Karakteristike LPWAN tehnologije za potrebe razvoja IoT mreže

Gavrilović, Karlo

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:051495

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Karlo Gavrilović

KARAKTERISTIKE LPWAN TEHNOLOGIJE ZA POTREBE RAZVOJA IoT MREŽE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Arhitektura telekomunikacijske mreže**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6135

Pristupnik: **Karlo Gavrilović (0135251591)**
Studij: Promet
Smjer: Informacijsko-komunikacijski promet

Zadatak: **Karakteristike LPWAN tehnologije za potrebe razvoja IoT mreže**

Opis zadatka:

U radu je potrebno objasniti značenje paradigme Interneta stvari. Opisati arhitekturu mreže Interneta stvari. Analizirati karakteristike i napraviti usporedbu LPWAN tehnologija. Navesti primjere iz prakse.

Mentor:

doc. dr. sc. Ivan Forenbacher

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

KARAKTERISTIKE LPWAN TEHNOLOGIJE ZA POTREBE RAZVOJA IoT MREŽE

CHARACTERISTICS OF LPWAN TECHNOLOGY FOR IoT NETWORK DEVELOPMENT PURPOSES

Mentor: doc. dr. sc. Ivan Forenbacher

Student: Karlo Gavrilović

JMBAG: 0135251591

Zagreb, rujan 2021.

Karakteristike LPWAN tehnologije za potrebe razvoja IoT mreže

Sažetak

Ovaj završni rad prikazuje osnovne značajke LPWAN tehnologije za potrebe razvoja mreže Interneta stvari (*Internet of Things*, IoT). LPWAN tehnologija je bežična komunikacijska tehnologija s velikim dometom i malom potrošnjom električne energije. Nadalje, rad prikazuje osnovnu arhitekturu IoT koncepta koja je potom generalizirana na LPWAN mreže. Zaključno, usporedbom karakteristika i načina upotrebe vidljivo je da LPWAN tehnologija prikazuje znatno unaprjeđenje u odnosu na prijašnje tehnologije što se reflektira i na brojne scenarije korištenja.

Ključne riječi:

IoT (Internet stvari), LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), bežične mreže, senzori.

Summary

This bachelor thesis shows main features of LPWAN technology necessary for Internet of Things (IoT) development. LPWAN is a long-range wireless communication technology characterized by low energy consumption. Additionally, thesis describes basic architecture of IoT concept which is later generalized to LPWAN networks. By comparing LPWAN characteristics and applications it is evident that LPWAN represents a big step forward in comparison with similar technologies which reflects on wide range of use-case scenarios, as well.

Keywords:

IoT(Internet of things), LPWAN (Low-Power Wide-Area Network), wireless networks, sensors,

Sadržaj

1.Uvod 1

2. Paradigma Internet of Things 3

2.1 Tehnologije koje su pokrenule razvoj IoT-a 3

2.1.1 RFID 4

2.1.2 M2M 5

2.1.3 SCADA 6

2.2 Primjena IoT rješenja 6

2.2.1 Industrijska primjena 7

2.2.2 Infrastrukturna primjena 9

2.2.3 Komercijalna primjena 10

2.2.4 Potrošačka primjena 11

2.2.5 Primjena i vrste senzora 12

3. Arhitektura mreže Internet of Things 14

3.1 Mrežni elementi arhitekture Internet of Things 15

3.2 IoT referentni model 16

3.3 *Connectivity* – komunikacijski segment 17

3.3.1 Bežične mreže velikog dometa 18

3.3.2 Bežične mreže srednjeg dometa 19

3.3.3 Bežične mreže kratkog dometa 19

4.Karakteristike LPWAN tehnologije 21

4.1 LPWAN arhitektura 21

4.2 LPWAN topologija 22

4.3 Značajke LPWAN tehnologije 23

5.Usporedba LPWAN tehnologija 25

5.1 NB-IoT 25

5.2 SigFox 27
5.3 LoRaWAN 28
5.4 Analiza LPWAN tehnologija 30
6.Primjeri korištenja IoT i LPWAN rješenja iz prakse 32
6.1 Zagrel Rittmeyer 32
6.2 Kopenhagen 32
6.3 Barcelona 33
6.4 Amsterdam 33
6.5 Hrvatski primjeri 34
7. Zaključak 35
Literatura 36
Popis slika 41
Popis Tablica 42

1.Uvod

Brzim razvojem tehnologije uveliko se pomaže čovjeku u obavljanju svakodnevnih aktivnosti i zadaća, kao što je kontrola životne sredine, upravljanju gradovima i upravljanje raznim uređajima. *Internet of Things* (IoT*)* ili Internet stvari je zasnivan na bežičnoj komunikaciji u pristupnom dijelu mreže, potiče i istraživanje novih tehnologija koje se pojavljuju na svjetskom tržištu. Uz integraciju velikog broja raznih senzora u fokusu istraživanja predstavljaju korištenje minimalne infrastrukture primjenom bežične tehnologije za velike površine s velikim dometom, a male potrošnje električne energije i relativne niske cijene.

WAN (engl. *Wide Area Network),* mreža širokog područja definirana je kao mreža za prijenos podataka koje pokriva široko zemljopisno područje. LPWAN (engl. *Low-Power Wide Area Network)* je WAN tehnologija, te predstavlja mrežu širokog područja pokrivanja s malom potrošnjom električne energije i relativno male izlazne snage uređaja. LoRa, Sigfox i NB-IoTsu jedne od postojećih LPWAN platformi s najvećim prodorom na svjetsko tržište i stalnim razvojem.

U ovom završnom radu cilj je analizirati glavne karakteristike LPWAN tehnologije u kontekstu mreže IoT te napraviti usporedbe LPWAN tehnologija.

Završni rad se sastoji od 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Paradigma Internet of Things
3. Arhitektura mreže Internet of Things
4. Karakteristike LPWAN tehnologije
5. Usporedba LPWAN tehnologije
6. Primjeri iz prakse
7. Zaključak

U drugom poglavlju analizira se pojam Internet of Things. Tu je opisano što je Internet of Things i gdje se koristi. Ukratko je napravljena podjela primjene IoT na područja primjene. Uz samu podjelu u ovom poglavlju opisane su također najznačajnije tehnologije unutar IoT.

Treće poglavlje analizira arhitekturu mreže IoT. U poglavlju je opisana podjela arhitekture IoT koncepta na 7 slojeva OSI referentnog modela i opisan svaki sloj. Također poglavlje se sastoji od više manjih podnaslova vezanih za mrežnu arhitekturu IoT koncepta i opisane su vrste tehnologija koje tvore mrežnu arhitekturu.

Četvrto poglavlje obuhvaća karakteristike LPWAN tehnologije i opisuje topologiju unutar mreže, te prikazuje detaljan opis što predstavlja LPWAN tehnologija.

Peto poglavlje odnosi se na tehnologije LPWAN mreže i njihove tehnološke značajke. Napravljena je usporedba između tih tehnologija prema osnovnim karakteristikama, te su prikazane prednosti i mane prema zahtjevima aplikacija.

Šesto poglavlje obuhvaća Primjere primjene IoT koncepta unutar RH i u velegradovima svijeta. Prikazane su razne mogućnosti koje su olakšale svakodnevicu uvođenjem IoT koncepta unutar grada.

2. Paradigma Internet of Things

IoT ili Internet stvari je relativno nov termin i područje koje predstavlja interakciju računala i čovjeka. Postoje različite definicije mreže IoT . Jedan od tih, primjerice, definira IoT kao mrežu fizičkih objekata, koji koriste različite tehnologije za međusobnu interakciju sa web servisima ali i s drugim računalnim aplikacijama, [11].

Sastavni dijelovi mreže IoT su: fizički uređaji, senzori, razni elektronički sklopovi, te sam Internet što donosi cjelinu koja međusobno komunicira i razmjenjuje razne podatke. Zastupljenost i razvoj samog koncepta IoT primarno je omogućen i podupiran razvojem informacijsko-komunikacijskih tehnologija. U nastavku su najznačajnije od tih tehnologija navedene i opisane.

2.1 Tehnologije koje su pokrenule razvoj IoT-a

Povećanjem digitalne pismenosti i prihvaćanjem tehnologija u suvremenom društvu slijedilo je znatno unaprjeđivanja tehnologija i proširenja cijelog koncepta IoT na puno veću razinu. Same tehnologije su svakim unaprjeđenjem donijele olakšan rad ljudima i jednostavniju komunikaciju. Unaprjeđenjem razmjene podataka između uređaja i senzora, sve je veći broj praktičnih primjena koje se mogu pronaći u proširenju cjelokupnog koncepta IoT područja. Razvitkom tehnologija srodnih IoT dodatno su proširile mogućnosti primjene. Međutim, tehnologije koje se prethodile svemu tome i koje se nazivaju začetnice koncepta IoT, prema [44], su: RFID (engl. *Radio Frequency Identification System*), M2M (engl. *Machine to machine*), SCDA (engl. *Supervisory control data and acauistition*).

2.1.1 RFID

RFID je bežična tehnologija koja primarno služi za automatsku identifikaciju različitih objekata. RFID je pomogao razvitku IoT sustava zbog mogućnosti rada i nadzora na daljinu i automatizacije sustava u kojem se koristi. RFID se koristi u: promatranju, nadziranju i identifikaciji stvari u stvarnom i automatskom vremenu, kontroli pristupa, bezgotovinskom plaćanju, identifikaciji opreme, identifikaciji vozila i u industriji [31].

