

Uskopojasne Internet stvari

Babić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:200:639621>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-05**

Repository / Repozitorij:

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



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

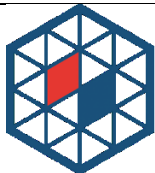
Stručni studij

USKOPOJASNE INTERNET STVARI

Završni rad

Ivan Babić

Osijek, 2021.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 02.08.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime Pristupnika:	Ivan Babić
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Računarstvo
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	AI 4590, 09.10.2017.
OIB Pristupnika:	07385255761
Mentor:	Mr.sc. Anđelko Lišnjic
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Izv. prof. dr. sc. Krešimir Grgić
Član Povjerenstva 1:	Mr.sc. Anđelko Lišnjic
Član Povjerenstva 2:	Doc. dr. sc. Višnja Križanović
Naslov završnog rada:	Uskopojasne Internet stvari
Znanstvena grana završnog rada:	Telekomunikacije i informatika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Pojam "Uskopojasne Internet stvari" je tehnologija usmjerena na povezivanje s internetom svakodnevnih predmeta koji zahtijevaju male količine podataka tijekom dugih vremenskih razdoblja i koja se oslanja na postojeću 4G/5G mrežu. Vaš je zadatak proučiti uskopojasne Internet stvari 4G/5G mreža (NB IoT) koje se nude na tržištu sa svih aspekata te dati primjer njihove moguće uporabe u realnom životu.
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: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	02.08.2022.
<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, 15.09.2022.

Ime i prezime studenta:

Ivan Babić

Studij:

Preddiplomski stručni studij Računarstvo

Mat. br. studenta, godina upisa:

AI 4590, 09.10.2017.

Turnitin podudaranje [%]:

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Uskopojasne Internet stvari**

izrađen pod vodstvom mentora Mr.sc. Anđelko Lišnjić

i sumentora ,

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. INTERNET STVARI	2
3. USKOPOJASNE INTERNET STVARI – NB-IoT	5
3.1. LPWA	5
3.2. Područja uporabe IoT uređaja	6
4. IMPLEMENTACIJA U 4G/5G MREŽAMA	8
4.2. Pristupna i jezgrena mreža	9
4.3. Frekvencijski opsezi (u 4G mreži)	11
4.4. Tehnologije uštede energije	13
4.5. Sigurnosne značajke	15
5. PRIMJER NB-IoT SUČELJA	18
6. ZAKLJUČAK	22
LITERATURA	23
SAŽETAK	25
ABSTRACT	26
ŽIVOTOPIS	27

1. UVOD

Jedna od definicija internet stvari (engl. *Internet of Things* - IoT) je da su to mali jednostavni uređaji povezani internetom, u mrežnu infrastrukturu. Sadrže senzore, radio i kontrolne sklopove pomoću kojih je moguće nadzirati određeni dio sustava.

IoT ima iznimno širok spektar primjena i mogućnosti, od uređaja koji mogu dostaviti veliku količinu podataka i stacionarni su, poput nadzornih kamera, do uređaja koji prenose iznimno male količine podataka i mogu biti stacionarni ili pokretni, a samim time mogu se nalaziti i u iznimno zahtjevnim okruženjima, primjerice na lokacijama sa slabom pokrivenosti signalom i lošom mikroklimom. Tehnologija uskopojasnih Internet (engl. *Narrowband Internet of Things* – NB-IoT) stvari namijenjena je upravo toj grupi uređaja jer ostale tehnologije nisu u mogućnosti zadovoljiti potrebe takvih uređaja. Zbog velike potražnje i velikog broja potrebnih uređaja njihova cijena je sve manja.

NB-IoT je podvrsta IoT-a implementirana u 4G i 5G sustavima komunikacije te zbog toga ima određene prednosti, zbog već postojeće telekomunikacijske infrastrukture.

Na početku rada definirane su Internet stvari, tehnologije koje su dovele do naprednih IoT uređaja današnjice i prikazana je podjela IoT sustava po slojevima. U sljedećem poglavlju definirani su pojmovi mreže niske snage i široke pokrivenosti (engl. *Low Power Wide Area Network* - LPWAN) i područja uporabe IoT uređaja. U četvrtom poglavlju opisani su načini implementacije u postojećoj 4G/5G mreži, zajedno sa frekvencijskim opsezima, tehnologijama za uštedu energije i novim sigurnosnim značajkama prilagođenim NB-IoT uređajima. U zadnjem poglavlju je prikazan i objašnjen primjer korisničkog sučelja prema NB-IoT uređajima u postojećoj mreži.

2. INTERNET STVARI

Internet stvari označavaju fizičke uređaje koji sadrže senzore, softver, procesnu moć i mogućnost povezivanja i razmjene podataka s drugim uređajima i/ili komunikacijskim sustavima. Povezanost se najčešće ostvaruje bežično u mrežnu infrastrukturu, koja se najčešće sastoji od krajnjih uređaja, pristupne točke te centralnog sustava, koji prikuplja podatke s krajnjih uređaja. Ovo područje nastalo je zbog razvoja i spajanja više različitih tehnologija poput lako dostupnih i jeftinih senzora, ugrađenih sustava velike procesorske moći, a male potrošnje energije, kao i zbog potrebe automatizacije i nadzora određenih sustava industrijskih objekata.

Internet stvari su grupa različitih hardverskih i softverskih tehnologija koje pružaju rješenja temeljena na informacijsko komunikacijskim protokolima i mrežnim platformama. Te se tehnologije koriste za dohvaćanje, pohranu i obradu podataka te elektroničke sustave za komunikaciju.¹

IoT tehnologija je spoj više različitih tehnologija. Te se tehnologije dijele u više različitih slojeva, od samih IoT uređaja do viših slojeva arhitekture, gdje svaki sloj zasebno može omogućiti implementaciju nove tehnologije koja može unaprijediti cijeli sustav. IoT rješenja obično koriste druge tehnologije, kao što su računalstvo u oblaku, rubno računalstvo (engl. *edge computing*), umjetnu inteligenciju (AI), velike podatke (engl. *big data*) i slično radi što lakšeg prikupljanja i obrade velike količine podataka potrebnih krajnjim uređajima.²

Internet je počeo kao mreža računala, vremenom je evoluirao i u mrežu svih vrsta uređaja. Vozila, pametni telefoni, kućanski aparati, igračke, kamere, medicinski instrumenti, industrijski sustavi, pametne zgrade i slično međusobno su povezani te sadrže potrebne informacije o komunikaciji i dijeljenju podataka na temelju propisanih protokola u svrhu pozicioniranja, praćenja, kontrole, nadzora u stvarnom vremenu i administracije.³

Gotovo svaki element fizičkog svijeta koji je moguće lako mjeriti sensorima sada se pretvara u električne signale, a zatim i u digitalne podatke ili obrnuto. Neki od primjera su zvuk, svjetlo, temperatura, električna i magnetska polja, linearno ili rotacijsko gibanje, vlažnost, tlak, ljudski vitalni znakovi i mnogo drugih.

Ta digitalizacija okoline u kombinaciji s potrebnim sensorima i softverom stvara mnoge nove mogućnosti, dovodi do računalnog osjeta okoline što omogućava intuitivnu interakciju čovjeka i stroja (gestom, dodiranjem i glasom), zdravstveno i biometrijsko prepoznavanje (otisak prsta,

šarenice, krvni tlak, razinu kisika i šećera), autonomne strojeve (dronovi, automobili, industrijski uređaji) kao i osnovu za prikupljanje podataka koje IoT prikuplja.

Digitalizacija okoline sve se više provodi iznimno minijaturnim sustavima, zasnovanim na mikro elektromehaničkim sustavima (engl. *Micro-electromechanical Systems* – MEMS). Akcelerometri, žiroskopi, senzori barometrijskog tlaka, mikrofoni, senzori sile, magnetometri, optički pretvarači, toplinski senzori i haptički senzori danas se proizvode istim procesima kao i moderne poluvodičke komponente što im daje dimenzije ispod jednog kubičnog milimetra i mogućnost povezivanja s ostalim popratnim elektroničkim komponentama na istom čipu kao i smanjenu potrošnju energije uzrokovanu minijaturizacijom komponenti.

Mnogi od spomenutih senzora nalaze se u potrošačkoj elektronici, poput mobilnih telefona. Sama činjenica da je potrebno proizvesti ogroman broj uređaja dovela je do načina proizvodnje u kojemu su troškovi minimizirani, što je u kombinaciji s umanjenom potrošnjom energije i nižom cijenom iznimno bitno za primjenu u IoT uređajima.

Tehnološki stog IoT-a niz je tehnologija, standarda i alata koji pružaju jednostavno povezivanje svih zasebnih dijelova kao što su: objekti, aplikacije koje koriste te povezane stvari, podatci koje uređaji prikupljaju i razmjenjuju te različiti koraci nužni za korištenje pojedinih dijelova sustava. Bez stoga i međusobne komunikacije IoT tehnologije ne bi bile u mogućnosti učiniti nešto znatno s IoT uređajima ili prikupljenim podacima niti bi postojala potreba za povezivanje stvari na Internet. IoT stog obuhvaća sve potrebne tehnologije za pretvaranje izmjerenih veličina u korisničke podatke.

Ovisno o korištenim tehnologijama, sustavima i potrebama korisnika, moguće su različite podjele slojeva IoT stoga,. Jedan od primjera podjele IoT stoga na slojeve prikazan je na slici 2.1.



