookmark not defined. 7
Slika 4.6 Pogled sa BS prema mjernoj lokaciji	Error! Bookmark not defined.
Slika 4.7 Udaljenost između BS i mjerne lokacije	Error! Bookmark not defined.
Slika 4.8 Pogled sa BS prema mjernoj lokaciji	Error! Bookmark not defined.
Slika 4.9 Udaljenost između BS i mjerne lokacije	Error! Bookmark not defined.
Slika 4.10 Pogled sa BS prema mjernoj lokaciji	Error! Bookmark not defined.
Slika 4.11 Udaljenost između BS i mjerne lokacije	20
Slika 4.12 Pogled sa BS prema mjernoj lokaciji	20

Popis tablica

Tablica 2.1 Usporedba LPWAN i GPRS tehnologija [7].....	6
Tablica 2.2 Usporedba LPWAN sa ZigBee i Wi-Fi tehnologijom [7].....	7
Tablica 2.3 Vršna struja, struja spavanja i latencija [8]	8
Tablica 2.4 Različitosti u cijenama [10].....	9
Tablica 2.5 Različita primjena NB-IoT i LoRa tehnologija [10]	10
Tablica 4.1 Rezultati NB-IoT mjerenja	16
Tablica 4.2 Rezultati LTE mjerenja	16
Tablica 4.3 Rezultati NB-IoT mjerenja	Error! Bookmark not defined.
Tablica 4.4 Rezultati LTE mjerenja	Error! Bookmark not defined.
Tablica 4.5 Rezultati NB-IoT mjerenja	Error! Bookmark not defined.
Tablica 4.6 Rezultati LTE mjerenja	Error! Bookmark not defined.
Tablica 4.7 Rezultati NB-IoT mjerenja	Error! Bookmark not defined.
Tablica 4.8 Rezultati LTE mjerenja	Error! Bookmark not defined.
Tablica 4.9 Rezultati NB-IoT mjerenja	20
Tablica 4.10 Rezultati LTE mjerenja	20
Tablica 4.12 Prikaz svih LTE mjernih rezultata.....	Error! Bookmark not defined.
Tablica 4.13 Prikaz svih NB-IoT mjernih rezultata	Error! Bookmark not defined.

Literatura

- [1] FEIFEI SHI, QINGJUAN LI , TAO ZHU, HUANSHENG NING, A Survey of Data Semantization in Internet of Things, *MDPI*, 22. siječanj 2018.
- [2] <http://image.3001.net/images/20170714/15000170226082.jpg>
- [3] FEIFEI SHI, QINGJUAN LI , TAO ZHU, HUANSHENG NING, A Survey of Data Semantization in Internet of Things, *MDPI*, 22. siječanj 2018.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things, studeni 2018.
- [5] KAIS M, EDDY B, FREDERIC C, FERNAND M, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, *ScienceDirect*, prosinac 2017.
- [6] JINSEONG L, JAIYONG L, Prediction-Based Energy Saving Mechanism in 3GPP NB-IoT Networks, *Sensors MDPI*, rujan 2017.
- [7] YONGHUA SONG, JIN LIN, MING TANG, SHUFENG DONG, An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN, *Elsevier*, 1. kolovoz 2017.
- [8] RASHMI SHARAN SINHA, YIQIAO WEI, SEUNG-HOON HWANG, A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT, *ScienceDirect*, 21. ožujak 2017.
- [9] YONGHUA SONG, JIN LIN, MING TANG, SHUFENG DONG, An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN, *Elsevier*, 1. kolovoz 2017.
- [10] RASHMI SHARAN SINHA, YIQIAO WEI, SEUNG-HOON HWANG, A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT, *ScienceDirect*, 21. ožujak 2017.
- [11] KAIS M, EDDY B, FREDERIC C, FERNAND M, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, *ScienceDirect*, prosinac 2017.
- [12] <https://www.ericsson.com/en/ericsson-technology-review/archive/2016/nb-iot-a-sustainable-technology-for-connecting-billions-of-devices>
- [13] JINSEONG L, JAIYONG L, Prediction-Based Energy Saving Mechanism in 3GPP NB-IoT Networks, *Sensors MDPI*, rujan 2017.
- [14] KAIS M, EDDY B, FREDERIC C, FERNAND M, A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment, *ScienceDirect*, prosinac 2017.
- [15] YONGHUA SONG, JIN LIN, MING TANG, SHUFENG DONG, An Internet of Energy Things Based on Wireless LPWAN, *Elsevier*, 1. kolovoz 2017.