RFID funkcionira na tri radne frekvencije, a to su: (1) niskofrekventni spektar koji radi na frekvenciji od 125 kHz 134 kHz i nije osjetljiv na interferencije, pa s tim ima mogućnost da radi u okruženju s metalima i tekućinom, (2) visokofrekventni spektra koji radi na frekvenciji od 13,56 MHz, te ima mogućnost rada u okruženju s metalima i tekućinom, (3) ultra visokofrekventni spektar koji radi na frekvenciji od 860 do 960 MHz, te u odnosu na prethodne dvije ima poteškoća u radu u okruženju s metalima i tekućinama [32].

RFID tehnologija se koristi za automatsko identificiranje objekata, prikupljanju podataka o njima i unosu podataka izravno u računalne sustave uz malo ili bez ikakve ljudske intervencije. RFID metode koriste radijske valove da bi se takav način rada postigao.

Princip rada RFID uređaja funkcionira tako da: čitač emitira energiju, kada oznaka primi energiju čitača odgovara čitaču, čitač pretvara radio valove u nule i jedinice, te podaci u binarnom obliku putuju prema *middlewareu*[1] kroz mrežu i nakon filtracije pristiglih podataka, *middleware* prosljeđuje podatke prema aplikacijskom softveru,[32].

RFID se sastoji od 3 komponente, a to su: RFID oznake, čitač i antena. Oznake predstavljaju nositelja informacije i dijele se na 3 vrste, a to su: aktivne (koriste vlastito napajanje, bateriju), polu-aktivne (baterija pogoni samo čip) i pasivne (koriste isključivo energiju čitača/antene). Čitač pretvara radio valove u korisniji oblik podataka i identificira objekt. Antene odašilju signal potreban za rad RFID.

[1] Middleware – softver koji omogućuje međusobnu komunikaciju između različitih aspekata aplikacija.

2.1.2 M2M

M2M je tehnologija koja omogućuje komunikaciju milijardu uređaja i strojeva koji su povezani s internetom i jedni s drugima. Razvojem M2M krenuo je i razvoj IoT-a. M2M tehnologija predstavlja drugačije povezivanje današnjeg koncepta IoT-a, jer se M2M tehnologija primjenjuje na: strojevima, hardveru, radu u zatvorenim sustavima, ne koriste IP-protokole i koriste jednosmjernu komunikaciju,[2].

Glavna svrha M2M je dohvatiti podatke senzora i prenijeti ih u mrežu. M2M koristi javne/postojeće mreže kako bi bio isplativiji. M2M sustavi koriste komunikaciju *point-to-point* između: strojeva, senzora i hardvera putem bežičnih (ćelijskih) ili ožičenih mreža. Glavne komponente M2M sustava uključuju: senzore, RFID, Wi-Fi ili bežičnu (ćelijsku) komunikaciju i softversku podršku,[33].

Prednosti M2M tehnologije donijele su:

- Smanjeni troškovi minimiziranjem održavanja opreme i zastoja.
- Mala potrošnja električne energije.
- Sposobnost kontinuiranog slanja i primanja malih količina podataka.
- Vremenska kontrola, što znači da se podaci mogu slati ili primati samo u unaprijed određenim razdobljima.
- Nadzorne sposobnosti koje pružaju funkcionalnost za otkrivanje nastalih događaja.

M2M tehnologija svoju svrhu pronašla je u: daljinskom praćenju (prodajni automati), sigurnosti (šifriranje), telemedicini (praćenje vitalnih statistika) i mobilnom plaćanju. Sama primjena M2M tehnologije donijela je i velik doprinos u realan sektor. Jedno područje u kojem je to posebno vidljivo su komunalne tvrtke jer im omogućuje: prikupljanje podataka o korištenim energetskim resursima, poput nafte i plina, te detekciju tlaka, temperature i statusa opreme,[33].

2.1.3 SCADA

SCADA je sustav za kontrolu procesa i prikupljanja podataka s udaljenih lokacija, te nadziranje istih u stvarnom vremenu u industrijskom sektoru.

SCADA tehnologija se sastoji od hardverske i softverske opreme. Softver se nalazi instaliran na uređaju koji posjeduje hardverske komponente za slanje i prikupljanje podataka, te softver obrađuje i prikazuje podatke usmjerene u komunikaciji. Osnovna SCADA arhitektura započinje logičkim kontrolerima (PLC). PLC je mikroračunalo koje komunicira s nizom objekata kao što su, primjerice, senzori, a zatim usmjerava informacije s tih objekata na računalo pomoću softvera,[3].

SCADA sustav je razvijen za nadzor i kontrolu velikih procesnih postrojenja. Primjer velikog procesnog postrojenja su bunari koji proizvode i skupljaju naftu i plin. Drugi primjer su veliki prijenosni sustavi koji distribuiraju električnu energiju,[3].

2.2 Primjena IoT rješenja

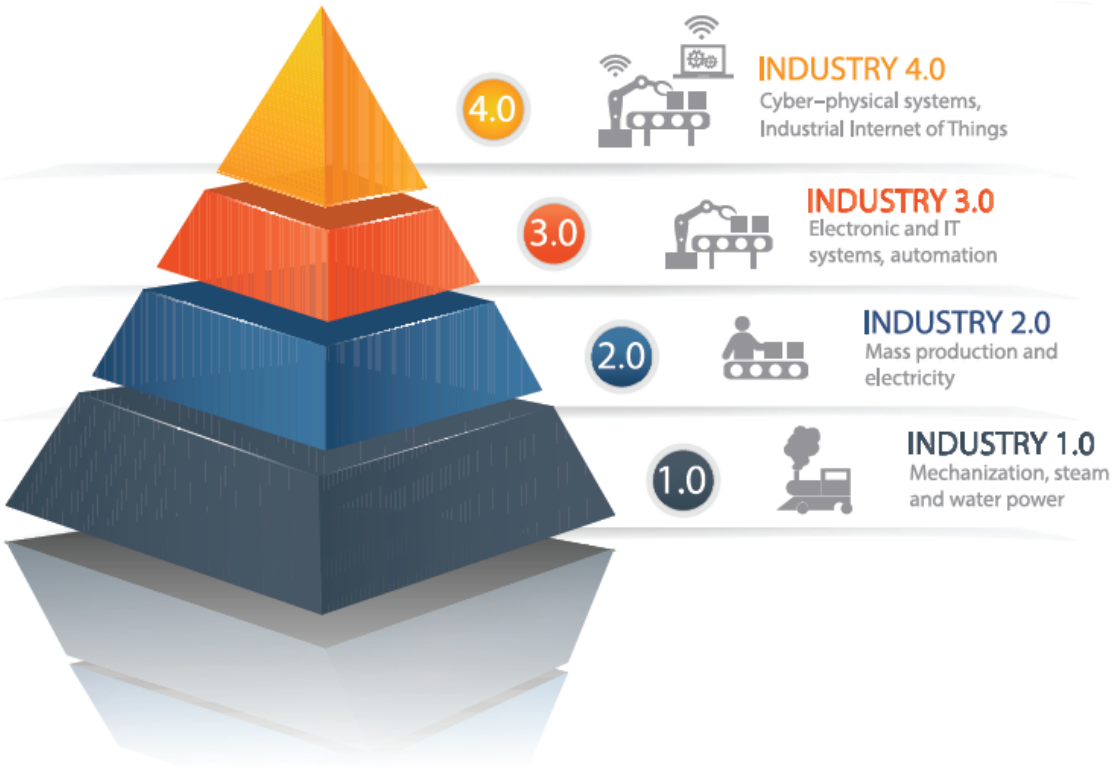
IoT rješenja primjenjuju se u raznim djelatnostima i područjima. Najčešća podjela IoT rješenja smatra se na: potrošačke, komercijalne, infrastrukturne i industrijske primjene. IoT rješenja omogućuju brojne potencijalne uštede, te pružaju nadzor i upravljanje udaljenim pristupom i praćenje bitnih parametara u svim primjenama istog,[19],[20].

Uvođenjem IoT rješenja ljudi su potaknuti za inovacijama i korištenju sustava. Inovacije su donijele znatna poboljšanja i povezivanje čak i cijelih gradova, kuća, garaža i parkinga. Samo uvođenje takvih sustava donosi jednostavnije snalaženje i smanjenje gužvi. Pametni gradovi prikazali su kako povezivanjem uređaja donosi pametno trošenje energetskih resursa, povećanu sigurnost, lakšu mobilnost i lakše kretanje vozilom kroz grad. U nastavku su detaljnije opisane primjene IoT-a.

2.2.1 Industrijska primjena

Mrežnom kontrolom, upravljanjem proizvodnom opremom i kontrolom proizvodnih procesa dolazi do primjene IoT rješenja u pametnu proizvodnju i u područja industrijskih aplikacija. Pomoću raznih opremljenih uređaja sa senzorskim, procesnim, komunikacijskim, mrežnim i identifikacijskim uslugama i mogućnostima IoT sustavi donijeli su bržu proizvodnju, jednostavnije i efikasnije odgovore na zahtjeve proizvoda i samim time umrežavanje strojeva za rad, senzora i pokretačkih sustava u jednu cjelinu kako bi se postigla efikasnost i brzina rada samog sustava [19].