Slika 2.1. Podjela IoT-a po slojevima.

Prema slici 2.1. IoT stog se sastoji od 4 sloja:

- Sloj krajnjih uređaja zasniva se na fizičkim uređajima sa sensorima koji očitavaju određene vrijednosti svoje okoline te periodično ili prema potrebi komuniciraju te vrijednosti dalje u mrežu preko pristupnog uređaja.
- Sloj pristupnika (engl. *hub devices*) koristi fizičke uređaje koji komuniciraju i prikupljaju podatke sa senzora, mogu pružati određeni sloj kontrole i obrade podataka, nakon čega prosljeđuju informacije dalje u više slojeve.
- Sloj komunikacije objedinjuje različite bežične i žičane standarde koji povezuju senzore s čvorištima i čvorišta s oblakom (engl. *cloud*) ili serverima za obradu i pohranu podataka ovisno o implementaciji.
- Sloj oblaka predstavlja mjesto na koje podatci dolaze, spremaju se, gdje se na njima može izvršiti obrada, te poslati odgovor na temelju primljenih podataka. Uvidi u obrade mogu se grafički prikazati radi lakšeg uočavanja određenih trendova primljenih podataka.⁴

U određenim se slučajevima IoT pristupnici također mogu rangirati pod IoT uređajima. IoT pristupnik može biti hardverski element, također može biti i softverski element, kao u slučaju NB-IoT-a koji se oslanja na pristupnu mrežu dugoročne evolucije (engl. *Long Term Evolution* - LTE) ili mrežu pete generacije (5G), sa softverski definiranim pravilima za implementaciju NB-IoT-a. Napredak u IoT-u doveo je do povezivanja i premještanja određenih funkcija iz krajnjih uređaja, ili oblaka, u pristupnik koji je idealno postavljen za obavljanje tih funkcija, a uz to vrši i važnu funkciju „mosta“ između uređaja i oblaka. Najznačajnija primjena tog principa je smanjenje obrade podataka koje krajnji uređaj treba odraditi prije slanja na pristupnik, što omogućuje smanjenje procesorskih zahtjeva kao i manju potrošnju baterije krajnjih uređaja.

Pristupnici su široki sloj s više uređaja, tehnologija, funkcija, softverskih i hardverskih rješenja. Glavna zadaća IoT pristupnika je povezivanje krajnjih uređaja sa serverima ili cloudom. Zbog svog položaja u sredini IoT stoga koriste se i za: enkripciju i dekripciju podataka (sigurnost), prevođenje različitih protokola koji postoje u cjelokupnim IoT tehnologijama, upravljanje i nadogradnju softvera IoT uređaja, IoT rubno računanje, pred obradu i agregaciju podataka.³

S obzirom na sve više funkcija koje IoT pristupnik nudi, kao i razlike u mogućnostima pristupnika, komunikaciju se promatra kao zasebni sloj. Komunikaciju je također moguće podijeliti na komunikaciju krajnji uređaj – pristupnik i na komunikaciju pristupnik - oblak.

Građa interneta bolje je prilagođena prijenosu većih količina podataka, dok u IoT scenariju često velika količina IoT senzora komuniciraju male količine podataka s pristupnikom. Te je podatke

moгуće komunicirati dalje na mreži odvojenim IP paketima, što je izrazito neefikasno, ili skupiti te podatke i napraviti prethodnu obradu tih podataka prije slanja na servere ili oblak, čime se postiže rasterećenje oblaka i mreže. Slični princip može se primijeniti na enkripciju / dekripciju podataka. Na primjer krajnji uređaj enkriptira podatke s (engl. *Battery Efficient Secure Transport* – BEST) protokolom do pristupnika, nakon čega pristupnik dekriptira poruku i opet je enkriptira koristeći protokol poput HTTPS-a za slanje na server / cloud. ⁴

3. USKOPOJASNE INTERNET STVARI – NB-IoT

NB-IoT aplikacije obično prenose male količine podataka (reda veličine kilobajta) koje nije potrebno učestalo prenositi (prenosi se manje od stotinu puta dnevno). To je postao standard za ovu vrstu bežične komunikacije. Od 2016. godine mobilni operateri implementiraju i nadograđuju svoju mrežu te time omogućuju uskopojasnu IoT pokrivenost svojim korisnicima. ⁵

NB-IoT naziva se i LTE Cat-NB, no postoje i drugi pojmovi, kao što su LTE Cat-NB1 i Cat N1, koji se koriste za NB-IoT specifikaciju definiranu u 3GPP (engl. *3rd Generation Partnership Project*) izdanju 13. Danas postoje i Cat N2 ili Cat NB2 uređaji koji primjenjuju nadograđene NB-IoT specifikacije koje su došle u 14. i 15. izdanju specifikacija, a donose unapređenja poput veće brzine prijenosa podataka, nove frekvencijske opsege, mogućnost spajanja većeg broja uređaja na istu baznu stanicu.

NB-IoT pripada kategoriji uređaja niske snage i široke pokrivenosti LPWA. U navedenu kategoriju ubrajaju se sve IoT tehnologije koje zadovoljavaju uvjete LPWA standarda. ⁶

3.1. LPWA

LPWA je pojam koji označava mnoge vrste bežičnih IoT komunikacijskih standarda koji pružaju mogućnost korištenja uređaja napajanih baterijama za prijenos male količine podataka na širokom geografskom području i u zahtjevnim uvjetima za signal poput prostora unutrašnjosti zgrada ili podzemnim prostorima. Mreža širokog područja (engl. *Wide Area Network* - WAN), u ovom slučaju bežični WAN (engl. *Wireless Wide Area Network* - WWAN) ima malu snagu odašiljača čak i u usporedbi s ostalim „slabim“ odašiljačima poput mobitela odakle dolazi pojam „LP“ (engl. *low power*). ⁶

Glavne karakteristike LPWA mreže su:

- Veliki domet – od nekoliko kilometara do nekoliko desetaka kilometara, kao i mogućnost prodora signala prema vrlo zahtjevnim podzemnim i zatvorenim lokacijama što prije bilo neizvedivo.
- Niska potrošnja energije – uređaji su optimizirani za što nižu potrošnju energije koja omogućava život baterije od nekoliko godina do nekoliko desetaka godina, ovisno o načinu upotrebe.
- Niska cijena uređaja – korišteni protokoli, način komunikacije, potrebna komunikacijska infrastruktura i hardverski dizajn su jednostavniji kako bi smanjili cijenu uređaja, kao i mjesečne ili godišnje troškove održavanja uređaja i komunikacijske infrastrukture.

Većina LPWA IoT uređaja nema potrebu za istom brzinom prijenosa podataka i latenciju kao potrošački mobilni uređaji, ali im je potrebna sigurnost, dugovječnost, pokrivenost i domet tradicionalnih LTE i 5G mobilnih mreža.⁷

2015. godine GSMA udruga bežične industrije kreirala je niz standarda koje LPWA mreže moraju implementirati i na taj način pomogla operaterima u ispunjavanju ciljeva smanjenja troškova energije i povećanja pokrivenosti. Stvorili su se preduvjeti za prihvaćanje LPWA tehnologije u IoT primjeni koja također zahtjeva minimalni utrošak energije.

Uz NB-IoT postoje dva dodatna LPWA standarda zasnovana na spajanju na bazne stanice: poboljšana komunikacija uređaja (engl. *Enhanced Machine Type Communication* - eMTC) koji se sada zove LTE-M i GSM proširene pokrivenosti (engl. *Extended Coverage GSM* - EC-GSM-IoT). Ti standardi često se nazivaju "Mobile IoT", iako je taj izraz neprecizan jer su se starije mobilne tehnologije koristile za M2M i IoT iako nisu optimizirane za tu vrstu funkcionalnosti. Većinom se uspoređuju NB-IoT i LTE-M, jer su to dva najraširenija standarda koje sustav mobilne industrije proizvođača, davatelja usluga i mrežni operateri potiču.⁶

Uz NB-IoT i LTE-M postoje i LPWA implementacije koje ne koriste pristupnu mrežu mobilnih operatera za komunikaciju s IoT uređajima, takozvani nestanični (engl. *non-cellular*) LPWAN standardi, dostupni su od različitih tvrtki poput LoRa-e i SigFox-a, koje ne koriste komunikaciju pomoću mrežnih ćelija, nego koriste vlastitu mrežu s pristupnim točkama i nelicencirani frekvencijski spektar.