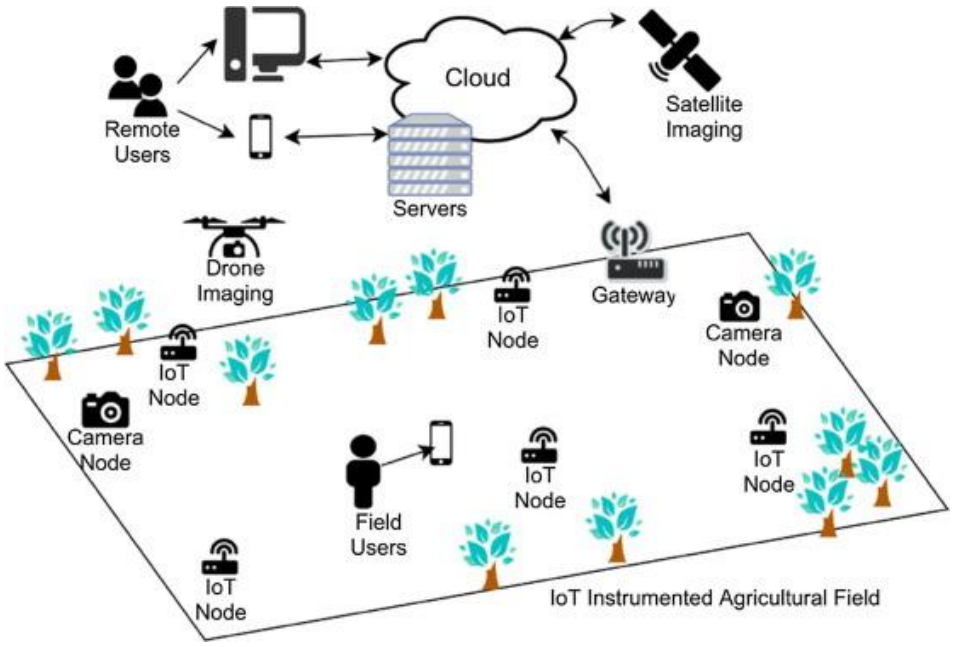
Industrija 4.0, četvrta industrijska revolucija, je pojam koji uključuje primjenu IoT tehnologija u industrijskom sektoru za potrebe veće automatizacije procesa, s ciljem omogućavanja autonomnih procesa u sklopu donošenja odluka i nadziranja u realnom vremenu. Na slici 1 prikazane su četiri industrijske revolucije u redu kojim su nastale i njihova svrha.



Slika 1.Prikaz četiri industrijske revolucije, izvor:[35].

Jedan od primjera primjene industrijskog IoT rješenja, nalazi se i unutar sektora poljoprivreda koji se vrlo često naziva i Agrikultura 4.0. Upotreba IoT rješenja u poljoprivredi donijela je veliku pomoć zbog prikupljanja podataka o vremenskim uvjetima, temperaturi, sadržaju tla za uzgoj, vlažnosti zraka i tla, koncentraciji štetočina i sl. Dobivenim podacima poljoprivreda može napredovati u znatnom pomaku i brzini uz minimalne rizike događaja nezgode i lošeg usjeva. IoT rješenja donose informacije za kvalitetniji uzgoj sa smanjenjem napora za radnike. Podaci koji stignu pomažu u računanju stvari potrebnih za upravljanjem usjevom s preciznim programima, te korekciju nekog nastalog problema u zemlji ili dolaska iz zraka na daljinu u kratkom vremenu,[7],[20].

Na slici 2. prikazan je primjer shematskog prikaza implementacije IoT sustava u poljoprivredi. Sustav je vidljivo raspodijeljen na različite senzore koji prikupljaju podatke. Uređaji su povezani na Internet putem prilaznog uređaja. Virtualni entitet prikazan kao računalni oblak predstavlja programsku platformu koja održava podatke o uređajima, sprema podatke dobivene iz senzora te ih obrađuje.



Slika 2. Prikaz IoT rješenja u poljoprivredi, izvor:[36]

2.2.2 Infrastrukturna primjena

Infrastrukturnom primjenom smatra se korištenje IoT rješenja za: nadzor i kontrolu održive i ruralne infrastrukture, za praćenje događaja i promjena u uvjetima koji donose neki rizik i smanjuju sigurnost same infrastrukture (mostova, željezničkih pruga i semafora). Takva primjena donosi određene prednosti, poput: učinkovitije planiranje infrastrukture, te i samo održavanje iste.

Primjerice, IoT rješenje u infrastrukturi donosi: realizaciju i osiguranje pristupa brodovima željenom mjestu, željezničke pruge donose nesmetan rad i poboljšanu kvalitetu prijevoza samih vlakova što donosi i koordinaciju za hitne intervencije, te smanjenje troškova u svim područjima. Infrastrukturna primjena donijela je i mnogo prednosti u realan sektor. Primjer realnog sektora gdje se još IoT koristi je građevina jer omogućuje građevinskim tvrtkama smanjenje vremena potrebnog za izvedbu projekta, povećanje produktivnosti, uštedu značajnog novca,[4],[6].



Slika 3. Prikaz pametnog grada, izvor:[26].

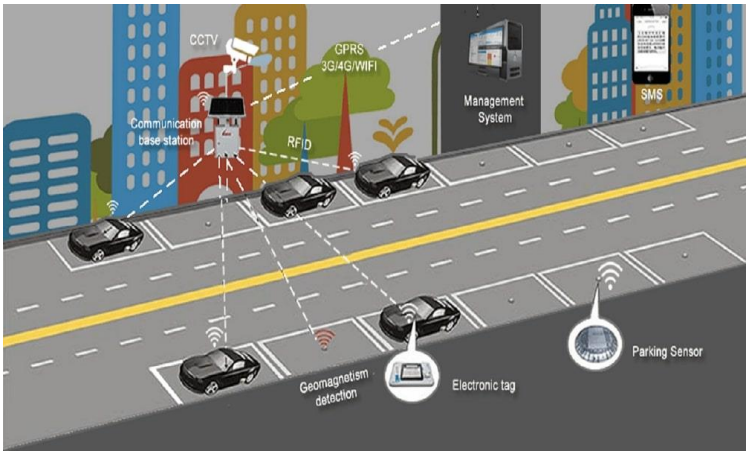
Na slici 3. Plan uvođenja IoT-a u infrastrukturu grada Nova Gradiška.

2.2.3 Komercijalna primjena

Komercijalna primjena IoT rješenja je prisutna u zdravstvu, u transportu i upravljanju logistikom i samim voznim parkom. U komercijalnoj primjeni IoT je donio značajan utjecaj na jednostavniju korekciju i preglednost uređaja, te i samo praćenje istih.

U medicini IoT rješenja su donijela ogromna olakšanja i za radnike i same pacijente. Mogućnost prikupljanja podataka i analizu istih donijela je digitalizaciju cijelog sustava gdje povezuje medicinske sestre, doktore, laboratorije i ljekarne za uvid u medicinske resurse i usluge. Korištenjem uređaja medicinsko osoblje dobilo je uvid u praćenje zdravlja pacijenata i za udobnost pacijenata. Bolnice su uvele pametne krevete kako bi mogle znati koji krevet je spreman za upotrebu. Ugrađivanjem implantata i narukvica na pacijente medicinsko osoblje ima mogućnost praćenja otkucaja srca na daljinu kao i uvođenje obavijesti da pacijent mora obaviti nuždu. Uvođenje IoT rješenja u zdravstvo donijelo je znatnu prevenciju i kontrolu bolesti,[4].

Kod transportnih sustava IoT rješenja dovode znatnu pomoć u kontroli i obradi informacija i komunikaciju između povezanih sustava. Povezivanjem vozila s tvrtkom donijelo je poboljšanje pregleda i stanja vozila, te i točno mjesto na kojem se vozilo nalazi. Uvođenjem lokacije vozila u sustave pomaže u komunikaciji u slučaju sudara, tako da prijevozno sredstvo automatski javlja potrebu za pomoć na cesti. Pametnim parkiranjem, uvođenjem sustava naplate cestarine i upravljanje cijelim voznim parkom donosi sigurniju i jednostavniju upotrebu cijelog transportnog sustava kako je i prikazano na slici 4,[4].



Slika 4. Prikaz IoT upravljanja u prometu, izvor [40].

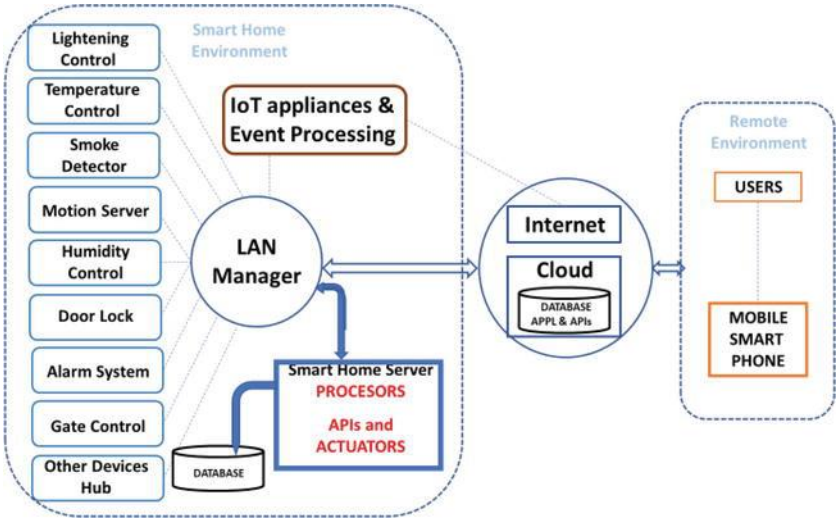
2.2.4 Potrošačka primjena

Potrošačka primjena IoT rješenja nastala je zbog velikog broja spajanja uređaja, te kako se u vlastitom domu koristi mnogo uređaja najbolja rješenje je uvođenje pametnih domova (engl. *Smart homes*) koji će imati najveću potrošačku primjenu.

Projekt *Smart home* spajao bi uređaje koji bi korisnik mogao upaliti i ugasiti iako nije kod kuće . Povezivanjem uređaja na mrežu, te da zajedno komuniciraju korisniku bi pomoglo u svakodnevnom životu gdje bi, primjerice, mogao saznati preko mobilnog uređaja je li ugasio klimatizacijski uređaj prije odlaska na posao.