3.2. Područja uporabe IoT uređaja

Jedna od mogućih podjela područja uporabe IoT uređaja na grupe koja se temelji na njihovih sličnostima i primjenama:

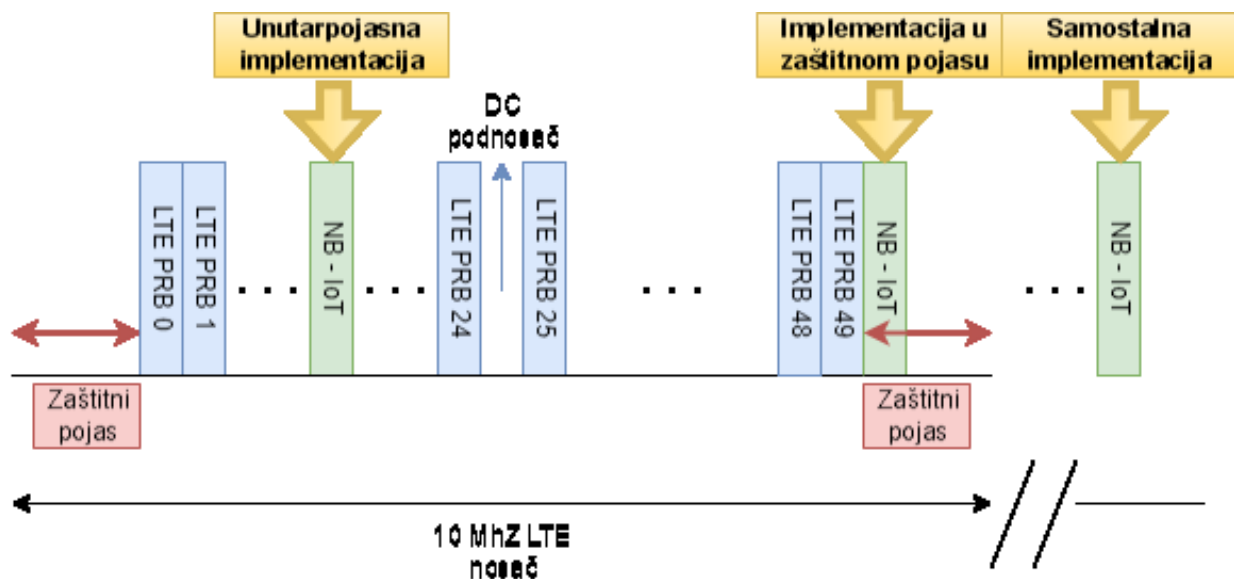
1. Praćenje osoba, poput djece i starijih, praćenje kućnih ljubimaca, nosivi uređaji, uređaji protiv krađe bicikla i slični uređaji koji zahtijevaju iznimnu fizičku i komunikacijsku sigurnost i dvosmjernu komunikaciju koja se koristi za potvrdu primitka poruke, razmjenu sigurnosnih ključeva, ažuriranja *firmwarea*, sigurnosnih zakrpi i slično. Navedeni uređaji većinu vremena provedu u stanju mirovanja, povremeno komuniciraju s ostatkom sustava, te se aktiviraju se na neki određeni događaj, nakon čega počnu češće slati podatke. Na primjer, kada se praćeni objekt ili kućni ljubimac izgubi, uređaj šalje nekoliko poruka na sat zbog što točnije i ažurnije lokacije. Zbog često lake dostupnosti uređaja, u većini slučajeva je moguće lako zamijeniti ili napuniti bateriju.
2. Praćenje i nadzor industrijske opreme uključuje praćenje određenog sustava ili okoliša u (gotovo) stvarnom vremenu. Neki od primjera ove kategorije su: praćenje tlaka i protočnosti hidranata, praćenje parametara industrijskih spremnika, senzora vlage tla, manje lokalne meteorološke stanice i slično. Neki uređaji obuhvaćeni ovom kategorijom su pokretni, kao na primjer, određena industrijska imovina i životinje na farmama, no većina ih je stacionarna. Većina uređaja se aktivira na događaj, na primjer, ako očitavanje senzora uređaja pređe prethodno određenu granicu, uređaj se aktivira i obavještava korisnika o problemu. U takvom režimu rada može razmijeniti 40 do 100 poruka dnevno, dok uređaj većinu svog vremena provodi u stanju mirovanja radi uštede baterije i u regularnim intervalima šalju jednu do četiri poruke po satu ovisno o potrebi korisnika. Ova kategorija zahtjeva dvosmjernu komunikaciju za razmjenu sigurnosnih ključeva, ažuriranja *firmwarea*, sigurnosnih zakrpi, za potvrdu primitka poruke, promjenu konfiguracije parametara izvještavanja, a u nekim slučajevima i za upravljanje aktuatorima. Uređaji ove kategorije dijele se na:
 - uređaje kojima je potrebna duboka unutarnja pokrivenost : automatizacija kuće, pametno mjerenje vode, plina ili struje, kontrolu pametne naplate parkiranja i slobodnih mjesta na parkingu, pametne zgrade, industrijski strojevi.
 - uređaje koji se nalaze na otvorenom ili ruralnom području velike površine: strojevi za gospodarenje otpadom, nadzor razine i sigurnosti industrijskih spremnika i nadzor nepokretne poljoprivredne imovine.
3. Ovoj kategoriji pripadaju stacionarni uređaji s izvorom napajanja koji mogu zahtijevati manju bateriju u slučaju nestanka struje, primjerice, uređaji poput pametne bijele tehnike, pametnog osvjetljenja, pametnih aparata za kavu i ostala pića. Broj poslanih poruka uređaja te kategorije može varirati od tri do deset poruka dnevno za kućanske uređaje bijele tehnike i pametnog osvjetljenja, pa sve do 100 poruka dnevno za aparate. Zahtijevaju dvosmjernu

komunikaciju za razmjenu sigurnosnih ključeva, ažuriranja *firmwarea*, sigurnosnih zakrpi, konfiguraciju uređaja, potvrdu primitka poruke, kontrole osvjetljenja, aktuatora i slično. ⁷

4. IMPLEMENTACIJA U 4G/5G MREŽAMA

NB-IoT je baziran na LTE sustavu i koristi značajke kao što su: frekvencijski multipleks ortogonalnih podnosilaca (engl. *Orthogonal Frequency-division Multiple Access* – OFDMA) za silaznu vezu (engl. *Downlink*), frekvencijski multipleks jednog nosača (engl. *Single Carrier Frequency-division Multiple Access* - SC-FDMA) za uzlaznu vezu (engl. *uplink*), kodiranje kanala i podudaranje brzine prijenosa s LTE-om. Korištenje postojećih tehnologija također znatno smanjuje vrijeme potrebno za razvoj softvera i specifikacija jer su potrebne tehnologije već razvijene i implementirane, potrebno ih je samo modificirati kako bi zadovoljili specifične zahtjeve NB-IoT uređaja. Razvoj odašiljačke opreme je također nepotreban jer se koristi već postojeća LTE/5G odašiljačka oprema. ^{8 4}

3GPP je definirao tri specifikacije implementacije NB-IoT-a koje su grafički prikazane na slici 4.1.



Slika 4.1. Moguće implementacije NB-IoT-a.

Slika 4.1 prikazuje tri moguće imlementacije NB.IoT-a u 4G/5G mreži:

- Samostalna implementacija (engl. *standalone*)
- LTE implementacija zaštitnog pojasa (engl. *guardband*)
- LTE unutarpojasna implementacija (engl. *in-band*) ⁹

Za komunikaciju NB-IoT zahtijeva minimalnu propusnost sustava frekvencijskog opsega 200 kHz, od čega je za komunikaciju iskoristivo 180 kHz. Ovaj izbor širine kanala, a samim time i minimalne propusnosti sustava je odabran jer pruža fleksibilnost implementacije u postojećoj infrastrukturi mobilne komunikacije. Primjerice, GSM operater može dodijeliti jedan GSM kanal širine 200 kHz NB-IoT vezi, dok LTE i 5G operateri mogu implementirati NB-IoT unutar LTE/5G sustava dodjeljivanjem jednog kanala zvanog fizički resursni blok (engl. *Physical Resource Block* - PRB) od 180 kHz za NB-IoT bez narušavanja kvalitete usluge ostalih prethodno implementiranih usluga. Operateri također imaju mogućnost implementacije NB-IoT-a u zaštitni pojas LTE-a, bez narušavanja kvalitete ostalih signala. ⁸

Silazna veza NB-IoT-a temelji se na frekvencijskom multipleksu ortogonalnih podnosilaca (engl. *Orthogonal Frequency-division Multiple Access* – OFDMA) s istim razmakom podnosača od 15 kHz kao i LTE, a uzlazna veza podržava višetonski i jednotonski prijenos, gdje je jednotonski prijenos temeljen na OFDMA dok se višetonski prijenos temelji se na frekvencijskom multipleksu s jednim nosačem SC-FDMA. ⁹

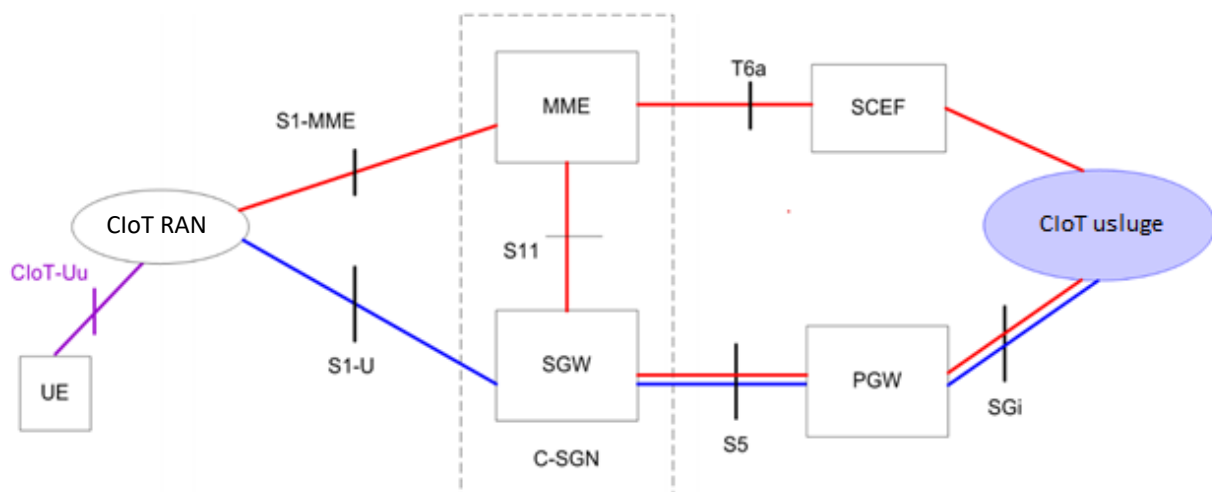
Za prijenos podataka se koriste dvije modulacije: digitalna fazna modulacija (engl. *Phase-shift Keying* - PSK) i kvadratura amplitudna modulacija (engl. *Quadrature Amplitude Modulation* - QAM) modulacija. Podržane modulacije su 4 PSK, 16 QAM, 64 QAM i 256 QAM. Korišteni način modulacije ovisi o kvaliteti kanala, odnosno udaljenosti između krajnjeg uređaja i bazne stanice i odnosu signal – šum na kanalu, gdje se 4 PSK koristi kod velikog odnosa signal – šum, a 256 QAM kod malog odnosa signal šum.