Sustavi pametnog doma sadrže ogroman broj senzora i kamera kako bi korisnik mogao pristupiti svakom uređaju i upravljati njime. Primjer otvaranja garažnih vrata i ulaznih vrata pritiskom gumba koji se povezani s paljenjem grijanja i otvaranja roleta na kući dok je korisnik pametnog sustava na putu s posla donosi znatno uživanje i komociju vlastitog doma, te znatno olakšava obaveze nakon cijelog dana provedenog u obavezama. Projekt Smart home povezivanjem senzora i kamera nudi i sigurnost pri kojom javlja da je otkrio i neovlašten upad u kuću i pljačku kako bi korisnik mogao i reagirati ako je kilometrima daleko,[4],[9],[20].

Na slici 5. Prikazana je upotreba mobilnog uređaja putem kojeg se upravlja procesima unutar kuće, uključujući paljenje i gašenje svijetla, zaključavanje i otključavanje kuće, dizanje i spuštanje roleta.



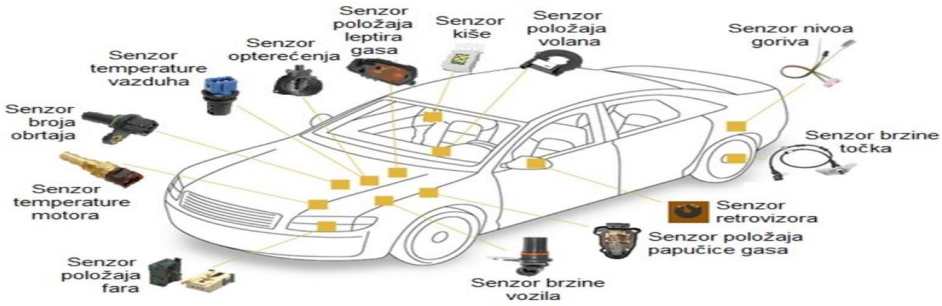
Slika 5. Prikaz primjene IoT u pametnim kućama, izvor:[41]

2.2.5 Primjena i vrste senzora

Ključni uređaj rada i funkcionalnosti unutar IoT sustava je senzor. Cijela komunikacija IoT- a počinje skupljanjem informacija od strane senzora i njihovog slanja na mrežni dio IoT sustava. Senzori su povezani s IoT mrežom i glavna svrha je prikupljanje podataka iz okoline. Razne uloge senzora zahtijevaju i različite tipove senzora koji se dijele na digitalne i analogne senzore. Digitalni senzori su jednostavni i povezuju se na sabirnice pomoću mikro kontrolera koji im omogućuju rad i prikupljanje podataka. Analogni senzori koriste se kao pretvarači gdje moduliraju podatke za izlaz prema mreži,[9].

Korištenje senzora i samo povezivanje donijelo je mogućnost spajanja senzora za razne stvari u transportu, kućanstvu, medicini, industriji i cijeloj mreži. Senzori koji se najčešće koriste unutar IoT mreže su:

- Senzor tlaka
- Senzor ubrzanja
- Senzor plinova
- Senzor pokreta
- Senzor dima
- Senzor temperature
- Senzor vlage
- Senzor blizine
- Senzor zvuka
- Senzor pritiska
- Infracrveni senzor



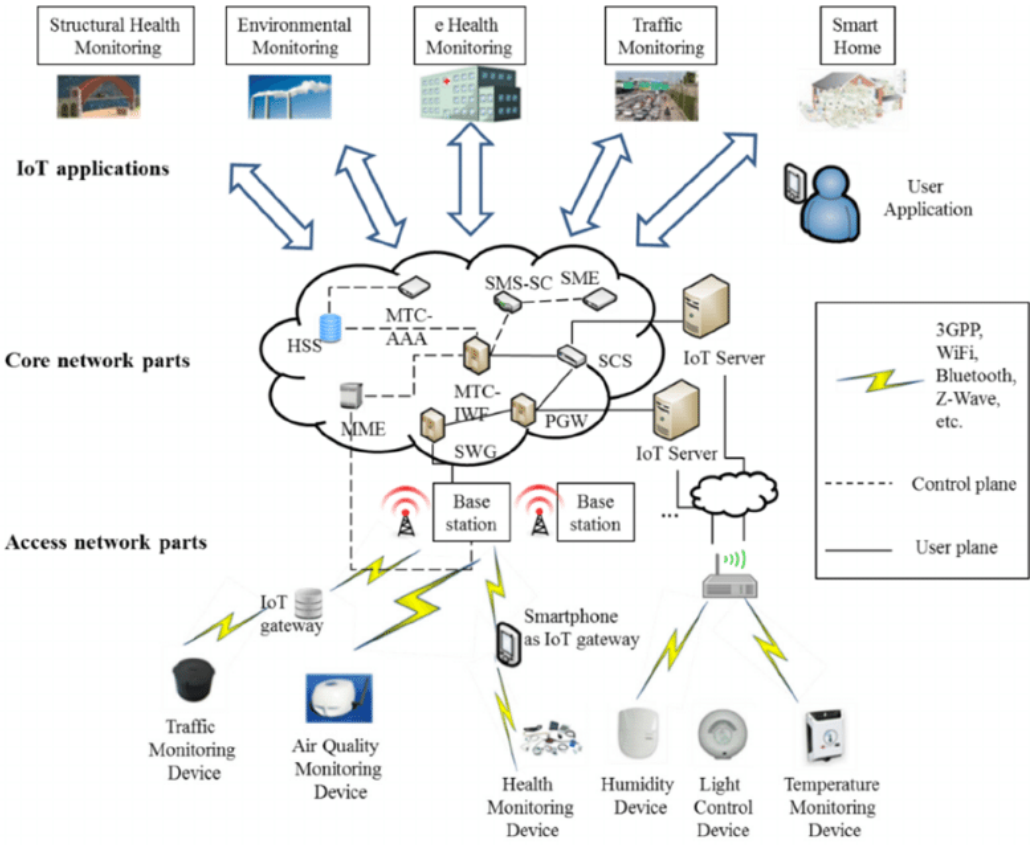
Slika 6. Prikaz vrsti senzora na automobilu, izvor:[27]

Na slici 6. Prikazane su vrste senzora koje se primjenjuju na automobilima, te slika prikazuje značenje i svrhu takvih senzora u svakodnevnom životu.

3. Arhitektura mreže Internet of Things

Kako bi navedene primjeri različitih primjena IoT rješenja iz prethodnog poglavlja (2.2), potrebno je razumjeti sastavne elemente arhitekture mreže IoT. Opći prikaz arhitekture IoT koncepta zasniva se na korištenju različitih bežičnih tehnologija u kojem se različite komponente IoT-a međusobno povezuju. IoT arhitektura se sastoji od: (1) korisničkog, (2) pristupnog i (3) jezgrenog dijela u kojima mrežni elementi međusobnom komunikacijom i radom odrađuju i olakšavaju prijenos podataka u realnom vremenu. U nastavku su navedeni i objašnjeni dijelovi IoT arhitekture.

Slika 7. Prikazuje arhitekturu IoT koncepta, te osnovne dijelove potrebne za rad. Također, slika prikazuje podjelu mreže na: jezgrenu (*core network parts*), pristupnu (*access network parts*) i korisničku mrežu (razni uređaji na dnu slike 7).



Slika 7. Opća arhitektura Internet stvari, izvor:[37].

3.1 Mrežni elementi arhitekture Internet of Things

Korisnički dio mreže predstavlja stranu korisnika i u nju spadaju svi terminalni uređaji, senzori i aplikacije koje korisnik koristi. Na slici 7. prikazani su mrežni elementi unutar korisničkog dijela mreže, a to su: senzori (primjerice, topline, svjetlosti ili upravljanja prometom), uređaji (klimatski uređaji i mobilni uređaji), te aplikacije (praćenja zdravlja čovjeka i praćenje zagađivanja zraka).

Pristupni dio mreže predstavlja poveznicu između jezgrenog i korisničkog dijela mreže, te dio mreže koji je spojen na korisničke uređaje. U pristupnom dijelu mreže, koji se vrlo često naziva *connectivity*, egzistiraju komunikacije tehnologije poput LPWAN, Wi-Fi ili mobilne tehnologije. U pristupnom dijelu mreže nalaze se pristupne točke, koje se još nazivaju različitim terminima, poput bazne stanice ili pristupnikom (engl. *Gateway*), ovisno o komunikacijskoj tehnologiji koja se koristi. Pristupna točka služi kako bi prikupila podatke od senzora i distribuirala ih dalje u jezgrenu mrežu.

Jezgreni dio mreže predstavlja središnji dio komunikacijske mreže, te taj dio mreže omogućuje usmjeravanje i prijenos informacija između 2 rubna dijela. Jezgreni dio mreže unutar arhitekture IoT koncepta čini oblak (engl. Cloud), kao posrednik u komunikaciji, mora omogućiti razmjenu poruka između korisnika i stvari, pohranjivati i obrađivati dobivene poruke, te izvoditi programske akcije. Također, oblak mora biti stalno dostupan kako bi mogao omogućiti razmjenu informacija u bilo kojem trenutku.

Mrežni elementi unutar clouda prikazani su slikom 7. i primarno uključuju mrežne elemente 4G mreže: IoT server, PGW (*packet data network gateway*) odgovoran je za dodjelu IP adresa uređajima, SWG (*Serving Gateway*) je interface između pristupnog i jezgrenog dijela mreže, MME (*Mobility Managment Entity*) koji je odgovaran za autentifikaciju i povezanost s mrežom. Iako je slikom 7. prikazana povezanost pristupnog dijela mreže s 4G jezgrenim dijelom, u današnje vrijeme taj dio se sve više zamjenjuje 5G mrežom.