Uskopojasni IoT sustav radi u HD-FDD (engl. *Half Duplex - Frequency Division Duplexing*) modu.

4.2. Pristupna i jezgrena mreža

NB-IoT mreža zasnovana je na LTE tehnologiji, gdje je dobar dio značajki koje podržava LTE izostavljen radi pojednostavljenja sustava. Slika. 4.4.2. prikazuje mrežu za prijenos i prijem podataka NB-IoT-a.

Na slici 4.2. crvenom bojom je naznačen tok podataka koji koristi kontrolna ravnina, a plavom bojom je naznačen tok korisničke ravnine.



Slika 4.2. Prikaz mogućnosti implementacije NB-IoT-a u pristupnu i jezgenu mrežu.

U sklopu ćelijske internet stvari (engl. *Cellular Internet of Things* - CIoT) u evoluiranom paketnom sustavu (engl. *Evolved Packet System* - EPS) dodane su dvije optimizacije: EPS u korisničkoj ravnini (engl. *User Plane* - UP) CIoT-a i u kontrolnoj ravnini (engl. *Control Plane* - CP) CIoT EPS.

Na optimizaciji EPS-a CIoT upravljačke ravnine podatci uzlazne veze prenose se iz eNB (engl. *Evolved Node B*) (CIoT RAN) u entitet mobilnog upravljanja (engl. *Mobility Management Entity* – MME), odakle se mogu prenositi preko poslužiteljskog pristupnika (engl. *Serving Gateway* - SGW) na mrežni pristupnik (engl. *Packet Data Network Gateway* - PGW) ili u funkciju izlaganja mogućnosti usluge (engl. *Service Capability Exposure Function* - SCEF) koja prihvaća samo podatke koji nisu IP tipa. Iz tih čvorova konačno se prosljeđuju na aplikacijski poslužitelj. U takvom rješenju ne postoji nosač podataka na korisničkoj ravnini, nego se paketi podataka šalju na radio kanal preko kontrolne ravnine. Ovo rješenje je najprikladnije za prijenos podataka čija je učestalost pojavljivanja mala ili su sami paketi koji se prenose kratki, kao što je slučaj u IoT-u. SCEF je novi čvor dizajniran posebno za podatke koje šalju uređaji (engl. *Machine Type Data*) koji se koristi za isporuku podataka koji nisu IP tipa koristeći se kontrolnom ravninom. SCEF je ujedno i sučelje za provjeru autentičnosti , autorizaciju i pristup mrežnim mogućnostima, za što je prvobitno i dizajniran.

S optimizacijom EPS-a za korisničku ravninu prijenos podataka odvija se kao i podatkovni promet konvencionalnog tipa, odnosno podatci se radionositeljem putem SGW-a i PGW-a prenose do aplikacijskog poslužitelja, što olakšava slijed paketa podataka koji će se poslati. Ovaj put podržava isporuku podataka koristeći IP i bez IP-a.

eNB-ovi su povezani s MME i S-GW pomoću S1 sučelja, s razlikom u nošenju NB-IoT poruka i podatkovnih paketa. Iako nije definirana primopredaja, još uvijek postoji X2 sučelje između dva eNB-a, što omogućuje brzi nastavak nakon što UE prijeđe u stanje mirovanja, čak i u slučaju da se postupak nastavlja od strane drugog eNB-a.

4.3. Frekvencijski opsezi (u 4G mreži)

Regulatorna agencija 3GPP je definirala niz frekvencijskih opsega (tablica 4.1.) koje se mogu koristiti za komunikaciju s NB-IoT uređajima, a definirani su u tri izdanja:

- 3GPP izdanje 13 koje je dodijelilo frekvencijske opsege: B1, B2, B3, B5, B8, B12, B13, B17, B18, B19, B20, B26, B28, B66 .
- 3GPP izdanje 14 koje je dodalo frekvencijske opsege: B11, B25, B31 i B70.
- 3GPP izdanje 15 s frekvencijskim opsezima: B4, B14, B71, B72, B73, B74 i B85.

Navedeni frekvencijski opsezi su podijeljeni po regijama svijeta:

- Europa: B3 (1800), B8 (900) i B20 (800)
- Kanada i SAD: B4 (1700), B12 (700), B66 (1700), B71 (600) i B26 (850)
- Azijsko - pacifički: B1(2100), B3(1800), B5(850), B8(900), B18(850), B20(800), B26(850) i B28(700)
- Latinska Amerika: B2 (1900), B3 (1800), B5 (850) i B28 (700)
- Zajednica nezavisnih država (bivše sovjetske države): B3 (1800), B8 (900) i B20 (800)
- Subsaharska Afrika: B3 (1800) i B8 (900)
- Sjeverna Afrika i Bliski istok: B8(900) i B20(800); ^{5, 10, 11}

Tablica 4.1. Frekvencijski opsezi NB-IoT-a.

NB-IoT opseg	Uzlazni opseg	Silazni opseg	Širina kanala	Duplex načina rada
B1	1920 - 1980 MHz	2110 - 2170 MHz	60 MHz	HD-FDD
B2	1850 - 1910 MHz	1930 - 1990 MHz	60 MHz	HD-FDD
B3	1710 - 1785 MHz	1805 - 1880 MHz	75 MHz	HD-FDD
B4	1710 -1755 MHz	2110 -2155 MHz	45 MHz	HD-FDD
B5	824 - 849 MHz	869 - 894 MHz	25 MHz	HD-FDD
B8	880 - 915 MHz	925 - 960 MHz	25 MHz	HD-FDD

B11	1427.9 - 1447.9 MHz	1475.9 - 1495.9 MHz	20 MHz	HD-FDD
B12	699 - 716 MHz	729 - 746 MHz	17 MHz	HD-FDD
B13	777 - 787 MHz	746 - 756 MHz	10 MHz	HD-FDD
B14	788 - 798 MHz	758 to 768 MHz	10 MHz	HF-FDD
B17	704 - 716 MHz	734 - 746 MHz	12 MHz	HD-FDD
B18	815 - 830 MHz	860 - 875 MHz	15 MHz	HD-FDD
B19	830 - 845 MHz	875 - 890 MHz	15 MHz	HD-FDD
B20	832 - 862 MHz	791 - 821 MHz	30 MHz	HD-FDD
B25	1850 - 1915 MHz	1930 - 1995 MHz	65 MHz	HD-FDD
B26	814 - 849 MHz	859 - 894 MHz	35 MHz	HD-FDD
B28	703 - 748 MHz	758 - 803 MHz	45 MHz	HD-FDD
B31	452.5 - 457.5 MHz	462.5 - 467.5 MHz	5 MHz	HD-FDD
B66	1710 - 1780 MHz	2110 - 2200 MHz	70/90 MHz	HD-FDD
B70	1695 - 1710 MHz	1995 - 2020 MHz	25 MHz	HD-FDD
B71	633 - 698 MHz	617 - 783 MHz	65 MHz	HD-FDD
B72	451 - 456 MHz	461 - 466 MHz	5 MHz	HD-FDD
B73	450 - 455 MHz	461 - 466 MHz	5 MHz	HD-FDD
B74	1427 - 1470 MHz	1475 - 1518 MHz	43 MHz	HD-FDD
B85	698 - 716 MHz	728 - 746 MHz	10 MHz	HD-FDD

Hrvatska koristi gore navedene europske opsege (B3, B8, B20) koje Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti (HAKOM) dodjeljuje mobilnim operaterima na određeni vremenski period. Tablica 4.2. prikazuje dodijele spektra do 2024 godine.¹²

Tablica 4.2. Dodjela frekvencijskog opsega mobilnim operaterima do 2024 godine. ¹²

Frekvencijski opseg (MHz)	Dodijeljeni radio frekvencijski spektar
925 - 960/ 880 – 915 B8	925.3 - 930.3/880.3 - 885.3 MHz Tele 2 d.o.o.
	930.3 - 932.7/885.3 - 887.7 MHz Hrvatski Telekom d.d.
	941.1 - 953.1/896.1 - 908.1 MHz Hrvatski Telekom d.d.
	932.7 - 940.9/887.7 - 895.9 MHz VIP NET d.o.o.
	953.3 - 959.5/908.3 - 914.5 MHz VIP NET d.o.o.

1805 - 1880/ 1710 – 1785 B3	1805.1–1817.1/1710.1–1722.1 MHz Tele 2 d.o.o.
	1830.1–1845.1/1735.1–1750.1 MHz Hrvatski Telekom d.d.
	1855.1–1865.1/1760.1–1770.1 MHz VIP NET d.o.o.

4.4. Tehnologije uštede energije

Poželjno je da životni vijek baterije koje napajaju NB-Iot uređaje bude što duži. U današnje vrijeme moguće je ostvariti trajanje baterije od 4 do 10 godina. Uz poboljšanje dizajna fizičkog sloja uređaja, jedan od važnih parametara za dužinu trajanja baterije je tehnologija omjera vršne i prosječne snage (engl. *Peak to Average Power Ratio* - PAPR), koji je važan mjerni podatak jer mala vrijednost podrazumijeva da pojačalo koje se koristi za prijenos signala može raditi učinkovitije i na taj način uštedjeti bateriju u korisničkoj opremi.

Životni vijek baterija korisničke opreme optimiziran je i upotrebom sljedećih značajki: način rada za uštedu energije (engl. *Power Saving Mode* - PSM) i produženi diskontinuirani prijem (engl. *Extended Discontinuous Reception* - eDRX-a).

PAPR se definira kao omjer vršne snage i prosječne snage signala izražen u decibelima (dB). PAPR se obično mjeri za poslani signal u sustavu ortogonalnog frekvencijskog multipleksiranja (OFDM). Niži je PAPR poželjan za efikasnu izvedbu sustava.

OFDM je način modulacije podataka gdje je korišteni spektar podijeljen na više podnositelja. Signal koji odašilje ovakav OFDM sustav najčešće imaju visoke vršne vrijednosti u vremenskoj domeni jer su svi podnosiči u suprotnosti faze.

Zbog linearne kombinacije pseudo slučajnih QAM signala PAPR može biti izrazito visok, odnosno iako se signali razlikuju, povremeno će doći do situacije gdje će više signala postići maksimalnu vrijednost (ili vrijednost blizu maksimalne) što će izazvati nagli porast izlaznog signala, što uzrokuje povremenu visoku vršnu vrijednost u usporedbi sa srednjom vrijednosti sustava.

Visok PAPR jedan je od najvećih nedostataka OFDM sustava jer smanjuje učinkovitost pojačala odašiljača. Visok PAPR može izazvati probleme kao što su izobličenje izvan i unutar frekvencijskog pojasa, što smanjuje karakteristike prijemnika. Izobličenja izvan pojasa uključuju povećani omjer propuštanja susjednih pojaseva, odnosno šum na susjednim pojasevima. Visok PAPR stavlja veće zahtjeve na bateriju i sklopovlje napajanja koje mora biti adekvatno za najveću snagu koju odašiljač može odaslati. Smanjivanje PAPR-a omogućava implementaciju

jednostavnijeg napajanja koje ne mora biti specifično dizajnirano za visoke vršne vrijednosti, a samim time je često efikasnije. Moguće je i korištenje baterije s nižom maksimalnom strujom pražnjenja.¹³

Način rada za uštedu energije (engl. *Power Saving Mode* - PSM) osmišljen je kako bi pomogao IoT uređajima da uštede energiju baterije i ostvare vijek trajanja baterije do 10 godina.

Kao i u ostalim implementacijama tehnologija mobilnih mreža krajnji uređaj može isključiti radio modul radi uštede energije. Nakon definiranog perioda s isključenim radio modulom uređaj mora opet odraditi proces spajanja na baznu stanicu. Ovaj pristup je prihvatljiv za većinu mobilnih uređaja, ali u slučaju NB-IoT-a postoji dodatna optimizacija ovog procesa. Naime, svako ponovno spajanje na mrežu koristi poprilično malu količinu energije, ali kada krajnju uređaj treba odraditi i nekoliko desetaka do nekoliko stotina puta dnevno sveukupna količina potrebne energije može znatno smanjiti životni vijek baterije uređaja, odnosno vijek baterije je moguće znatno produžiti izbjegavanjem ovog postupka.

Proces kreiranja PSM se zasniva na dva *timer*a: T3324 i T3412, koje krajnji uređaj šalje mreži, razlika ta dva *timer*a T3412-T3324 predstavlja PSM vrijeme. Mreža može prihvatiti dane vrijednosti ili s krajnjim uređajem dogovoriti različiti vremenski interval. Uređaj ostaje registriran na mreži i mreža „pamti“ informacije o stanju uređaja. Ako uređaj u tom periodu treba poslati određene podatke, nije potrebno ponoviti postupak ponovnog spajanja, odnosno, uređaj upali radio modul i pošalje potrebne podatke. Najveći problem ovog pristupa je to što bazna stanica ne može poslati podatke krajnjem uređaju dok dogovoreni vremenski interval ne završi. Podatci koje uređaj treba zaprimiti se pohranjuju do isteka intervala nakon čega se prosljede krajnjem uređaju. Nemogućnost brze komunikacije s krajnjim uređajem ograničava ovu tehnologiju na uređaje koji ne zahtijevaju brzu komunikaciju u smjeru bazna stanica – krajnji uređaj. Drugi problem ovog pristupa je to što uređaj mora biti u geografskom području bazne stanice kako bi PSM ispravno funkcionirao. Izlaskom iz područja dodijeljene bazne stanice uređaj se mora opet registrirati na mreži nakon isteka PSM vremena.¹⁴

Primjerice, za krajnji uređaj i mrežu u kojoj je definiran 8 satni PSM interval, uz redovito slanje podataka senzora svakih 8 sati, u slučaju alarma krajnji uređaj treba samo upaliti svoj radio modul i poslati stanje alarma, bez potrebe za procesom spajanja i bez obzira na postavljeni interval redovitog očitavanja senzora. Dok je u slučaju slanja podataka na krajnji uređaj potrebno pričekati da se uređaj spoji na mrežu.

Produženi diskontinuirani prijem (engl. *Extended Discontinuous Reception* - eDRX) je NB-IoT implementacija postojeće LTE tehnologije diskontinuiranog prijema (engl. *Discontinuous Reception* – DRX) koji je bio dizajniran za uređaje poput mobilnih telefona radi smanjenja potrošnje baterije. eDRX je moguće koristiti u kombinaciji s PSM-om ili samostalno kako bi se produžio vijek trajanja baterije. eDRX se zasniva na principu kratkog isključivanja prijemnog dijela radio modula uređaja. Mobilni telefoni koristeći DRX tehnologiju obično koriste vremenske cikluse reda veličine od nekoliko milisekundi do nekoliko sekundi kako bi se izbjeglo narušavanje kvalitete usluge. Poziv, SMS ili *push* obavijest će stići djelić sekunde kasnije s uključenim DRX-om u usporedbi s isključenim DRX-om. NB-IoT uređaji koji koriste eDRX tehnologiju imaju veće vremenske cikluse od 20.48 sekundi do ~175 minuta jer implementacije NB-IoT uređaja ne zahtijevaju manje cikluse. eDRX pruža manju uštedu energije od PSM-a, ali je bolje namijenjen za usluge koje trebaju često komunicirati s krajnjim uređajem. Kao i kod PSM-a podatci koji su poslani prema krajnjem uređaju spremaju se dok se uređaj ne probudi. U nekim primjenama je moguće koristiti PSM u kombinaciji s eDRX-om. Na primjer, uređaj koji je dogovorio PSM s baznom stanicom uđe u stanje alarma, nakon čega može ugasiti PSM i s baznom stanicom dogovoriti eDRX vrijeme radi veće dostupnosti i češćih očitavanja senzora dok vrijednosti alarma ne padnu ispod dozvoljenih.¹⁴

4.5. Sigurnosne značajke

Uz nisku potrošnju baterije većina LPWA, a samim time i NB-IoT uređaja zahtjeva i veliku sigurnost, što stvara ograničenja na računalnu snagu krajnjeg uređaja koja se može koristiti za kriptografske operacije nad podacima, kao i zbog potrebe slanja dodatnih sigurnosnih podataka.

Najlakši način minimiziranja energije utrošene na kriptografiju je izbjegavanje slaganja više međusobno nezavisnih sigurnosnih slojeva te ih umjesto toga treba koristiti što manje. Zbog ograničenja procesorske moći, memorije, širine pojasa i dostupne snage iznimno je teško implementirati već korištene i ustaljene sigurnosne protokole poput TLS-a, kao i višeslojnu sigurnost.

Potrebno je dizajnirati uređaje s dugoročnim sigurnosnim značajkama, poput mogućnosti instaliranja novog softvera bežičnim putem, pogotovo ako se uređaj nalazi na teško dostupnoj ili opasnoj lokaciji. Takav pristup pomaže i pri daljnjem softverskom razvoju uređaja, nakon postavljanja uređaja.

Uređaji koji su lako dostupni fizičkim napadačima i od kritične važnosti moraju biti otporni na fizičke ili elektroničke napade i na slučajna oštećenja. Obično su opremljeni s mehanizmima koji

provjeravaju status uređaja glede pomicanja uređaja, najčešće koristeći ugrađene senzore G sile ili neke druge senzore, ovisno o namjeni uređaja. U slučaju da se pojavi nekakva anomalija, uređaj šalje alarm kontrolnom centru.