3.2 IoT referentni model

IoT generira veliku količinu podataka koje generiraju senzori, te se podaci prijenose na različite načine i na različite lokacije. Zbog takvog načina prijenosa podataka, IoT zahtijeva drugačiji model komunikacije i obrade podataka. Postoje razne vrste i tipovi IoT arhitekture, ali 2014. godine donesena je standardizirana arhitektura od *Internet of Things World Forum* (IoTWF) kojeg čine tvrtke poput Cisco-a i IBM-a što je olakšalo daljnju implementaciju i interoperabilnost IoT mreže. Standardizirana arhitektura prikazuje referentni model od sedam slojeva navedenih u tablici 1.

Tablica 1. Prikaz 7 slojeva IoTWF referentnog modela i njihovu primjenu.

Slojevi modela	Primjena
1. Sloj fizičkih uređaja i kontrolera	Generiranje podataka i mogućnost pretraživanja putem mreže
2. Sloj povezanosti	Pouzdanost i pravovremeni prijenos podataka
3. Rubni sloj	Obrada podataka što bliže rubu mreže
4. Sloj akumulacije podataka	Pohrana podataka za potrebe aplikacije
5. Sloj apstrakcije podataka	Usklađivanje formata podataka
6. Aplikacijski sloj	Interpretacija podataka kroz razne aplikacije
7. Sloj suradnje i obrade	Dijeljenje podataka o aplikaciji

Izvor: [34]

Prvi sloj je fizičkih uređaja i kontrolera (engl. *Physical Devices and Controllers Layer*). Ovaj sloj uključuje razne krajnje uređaje i senzore koji primaju i šalju informacije. Uređaji koji se nalaze na ovom sloju mogu se kretati od mikroskopskih senzora do divovskih strojeva. Primarna funkcija uređaja unutar sloja je generiranje podataka i mogućnost upravljanja putem mreže,[34].

Drugi sloj je sloj povezanosti (engl. *Connectivity Layer).* Ovo je jedan od najvažnijih slojeva unutar kojeg egzistiraju različite komunikacijske tehnologije. Sloj se proteže od sredine čvora uređaja, pa sve do transporta na cloud. Mnoge se alternative mogu koristiti za komunikaciju, a ovaj sloj uključuje i različite logičke i fizičke topologije,[34]. Više o samoj konektivnosti u poglavlju 3.3.

Treći sloj je rubni sloj (engl. Edge Computing Layer). Ovaj sloj ima namjenu za obradu informacija što bliže rubnom dijelu mreže i pretvaranju podataka u informacije koje su spremne za obradu viših slojeva,[34].

Četvrti sloj je sloj akumulacije podataka (engl*. Data Accumulation Layer).* Najvažnija funkcija ovog IoT sloja je bilježenje podataka i pohranjivanje tako da ih po potrebi mogu koristiti aplikacije,[34].

Peti sloj je sloj apstrakcije podataka (engl. *Data Abstraction Layer*). Svrha ovog sloja je usklađivanje više formata podataka i osiguravanje konzistentne semantike iz različitih izvora,[34].

Šesti sloj je aplikacijski sloj (engl. *Applications Layer*). Na ovom sloju naglasak je na interpretaciji podataka pomoću softverskih aplikacija. Aplikacije mogu kontrolirati, nadzirati i pružati izvješća na temelju analize podataka,[34].

Sedmi sloj je sloj suradnje i obrade (engl. *Collaboration and Processes Layer*). Funkcija ovog sloja je konzumiranje i dijeljenje podataka o aplikaciji. Ovaj sloj može učinkovito iskoristiti vrijednost IoT u svrhu gospodarskog rasta i boljeg poslovanja,[34].

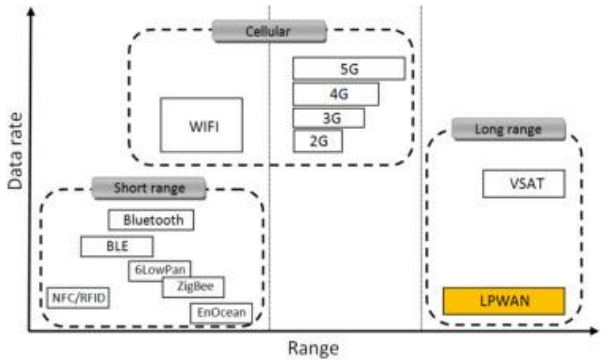
3.3 *Connectivity* – komunikacijski segment

Connectivity je najvažniji dio unutar IoT koncepta jer je njen cilj spojiti sve uređaje unutar mreže. Bez odgovarajućeg komunikacijskog segmenta koji ima kohezijsku ulogu, svi ostali mrežni elementi gube funkciju. Upravo taj dio zna biti jedna od najslabijih karika jer vrlo često predstavlja „usko grlo“ u smislu nepovoljnih vrijednosti raznih komunikacijskih parametara poput propusnosti, latencije, načina prijenosa (žični/bežični) ili pogreške u prijenosu (BER) koji mogu utjecati na pragmatični sadržaj informacije

Povezivanje velikog broja uređaja uvelike je olakšala primjena bežične komunikacijske tehnologije. Bežična komunikacijske tehnologije omogućuju, prije svega, jednostavnost, praktičnost i nešto niže troškove u odnosu na žične alternative.

Slikom 8. su prikazane primarne bežične tehnologije koje se koriste u današnjim senzorskim mrežama. Na x-osi se nalazi njihov domet (*range*), a na y-osi kapacitet prijenosa

(*data rate*) koji je ostvariv određenom tehnologijom. Za detaljnije značajke o svakoj tehnologiji vidjeti poglavlja 3.3.1 - 3.3.3.



Slika 8. Prikaz tehnologija koje se koriste unutar određenog dometa mreže, izvor:[39]

3.3.1 Bežične mreže velikog dometa

Bežične mreže velikog dometa predstavljaju mreže koje pokrivaju široka područja udaljenosti u desecima kilometara uz korištenjem vrlo male snage. Postoje dvije primarne tehnologije koje se koriste u bežičnim mrežama velikog dometa, a to su: LPWAN i VSAT.

LPWAN (engl. *Low-Power Wide-Area Network*) predstavlja tehnologije koje omogućuju bežični prijenos uz relativno malu izlaznu snagu uređaja i malog kapaciteta prijenosa na velike udaljenosti. LPWAN tehnologija podržava udaljenost u rasponu do 40 km, te je pogodan za IoT primjenu gdje je potrebno slati iznimno male količine podataka uz ograničenost resursa. LPWAN tehnologija mora osigurati atribute pojedine aplikacije vezane uz glavne karakteristike. Glavne karakteristike LPWAN tehnologije su: pokrivenost, cijena, kapacitet i rad malom snagom. Najznačajnije tehnologije današnjice su: SigFox, LoraWAN i NB-IoT. Također, tehnologije su objašnjene u daljnjem radu (vidjeti poglavlje 4).

VSAT (engl. *Very small aperture terminal*) predstavlja zemaljsku postaju male veličine koja komunicira pomoću satelitske tehnologije koristeći antene u promjeru od 1,2 metra do približno 3 metra. VSAT se sastoji od dva dijela: primopredajnika postavljenog vani na izravnoj vidljivosti prema satelitu i uređaja koji je postavljen u zatvorenom prostoru radi povezivanja primopredajnika s komunikacijskim uređajem krajnjeg korisnika, poput računala. Uloga VSAT-

a je prijenos i primanje podataka, te glasovnih i video signala putem satelitske komunikacijske mreže ,[4].

3.3.2 Bežične mreže srednjeg dometa

Bežične mreže srednjeg dometa predstavljaju mrežu koja omogućuje veće brzine prijenosa i razmjenu multimedijskog sadržaja. Primarna tehnologija koja u kombinaciji s IoT nudi bezbroj mogućnosti proizvođačima uređaja na temelju povezivanja uređaja s internetom koje stvaraju ogromnu novu učinkovitost za dom i poslovanje naziva se *Long Term Evolution* (LTE).

LTE je naziv sustava četvrte generacije mobilne telefonije koji donosi velike brzine prijenosa uz manje greške u prijenosu. Omogućuje znatno veće kapacitete koji se zasnivaju na modulacijskim tehnikama (OFDM i MIMO) za prijenos informacija u sustavu. OFDM (engl. *Orthogonal Frequency-division multiplexing*) je frekvencijski multipleks ortogonalnih podnosilaca. OFDM modulira prijenosni signal na više podnosilaca kako bi se ostvarila veća otpornost na pogreške u prijenosu. MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*) predstavlja tehnologiju koja omogućuje slanje nezavisnog sadržaja na istoj frekvenciji između dva uređaja.

LTE tehnologija je svojim proširenjem u IoT koncept, uvela proširenu verziju LTE tehnologije naziva LTE Advanced. LTE Advanced predstavlja poboljšanu verziju LTE-a sa: bržim protokom informacija, manjom latencijom i većim brzinama prijenosa informacija za mobilne uređaje i njihovu komunikaciju,[4]

3.3.3 Bežične mreže kratkog dometa

Bežične mreže kratkog dometa predstavljaju mrežu koja omogućuje prijenos podataka na udaljenosti od svega par centimetara do nekoliko desetaka metara. Takva mreža nudi kvalitetan prijenos, ali glavni problem su prepreke, npr. zidovi kuće. Neke od primarnih tehnologija koje se koriste u bežičnim mrežama kratkog dometa navedene su i opisane u nastavku:

- Bluetooth (IEE 802.15.1) - je način umrežavanja i razmjene podataka između 2 ili više uređaja u razmaku do 10 metara oko uređaja
- WI-FI (IEE 802.11) - je tehnologija za lokalno umrežavanje gdje uređaji komuniciraju preko pristupne točke ili izravno između uređaja.
- RFID (IEE 802.15) - predstavlja tehnologiju za čitanje podataka pohranjenih u oznakama druge stavke koja se iščitava putem elektromagnetskog polja
- NFC (IEE 802.2) - predstavlja komunikacijski protokol koji omogućuje kratku komunikaciju 2 uređaja u rasponu od 4 cm
- ZigBee (IEE 802.15.4) - predstavlja komunikacijski protokol za umrežavanje uz nisku potrošnju električne energije, nisku cijenu i s velikom propusnošću,[4].