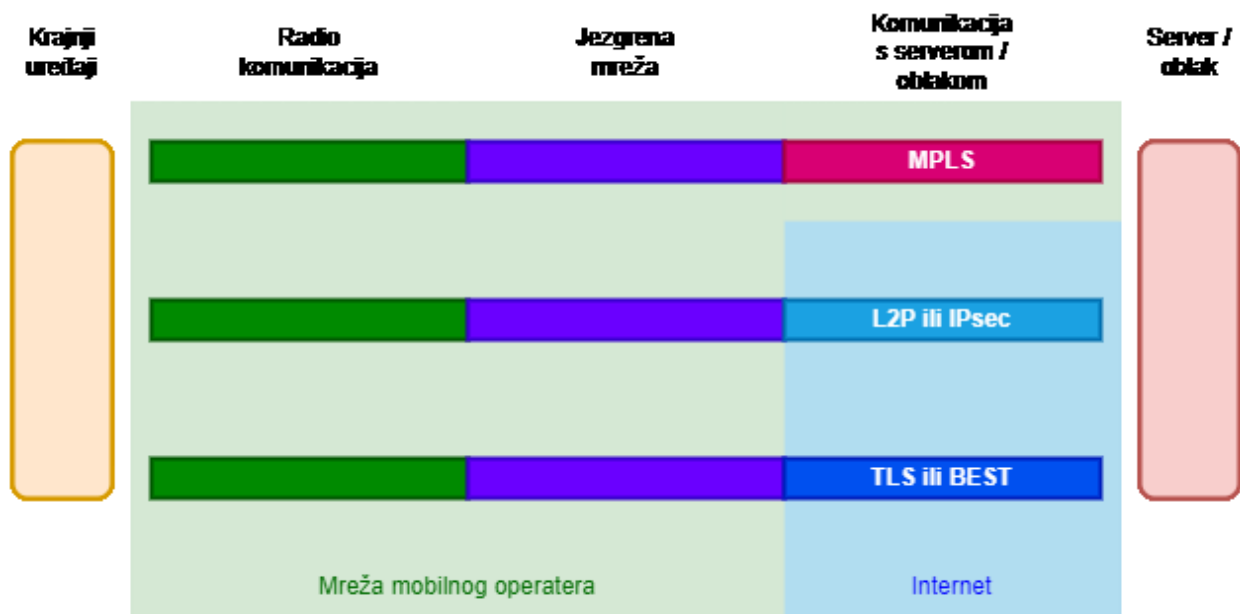
Neovisno o primjeni IoT uređaja postoji skup minimalnih sigurnosnih zahtjeva koji uređaji i mreža moraju ispuniti:

- Osiguravanje identiteta uređaja, komunikacijskih i kriptografskih ključeva i vjerodajnica za provjeru autentičnosti.
- Međusobna provjera autentičnosti uređaja i mreže.
- Snažna i učinkovita kriptografija koja osigurava komunikacijske kanale.⁷

Sigurnosne značajke specifične za NB-IoT uređaje:

1. **Sigurni komunikacijski kanali** odnose se na enkripciju podataka od ulaska na mrežnu infrastrukturu do izlaska iz mreže kako bi se osigurao integritet podataka. Postoji nekoliko načina koje koriste mobilni operateri:
 - Najsigurniji, ali ujedno i najkompleksniji način jest korištenje posebnog komunikacijskog kanala koji zaobilazi javnu mrežu interneta. Ovaj način najčešće koriste velike tvrtke s velikim brojem uređaja od velike važnosti. Primjer takve komunikacije je (engl. *Multiprotocol Label Switching* - MPLS).
 - Drugi je način korištenje tunelskih protokola poput (engl. *Layer two Tunneling Protocol* - L2TP) ili korištenje internet protokola IPsec koji stvara VPN tunel, koji pruža veliku razinu fleksibilnosti i jednostavnosti konfiguracije i uporabe.
 - Treći način namijenjen je stvaranju sigurne veze između korisničke opreme i korisnikova aplikacijskog servera koristeći protokole poput (*Datagram Transport Layer Security* - DTLS) ili (engl. *Battery Efficient Secure Transport*) BEST protokol.

Navedeni protokoli su prikazani na slici 4.4.



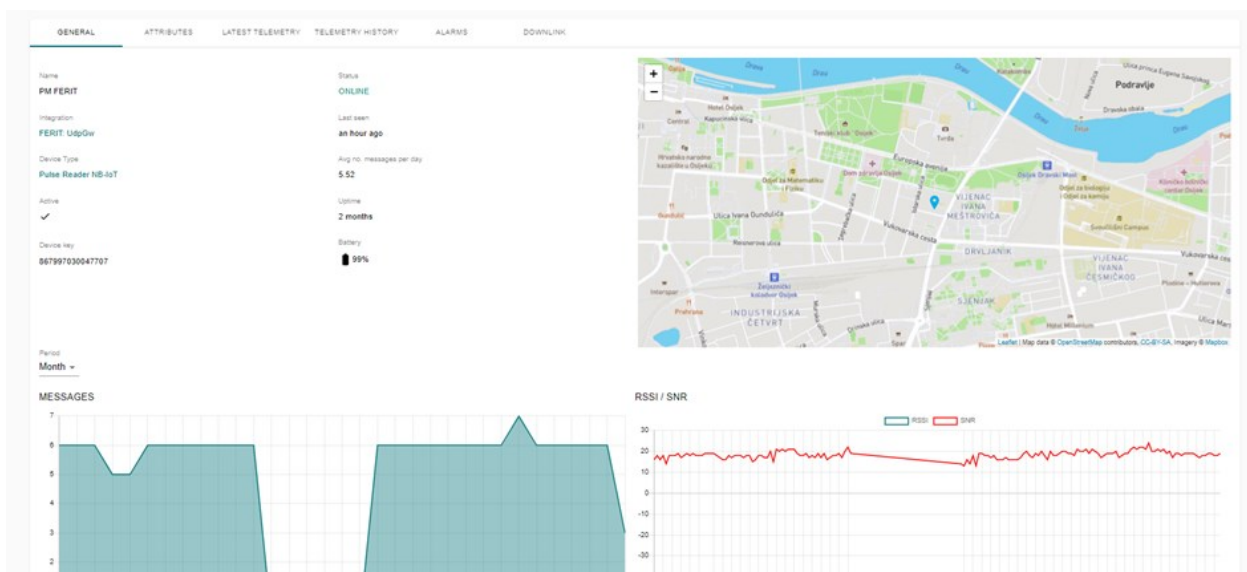
Slika 4.3. prikazuje različite načine povezivanja i protokole korištene za komunikaciju između NB-IoT uređaja i korisnikova aplikacijskog servera.

2. **Dopušteni komunikacijski kanali** odnose se na komunikaciju samo s prethodno definiranim aplikacijskim serverima. Obično postoji samo nekolicina servera s kojima uređaj treba komunicirati. Primjerice, jedan server za očitavanje senzora, drugi server za slanje alarma i treći za slanje softverske nadogradnje na krajnji uređaj. Zbog toga je dobra sigurnosna praksa ograničiti komunikacijsku sposobnost tog uređaja na specifične URL-ove ili IP adrese dodijeljene tim serverima, odnosno u slučaju proboja ostalih razina sigurnosti kompromitirani uređaji ne bi se mogao koristiti u zlonamjerne svrhe prema trećim stranama. Zaraženi uređaji s prethodno definiranim komunikacijskim kanalima i dalje se mogu koristiti za eskalaciju napada unutar mreže kojoj pripadaju, stoga je potrebno implementirati i ostale mrežne zaštite.
3. **Podatci preko NAS-a** (engl. *Data over NAS - DoNAS*) je optimizacija kontrolne ravnine koja koristi signalne poruke za prijenos manjih količina podataka koristeći nepristupačni sloj (engl. *Non-access Stratum – NAS*) koji ima istu visoku razinu sigurnosti kao i mrežna signalizacija zbog korištenja istih sigurnosnih protokola.
4. **Dostava podataka bez IP adrese** (engl. *Non-IP Data Delivery - NIDD*) uveden je kao zamjena za IP pakete zbog veličine IP zaglavlja koji je nepraktičan za slanje malih količina podataka, te se koristi u kombinaciji s DoNAS tehnologijom.
NIDD podržava dva načina korištenja:

- Podatkovni prijenos koristeći pristupnik za posluživanje od točke do točke (engl. *Point to Point Serving Gateway* - PtP SG) i tunel do aplikacijskog servera, odnosno uređaj može komunicirati samo s prethodno definiranim aplikacijskim serverima.
- Podatkovni prijenos koristeći SCEF koji pruža mogućnost sigurnog izlaganja usluge koristeći sučelja za programiranje aplikacija (engl. *Application Programming Interfaces* - API), koja omogućavaju pristup samo aplikacijskim serverima koji su ovlašteni za pristup.

5. PRIMJER NB-IoT SUČELJA

U svrhu što bržeg implementiranja i lakog održavanja NB-IoT uređaja i ostale potrebne infrastrukture potrebno je implementirati korisničko sučelje koje može korisnike upozoriti na probleme koji su nastali, kao i pružiti jednostavno sučelje pomoću kojeg je moguć jednostavan nadzor sustava. Početna stranica jednog takvog sustava je prikazana na slici 5.1., gdje je prikazana najbitnija telemetrija uređaja poput: lokacije, broja poruka u stogu, Indikacija jačine primljenog signala (engl. *Received Signal Strength Indication* - RSSI), Omjer signala i šuma (engl. *Signal to Noise Ratio* - SNR), postotak baterije, ime i slično.