Iznimno je bitno odabrati odgovarajuću komunikacijsku tehnologiju za isporuku inovativnih jer će IoT uskoro rezultirati milijardama povezanih krajnjih uređaja ili senzora u skorijoj budućnosti, a koji već i danas nailazi na sve više praktičnih primjena u mnogim područjima, poput već spomenuti promet, zdravstvo, sigurnost, praćenje imovine, poljoprivredu, pametno mjerenje, pametne gradove i pametne domove, te industriju 4.0.

Zbog toga, od svih spomenutih bežičnih tehnologija, LPWAN tehnologija je bitan čimbenik u kontekstu IoT-a jer nudi bezbroj mogućnosti povezivanja uređaja na malim i velikim dometima. Detaljniji pregled LPWAN tehnologija i analiza njihovih najznačajnijih karakteristika nalazi se u sljedećem poglavlju.

4.Karakteristike LPWAN tehnologije

LPWAN je vrsta bežične mreže i predstavlja tehnologije koje su dizajnirane kako bi omogućavale komunikaciju s relativno malim brzinama prijenosa podataka između povezanih uređaja na velikim udaljenostima uz malu potrošnju električne energije što omogućuje veliku autonomnost krajnjih uređaja (senzora).

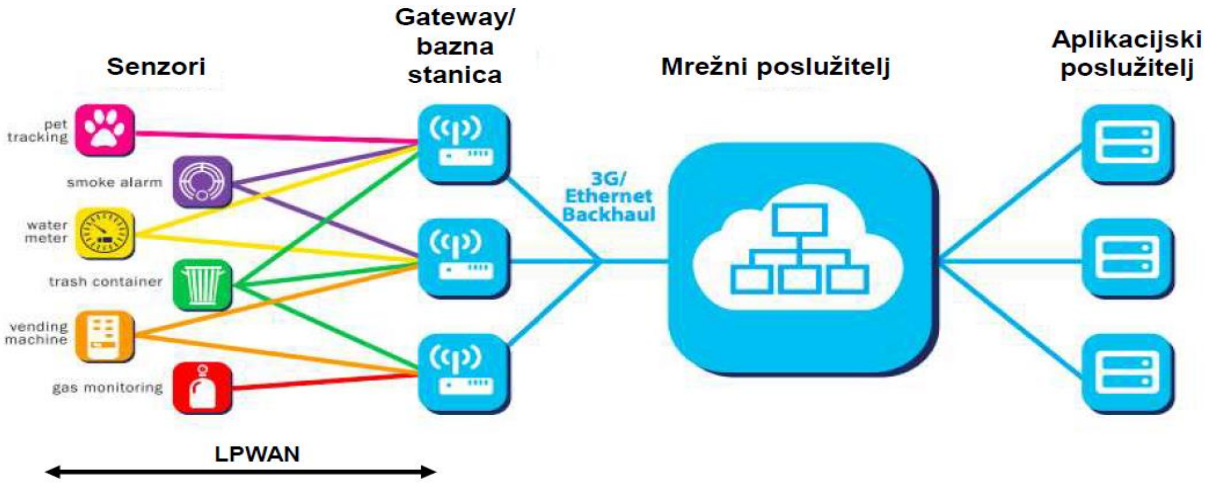
Mali kapacitet prijenosa, relativno mala izlazna snaga uređaja i mala potrošnja električne energije određuju dizajn tehnologije za, primjerice, teško dostupna mjesta, a koji razlikuju ovu vrstu mreže od ostalih bežičnih tehnologija, kao što su tehnologije za mobilni podatkovni prijenos koje povezuju velik broj korisnika, omogućuju višestruku veći kapacitet ali i manju autonomnost krajnjih uređaja.

LPWAN tehnologija se koristi za kreiranje privatnih bežičnih mreža senzora. Većina raznih pametnih gradova i aplikacija vezanih za njih, kao što su senzori vlage, pametna mjerenja i pametna parkiranja zahtijevaju vrlo niske brzine prijenosa podataka i cijene uređaja. LPWAN tehnologije pronalaze primjenu unutar takvih zahtjeva, zbog: mogućnosti implementiranja velikog broja uređaja, mogućnosti pokrivanja cijelog grada mrežom i prihvatljive ponude cijene mrežnih elemenata za takvu primjenu,[17].

4.1 LPWAN arhitektura

LPWAN tehnologija za potrebe implementacije na određeno područje mora uvesti potrebne mrežne elemente kako bi nesmetano radila, a elementi koje LPWAN tehnologija koristi za implementaciju unutar mreže su: senzori (krajnji uređaji koji služe za detekciju događaja od interesa), pristupne točke (koje služe za prosljeđivanje prometa na prijelazu iz pristupne u jezgrenu mrežu, i obrnuto), mrežni poslužitelji (koji služe za pohranu podataka) i aplikacijski poslužitelji (koji služe za softverska rješenja koja podacima prikupljenima od senzora daju dodatnu vrijednost),[17].

Na slici 9. prikazan je koncept arhitekture LPWAN mreže i međusobna povezanost mrežnih elemenata.



Slika 9. Arhitektura LPWAN senzorske mreže, izvor:[17].

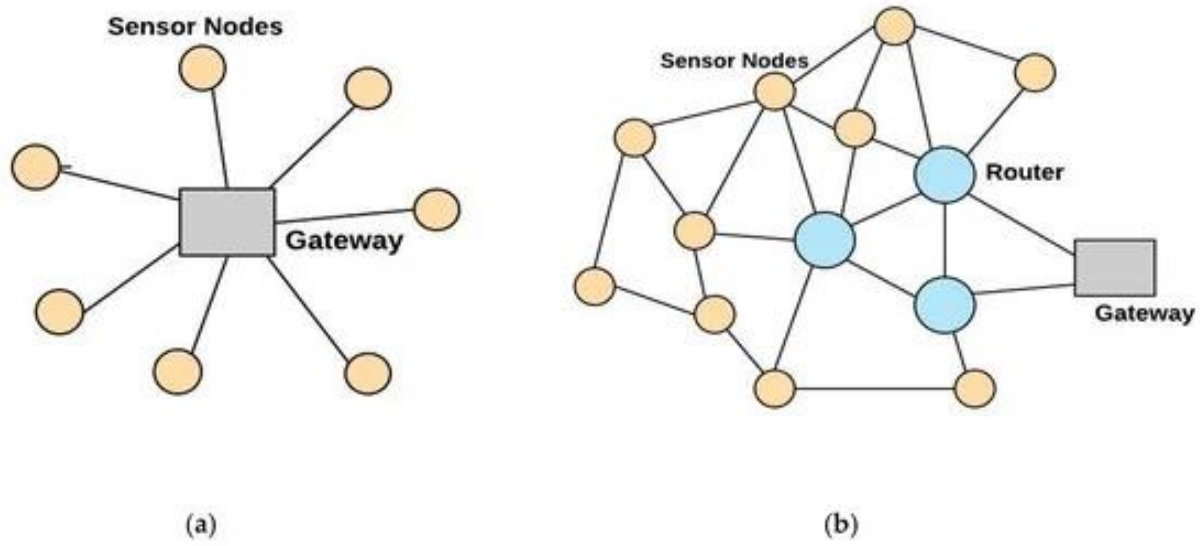
4.2 LPWAN topologija

Naglašene topologije su zvijezda i mreža (engl. *mesh*). Topologija zvijezde ili povezanost dviju topologija zvijezde i zvijezde, zbog svojih prednosti očuvanja razine baterije, poželjnije su za LPWAN u odnosu na mesh. Pristup velikom broju čvorova i smanjenjem troškova pomoću navedenih topologija omogućuju udaljeno povezivanje LPWAN-a. Međutim, bežične tehnologije poput Bluetooth-a i Wi-Fi-a, nisu namijenjene za široku pokrivenost područja, te nisu primjenjive izravno kao LPWAN,[29].

Najjednostavniji oblik topologije bežične mreže je *point-to-point* komunikacija pri kojoj čvorovi imaju mogućnost izravnog komuniciranja sa pristupnom točkom. Takav način komunikacije može biti koristan u opasnim situacijama i teško dostupnim mjestima, primjerice, planine na kojima su potrebni izvještaji o stanju kontrole zraka. LPWAN tehnologije koje imaju potrebu za rad u takvim situacijama topologiju zvijezda, kao što je prikazano na slici 10a.

Topologija zvijezde sastoji se od središnjeg čvora s kojim se povezuju svi ostali čvorovi. Čvorovi svoju međusobnu komunikaciju uspostavljaju samo preko pristupne točke. Poruke čvora prenose se na baznu stanicu putem pristupnika. Svaki krajnji čvor prenosi poruke na jedan ili više pristupnika. Pristupnik prosljeđuje poruke mrežnom poslužitelju, gdje se izvode razne sigurnosne provjere, provjeru pogreške i redundancija. Topologija zvijezde sastoji se od čvorova senzora i pristupnika,[29].

Mesh topologije predstavljaju brže i pouzdanije prijenose komunikacije. Neispravni čvorovi unutar topologije, vrlo lako se mogu ukloniti u slučaju pogreške. Međutim, ako pristupnik ne uspije ukloniti čvor, svi čvorovi unutar topologije povezani s njim postaju nedostupni za komunikaciju. Budući da krajnji čvor šalje poruke na više pristupnika, nema potrebe za provedbom komunikacije između 2 ili više pristupnika. *Mesh* topologija sastoji se od pristupnika, čvorova senzora i povezanih čvorova za usmjeravanje senzora, kao što je prikazano na slici 10b.,[29].



Slika 10. Topologija zvijezda i topologija mesh unutar LPWAN tehnologije, izvor:[29].

4.3 Značajke LPWAN tehnologije

Pokrivenost velikog dometa je uz malu potrošnju električne energije najbitnija karakteristika za sve LPWAN primjene, pa je stoga utvrđeno da je od velike važnosti za većinu njih, poput onog u vodnom prometu, gdje senzori agregiraju informacije o vodostaju rijeke, kako bi brodovi mogli nesmetano putovati.

Nedostatak električne energije na nedostupnim mjestima ili potreba za senzorima koje neće biti potrebno često mijenjati potaknuli su razvoj mreže sa senzorima (krajnjim LPWAN uređajima) relativno male izlazne snage, visoke energetske učinkovitosti i male potrošnje. U

situacijama nedostupnih mjesta primjene, različiti senzori su daleko, pa su s toga potrebne baterije koje zadovoljavaju potrebu rada bez punjenja više od 10 godina,[29]

U mnogim slučajevima aplikacije s enormnim brojem uređaja zahtijevaju vrlo jeftine uređaje zbog masovne ugradnje, npr. brojila u kućanstvima. Također, pametne kuće koriste određen broj uređaja, te se cjenovni atribut bilježi kao od niske važnosti za takvu primjenu,[29].

U tablici 2. prikazani su glavni atributi karakteristika LPWAN tehnologije za odabir određenog spektra rada aplikacije.

Tablica 2. prikaz glavnih atributa karakteristika LPWAN tehnologije za odabir određenog spektra rada aplikacije.

Karakteristike	Atributi
Pokrivenost	Unutarnja ili vanjska primjena Urbano ili ruralno područje Preko zidova, ispod vode, ispod zemlje
Kapacitet	Skalabilnost Podrška brzine prijenosa podataka Jednosmjeran, dvosmjeran, *half/full duplex*
Cijena	Cijena uređaja Cijena mreže Skalabilnost
Rad malom snagom	Vijek trajanja baterije Latencija Ušteda energije
Unaprijeđene karakteristike	Specifični zahtjevi za aplikaciju Scenariji implementacije

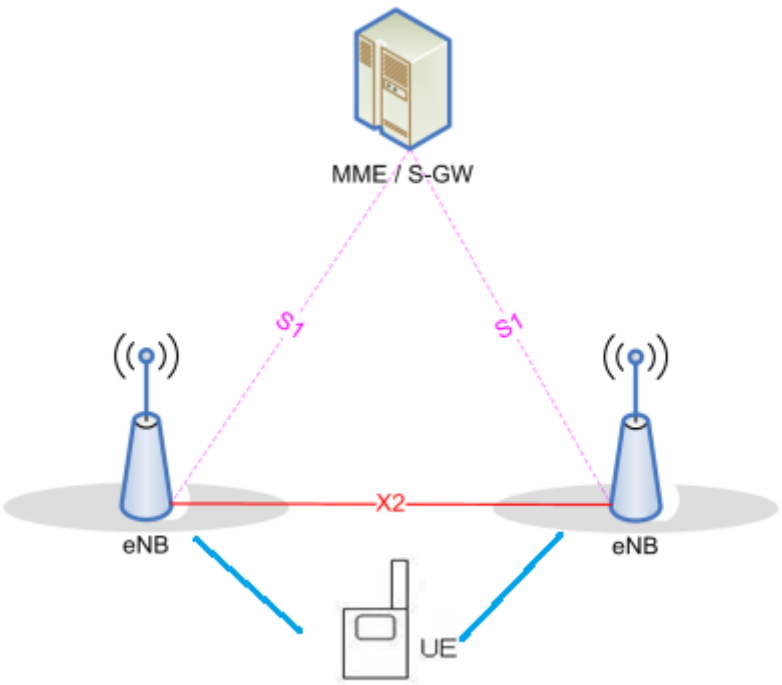
Izvor: [39]

5.Usporedba LPWAN tehnologija

Najpoznatije tehnologije unutar LPWAN-a su LoRaWAN, NB-IoT i SigFox koje imaju sličnu namjenu, ponekad i istu. Cilj navedenih tehnologija je pružiti komunikacijska rješenja uz mnogo čimbenika koje treba uzeti u obzir vodeći pritom računa o konkretnom slučaju primjene IoT-a. U nastavku će biti opisane i navedene najznačajnije LPWAN tehnologije današnjice.

5.1 NB-IoT

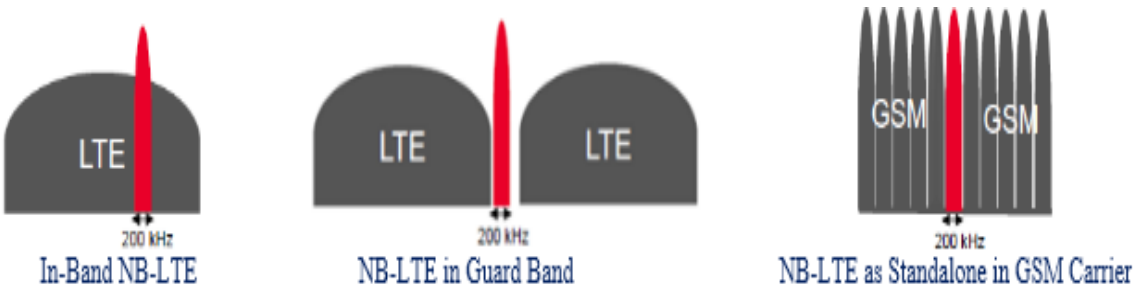
NB-IoT (engl. *Narrowband – Internet of Things)* pripada kategoriji LPWAN mreže i služi kao bežična komunikacija u svrhu IoT. NB-IoT proizveden je i razvijen sa strane 3GPP organizacije u svrhu mogućnosti širokog raspona usluge i mobilnih uređaja. Razvijanjem tehnologije dovelo je do niskih troškova, dugog radnog vijeka baterije, visoke gustoće veze (omogućuje vrlo velik broj povezanih uređaja na području jedne ćelije, od 100 000 uređaja) i na unutarnju pokrivenost. NB-IoT se razvija kao dio specifikacija 2G, 3G, 4G i 5G mobilnih mreža,[12].



Slika 11. Prikaz povezivanja senzora s baznom stanicom prema serveru unutar NB-IoT tehnologije, izvor[42].

Na slici 11. prikazana je povezanost unutar tehnologije NB-IoT. Na slici je povezan korisnički uređaj (*user equipment*), koji može biti senzor, s baznom stanicom (eNB). Prikazana je komunikacija uređaja pomoću bazne stanice prema središnjem serveru.

Mrežna arhitektura NB-IoT možete se temeljiti na paketnom sustavu EPS (engl. *Evolved Packet System*) i definiran je za optimizaciju mobilnog IoT. Primjer mobilnog IoT je CIoT. CIoT (engl. *Cellular IoT*) predstavlja način povezivanja fizičkih stvari, poput senzora s internetom vračanjem na iste mobilne mreže kao i pametni telefoni. NB-IoT sastoji se od 2 dijela, a to su: jezgrena mreža i pristupna mreža paketnog sustava EPS. Kao i kod LTE mreže pristupna je nepromijenjena, ali u jezgrenoj mreži dolazi do promjene upravljačke i korisničke razine koje su optimizirane za podržavanje IoT aplikacija. NB-IoT temelji se na tehnologijama višestrukog pristupa OFDMA (engl. Orthogonal Frequency Division Multiple Access) sa širinom kanala od 180 kHz,[13]. Zahtjev minimalne propusnosti od 200 kHz omogućuje tri moguća načina rada NB-LTE koji su prikazani na slici 12.



Slika 12. Mogući načini rada NB-LTE tehnologije s minimalnim zahtjevima propusnosti, izvor:[13].

NB-IoT koristi UDP (engl. *User Datagram Protocol*), te podaci putuju end-to-end enkripcijom i poslužitelj koji se nalazi u cloud-u dekodira podatke i izvršava autentifikaciju. Platforma korisnika povezana je s platformom operatora putem VPN veze kako bi putanja podataka do poslužitelja bila sigurnija. Uz VPN metode sigurnost donosi i APN (engl. *Acces Point Name).* APN ima ulogu identifikacije mrežnih paketa s kojom korisnik mobilnih podatak želi komunicirati. Takve metode sigurnosti donose i veće troškove koje kupac mora podmiriti, te i operateri nemaju velike mogućnosti za malverzaciju i promjene,[12].