Slika 5.1. početna stranica NB-IoT sučelja.

Na slici 5.2. je vidljiv prikaz najaktualnije telemetrije koju je uređaj poslao. Telemetrija se sastoji od imena (varijable), vrijednosti i vremenske oznake, što pruža prilagodljivost u prikazu i sortiranju podataka. Telemetrija se može podijeliti na osnovnu telemetriju i mjerenja. Osnovna telemetrija kao što je razina baterije, IMSI, kvaliteta signala i slično služi za održavanje i provjeru statusa i funkcionalnosti uređaja, dok se mjerenja mogu razlikovati ovisno o svrsi uređaja. Neki od primjera uređaja su prikazani na slici 5.3. Prikupljene podatke je moguće izvesti u obliku

datoteke podataka odvojenih zarezom (engl. Comma Separated Values – CSV) te raditi dalju analizu podataka kao što je vidljivo iz tablice 5.1.

GENERAL	ATTRIBUTES	LATEST TELEMETRY	TELEMETRY HISTORY	ALARMS	DOWNLINK
Name		Value			Updated at
ack_received		1			2/21/2022, 12:09:16 PM
band		20			2/21/2022, 12:09:16 PM
batt		100			2/21/2022, 12:09:16 PM
batt_voltage		3.636			2/21/2022, 12:09:16 PM
battery		99			2/21/2022, 12:09:16 PM
d1		0			2/21/2022, 12:09:16 PM
d1_measurement		0.00			2/21/2022, 12:09:16 PM
device_uptime		2.82			2/21/2022, 12:09:16 PM
ecl		0			2/21/2022, 12:09:16 PM
frame_counter		203			2/21/2022, 12:09:16 PM
imsi		219101136242960			12/7/2021, 2:55:30 PM
rsrp		-59			2/21/2022, 12:09:16 PM
rsrq		-7			2/21/2022, 12:09:16 PM
rssi		-48			2/21/2022, 12:09:16 PM
snr		19			2/21/2022, 12:09:16 PM
temperature		24			2/21/2022, 12:09:16 PM
tx_power		17			12/9/2021, 10:50:36 AM
user_triggered		0			2/21/2022, 12:09:16 PM

Slika 5.2. prikaz zadnje telemetrije koju je poslao određeni uređaj.

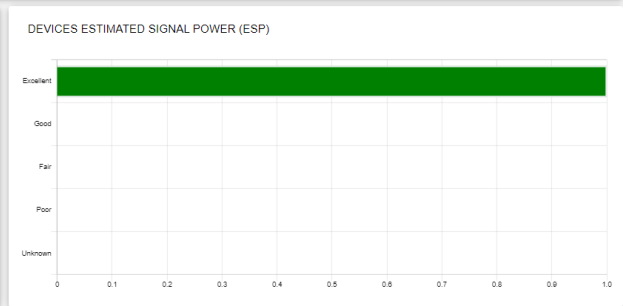
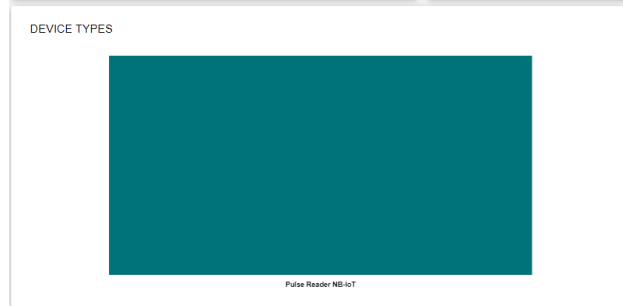
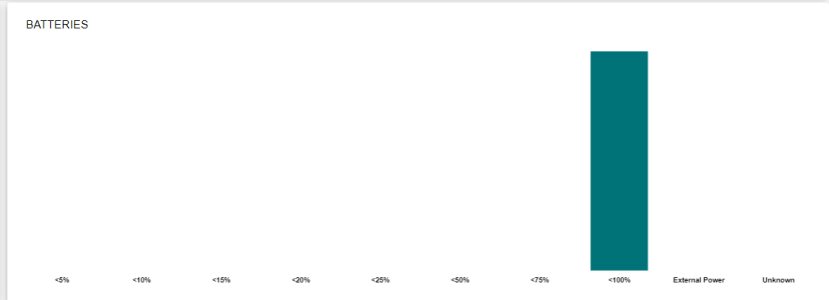
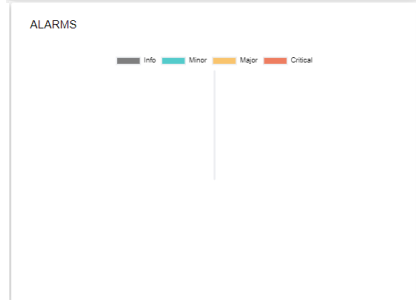
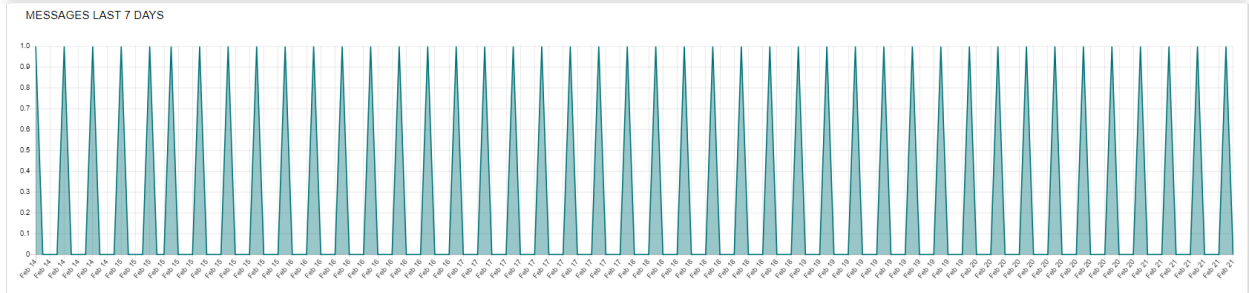
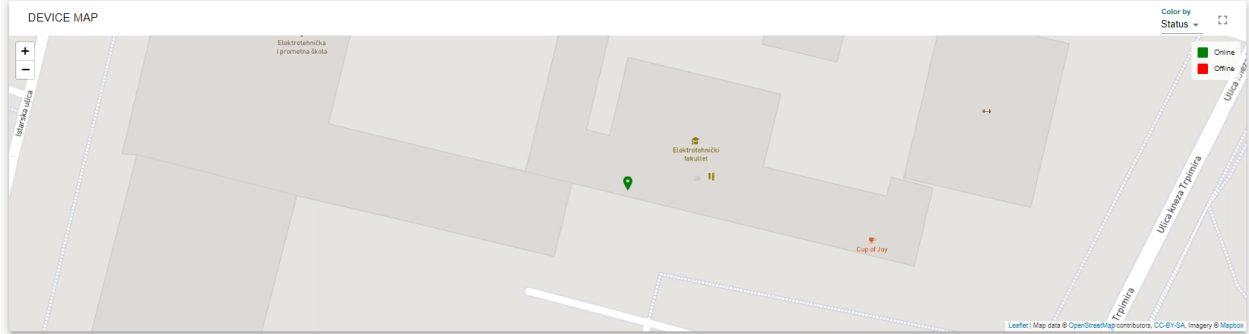
Name	Manufacturer	Type	Created at	Updated at ↓	
Pulse Reader	Telemetris	Catalog	3/16/2020, 7:30:39 AM	2/13/2022, 8:27:44 PM	SHOW
Buoy Tracker Divers	Telemetris	Catalog	1/15/2022, 10:37:55 PM	1/26/2022, 1:10:10 PM	SHOW
Pulse Reader NB-IoT	Telemetris	Custom	12/7/2021, 11:52:37 AM	12/7/2021, 12:19:25 PM	SHOW
Sigfox Gasmeter 1.0	Telemetris	Custom	3/26/2021, 4:17:44 AM	8/2/2021, 12:15:49 PM	SHOW
ETK Water Quality Sensor	Telemetris	Catalog	3/14/2021, 10:36:13 PM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
GPS Tracker v1.4	Telemetris	Catalog	7/30/2020, 3:30:28 AM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
Gas Meter 1.3	Telemetris	Catalog	9/13/2020, 10:32:03 PM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
GPS Tracker v1.5, v1.6	Telemetris	Catalog	7/30/2020, 3:30:28 AM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
GPS Tracker v2.0	Telemetris	Catalog	7/30/2020, 3:30:28 AM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
Distance Meter	Telemetris	Catalog	5/16/2020, 4:12:15 PM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
WMC 1.0	Telemetris	Catalog	3/14/2021, 10:36:13 PM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
Gas Meter	Telemetris	Catalog	3/16/2020, 7:30:39 AM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
GPS Tracker	Telemetris	Catalog	5/16/2020, 2:59:31 PM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
Zhaga 18	NAS	Catalog	8/2/2020, 7:42:20 PM	7/25/2021, 9:12:05 PM	SHOW
Digital Scale	Telemetris	Catalog	3/23/2021, 12:23:55 AM	3/23/2021, 12:56:05 AM	SHOW
ETK Water Quality Sensor	Telemetris	Catalog	11/16/2020, 11:15:12 PM	11/22/2020, 12:19:06 AM	SHOW
Calcosonic W1	Axioma	Catalog	3/16/2020, 7:30:39 AM	6/9/2020, 1:48:48 AM	SHOW

Slika 5.3. primjeri uređaja koje je moguće spojiti na IoT sučelje.

Tablica 5.1. primjer dijela ispisa CSV datoteke u tabličnom obliku

Name	Value	createdAt
battery	99	2022-02-21T11:09:16.000Z
frame_counter	203	2022-02-21T11:09:16.000Z
rsrq	-7	2022-02-21T11:09:16.000Z
ack_received	1	2022-02-21T11:09:16.000Z
rsrp	-59	2022-02-21T11:09:16.000Z
band	20	2022-02-21T11:09:16.000Z
d1	0	2022-02-21T11:09:16.000Z
batt_voltage	3.636	2022-02-21T11:09:16.000Z
device_uptime	2.82	2022-02-21T11:09:16.000Z
d1_measurement	0	2022-02-21T11:09:16.000Z
batt	100	2022-02-21T11:09:16.000Z
rsqi	-48	2022-02-21T11:09:16.000Z
temperature	24	2022-02-21T11:09:16.000Z
user_triggered	0	2022-02-21T11:09:16.000Z
snr	19	2022-02-21T11:09:16.000Z
ecl	0	2022-02-21T11:09:16.000Z

Posljednja stranica vidljiva na slici 5.2. pruža opći pogled na stanje cjelokupnog sustava kao što je: broj i stanje uređaja, broj kritičnih i novih alarma, broj poruka, broj uređaja s baterijama ispod 5 posto. Uz to vidljivi su i grafički prikazi: geografskog položaja krajnjih uređaja na karti, primljenih poruka u zadnjih 7 dana, tipa alarma, stanja baterija na krajnjim uređajima, tipova uređaja i procijenjene snage signala.



Slika 5.2. Grafički prikaz podataka IoT uređaja.

6. ZAKLJUČAK

Cilj ovog završnog rada je bio definirati pojam uskopojasnih internet stvar, odnosno skupa tehnologija koje se koriste za povezivanje i očitavanje željenih vrijednosti nadziranog sustava.

Objašnjene su brojne tehnologije koje su dovele do razvitka NB-IoT-a. Implementacija velikog broja IoT funkcija u već iznimno razvijene i rasprostranjene LTE i 5G mreže, kao i korištenje licenciranog spektra je iznimna prednost koje ostale IoT tehnologije nemaju. Jedna od prednosti Nb-IoT-a naspram ostalih rješenja je softverska implementacija pristupnika u već postavljene i široko rasprostranjene LTE i 5G mreže, a samim time je eliminirana potreba za postavljanjem zasebnih fizičkih pristupnika. LTE i 5G mreže donose odličnu kvalitetu usluge NB-IoT-u koja je u rangu s ostalim mobilnim uređajima, a rezultat je široke pokrivenosti i korištenja licenciranog spektra koji je manje podložan smetnjama i varijabilnosti signala nego nelicencirani spektar koji koriste ostale IoT tehnologije. Operaterima se također pruža velika fleksibilnost implementacije NB-IoT-a u vidu raznih implementacija unutar korištenog spektra operatera, kao i mogućnost prijenosa NB-IoT podataka koristeći upravljačku ravninu.

Jedna od bitnih karakteristika NB-IoT uređaja je iznimno dug vijek trajanja baterije koji omogućuje jednostavnije održavanje krajnjih uređaja. Tehnologije za uštedu energije poput PSM-a i eDRX-a kao i niske razine PAPR-a su omogućile nisku potrošnju energije krajnjeg uređaja, a samim time i dug vijek trajanja baterije.

NB-IoT uređaji također moraju ispuniti stroge sigurnosne zahtjeve, a da pri tome ne naruše zahtjeve trajanja baterije, što je dovelo do pojednostavljivanja i optimizacije svih metoda zaštite uređaja. Neke od novih tehnologija koje su nastale kao rezultat tih zahtjeva su NIDD i DoNAS koje se koriste za sigurno slanje male količine podataka koje generiraju krajnji uređaji.

U zadnjem poglavlju je vidljiv i primjer grafičkog sučelja kojeg korisnici NB-IoT usluge mogu koristiti za očitavanje podataka, nadzor i kontrolu krajnjih uređaja. Moguće je kreirati grafičke prikaze podataka s uređaja kao i izvesti te podatke u odgovarajućim formatima poput CSV-a.

LITERATURA

1. A. Koike, T. Ohba, R. Ishibashi, IoT Network Architecture Using Packet Aggregation and Disaggregation, 2016 5th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics, DOI 10.1109/IIAI-AAI.2016.221, str. 1 – 6, Lipanj, 2016
2. K. Patel, S. Patel, Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges, International Journal of Engineering Science and Computing, str. 1 – 9, Svibanj 2016
3. An introduction to the IoT technology stack and its components, i – scoop, Brisel, Belgija, 2020, dostupno na: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/iot-technology-stack-devices-gateways-platforms/> [27.6.2022]
4. F. Assaderaghi, G. Chindalore, B. Ibrahim, H. Jong, M. Joye, S. Nassar, W. Steinbauer, M. Wagner, T. Wille, Privacy and Security: Key Requirements for Sustainable IoT Growth, Symposium on VLSI Technology Digest of Technical Papers, 978-4-86348-605-8, str 1 – 6, San Jose, USA.
5. LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) radio transmission and reception, ETSI, Sophia Antipolis Cedex, Francuska, V. 14.5.0, str. 40, Studeni, 2017.
6. NB-IoT explained: a complete guide to Narrowband-IoT, i – scoop, Brisel, Belgija, 2020, <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/lpwan/nb-iot-narrowband-iot/> [27.6.2022.]
7. Low Power Wide Area Technology, Thales, Paris, France, 2020, dostupno na: <https://www.thalesgroup.com/en/markets/digital-identity-and-security/iot/resources/innovation-technology/low-power-wide-area-technology> [27.6.2022.]
8. E. Migabo, K. Djouani and A. Kurien, "A Modelling Approach for the Narrowband IoT (NB-IoT) Physical (PHY) Layer Performance," IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 2018, DOI: 10.1109/IECON.2018.8591281.
9. Y. Eric Wang, X. Lin, A. Adhikary, A. Grövlén, Y. Sui, Y. Blankenship, J. Bergman, H. Razaghi, A Primer on 3GPP Narrowband Internet of Things(NB-IoT), IEEE Communications Magazine, No: 3, Vol: 55, str. 1 – 7, Ožujak, 2017.
10. LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) radio transmission and reception, ETSI, Sophia Antipolis Cedex, Francuska, V. 15.3.0, str. 42, Listopad, 2018.

11. LTE Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) radio transmission and reception, ETSI, Sophia Antipolis Cedex, Francuska, V. 13.6.1, str. 47, Ožujak, 2017.
12. Baza radiofrekvencijskog spektra za javne pokretne komunikacijske mreže (GSM/UMTS/LTE), Hrvatska regulatorna agencija za mrežne djelatnosti, kolovoz. 2021
13. H. Asplund, D. Astely, P. Butovitsch, T. Chapman, M. Frenne, F. Ghasemzadeh, M. Hagström, B. Hogan, G. Jöngren, J. Karlsson, F. Kronestedt, E. Larsson, Advanced Antenna Systems for 5G Network Deployments, Elsevier, 2020.
14. B. Martinez, , F. Adelantado, A. Bartoli, X. Vilajosana, Exploring the performance boundaries of NB-IoT, IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(3), 5702-5712.

SAŽETAK

Rad definira Internet stvari, tehnologije koje su dovele do naprednih IoT uređaja današnjice zajedno s prikazom podjele IoT sustava po slojevima. Definirani su pojmovi mreže niske snage i široke pokrivenosti (LPWAN) i područja uporabe IoT uređaja, opisani su načini implementacije NB-IoT načina komunikacije u postojećim LTE i 5G mrežama, zajedno s potrebnim frekvencijskim opsezima, tehnologijama za uštedu energije i novim sigurnosnim značajkama prilagođenim NB-IoT uređajima. U zadnjem poglavlju je prikazan i objašnjen primjer korisničkog sučelja koje kontrolira i prikazuje podatke o spojenim NB-IoT uređajima.

Ključne riječi: NB-IoT, LPWA, IoT frekvencijski opseg, IoT sigurnost, IoT sučelje, PAPR, PSM

ABSTRACT

The paper defines the Internet of Things, technologies that have led to the advanced IoT devices of today, along with an overview of the division of IoT systems into layers. The concepts of low-power wide-area network (LPWAN) and the areas of use of IoT devices are defined, the ways of implementing NB-IoT communication modes in existing LTE and 5G networks are described together with the necessary frequency bands, energy-saving technologies and new security features adapted by NB -IoT devices. In the last chapter, an example of a user interface that controls and displays data about connected NB-IoT devices is presented and explained.

Keywords: NB-IoT, LPWA, IoT frequency range, IoT security, IoT interface, PAPR, PSM

ŽIVOTOPIS

Ivan Babić je rođen u Slavonskom Brodu 11. prosinca 1997 godine. Pohađao je gimnaziju u Županji, prirodoslovno - matematički smjer, nakon čega upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijek, smjer računarstva. Od 2020 godine radi kao inženjer za sigurnost.