5.2 SigFox

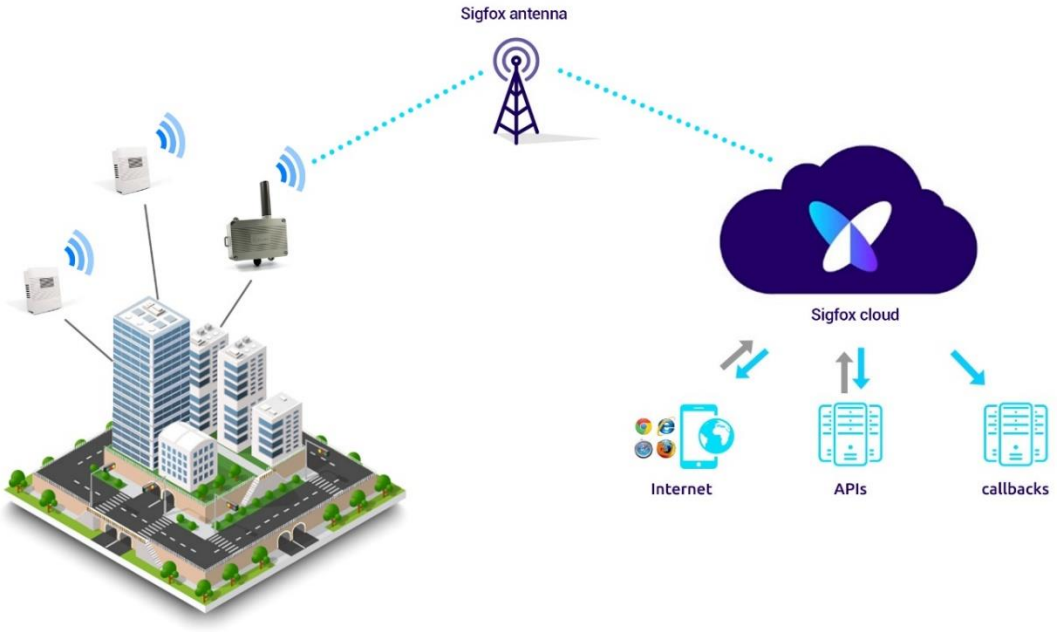
Ime SigFox proizlazi iz 2010. godine kada je i osnovan kao globalni mrežni operater. SigFox koristi vlastite bazne stanice koje se povezuju pomoću IP mreže s poslužiteljima. SigFox tehnologija je rasprostranjena unutar 70 država, te izgrađuju vlastite bežične mreže za povezivanje objekata, uređaja i aplikacija malom snagom, [14].

SigFox koristi D-BPSK (engl. *Differential Binary Phase-Shift Keying*) modulaciju, koristi nelicencirane ISM pojaseve različitih frekvencija za Europu, SAD i Aziju. U Europi koristi pojas od 868 MHz, u SAD-u koristi 915 MHz i u Aziji koristi pojas od 433 MHz. Uz D-BPSK koristi i UNB (engl. *Ultra-Narrow Band*) modulaciju koja zahtjeva malu potrošnju električne energije, da bi uspješno osiguravala vezu između čvorova i baznih stanica. SigFox je vrsta LPWAN tehnologije čiji rad ovisi o frekvencijama i regijama u kojima se upotrebljava.

Mrežna arhitektura ustrojena je po topologiji zvijezde i zahtjeva da se promet od senzora prenese do pristupne točke (SigFox bazne stanice). SigFox tehnologija se koristi za odašiljanje signala u dosezanju podzemnih objekata, te da se pokrije velika površina. Poruke se prenose s čvora u SigFox-ov cloud i na servere korisnika. Pomoću vlastitog cloud servera koji se kontinuirano razvija SigFox upravlja podacima. SigFox se dijeli na 2 sloja: sloj mrežne opreme i sustav podrške,[14].

SigFox komunikacija i slanje podataka osigurano koristeći razne provjere integriteta, autentičnosti i ponovne reprodukcije poruka. Prema uređajima SigFox koristi veliku razinu sigurnosti, primjerice šifriranje i kriptiranje podataka. Unutar SigFox komunikacije, u procesu proizvodnje svaki je uređaj opskrbljen jedinstvenim simetričnim ključem za provjeru autentičnosti. Svaku poruka koju uređaj zaprimi ili pošalje sadrži kriptografski token koji se izračunava na temelju simetričnog ključa za provjeru autentičnosti. Kriptografski token osigurava autentifikaciju pošiljatelja i integritet poruke,[14].

Na slici 13. prikazana je komunikacije SigFox uređaja (senzora) koji šalju signale prema Sigfox baznoj stanici (na slici označena kao antena), te se zatim podaci prosljeđuje prema jezgrenoj mreži i obrnuto.



Slika 13. Prikaz komunikacije SigFox protokola, izvor:[28].

5.3 LoRaWAN

LoRaWan (engl. *Long Range Wide Arena Network*) predstavlja LPWAN tehnologiju koja je razvijena u svrhu bežičnih uređaja kako bi se napajali putem baterija i na velike udaljenosti prenosili podatke malim brzinama. Procjena trajanja baterije iznosi uz malu potrošnju duže od 10 godina. Komunikacija koju LoRaWAN nudi za IoT mrežu je sigurna dvosmjerna koja je ključna za samu IoT tako i za senzorske bežične mreže. LoRaWan se i definira kao komunikacijski protokol i arhitektura sustava za mrežu, a LoRa predstavlja fizički sloj koji omogućuje komunikaciju na velikom dometu. LoRa Alliance je standard koji je razvio LoRuWAN, a LoRa je standard koji koristi autorsku zaštitu,[15]

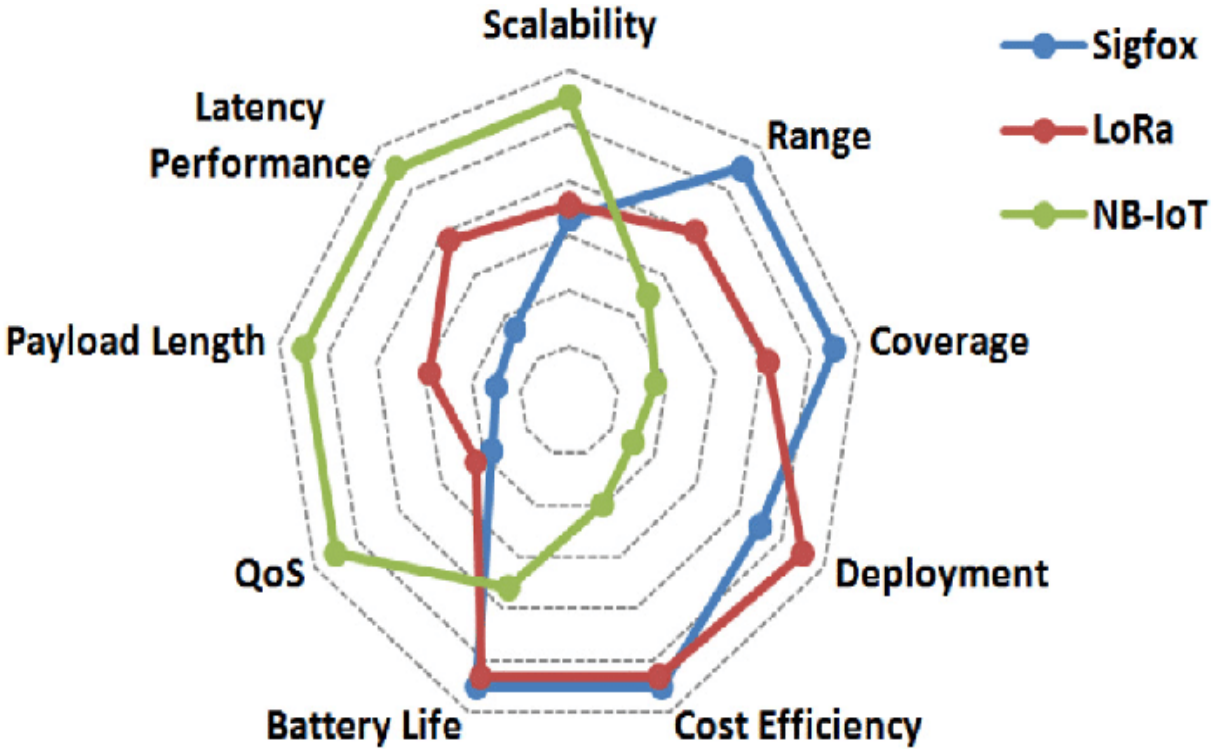
LoRaWAN mreža koristi topologiju zvijezde, jer tako ponajviše pruža očuvanje baterije. Komunikaciju izvršava putem LoRe koristeći fizički sloj preko bežičnih kanala. Krajnji uređaj kada pošalje paket u mreži primit će ga svi pristupnici u dometu, a mrežni poslužitelj ima svrhu pronalaska duplih paketa i odabira pristupnika koji će se koristiti za silaznu vezu. Krajnji čvorovi predstavljaju senzore koji su bežično povezani i imaju vrlo malu potrošnju, a pristupnici se spajaju preko IP protokola na mrežnog poslužitelja i tako predstavlja most pretvarajući IP u RF

pakete i obrnuto, te imaju konstantan izvor napajanja. Mrežni poslužitelj upravlja cijelom mrežom. Njegova svrha je povezati se s pristupnikom, te uklanjati duplicirane pakete i usmjeriti ih prema određenoj aplikaciji. Uz mrežnog poslužitelja, veliki posao obavlja i aplikacijski poslužitelj. Aplikacijski poslužitelj ima svrhu upravljanja i tumačenja podataka. Također, aplikacijski poslužitelj sadrži zaprimljene poruke od krajnjih uređaja namijenjene za određenu aplikaciju i šalje ih na povezane krajnje uređaje putem mrežnog poslužitelja,[16].

LoRaWAN je jedna od rijetkih IoT mreža koja koristi *end-to-end* enkripciju, te radi provjeru autentičnosti između krajnjeg uređaja i LoRaWAN mreže. Sama sigurnost dizajnirana je prema kriterijima same mreže, a to su: veliki domet, relativno niska cijena, niska složenost implementacije, mala potrošnja električne energije i velika skalabilnost ,[16].

5.4 Analiza LPWAN tehnologija

Usporedbom LPWAN mreža i njihovih parametara: (QoS- kako interferencija utječe na kvalitetu prijenosa, trajanje baterije određene tehnologije, skalabilnost koja prikazuje količinu sadržaja kojeg tehnologija šalje, pokrivenost mrežom, modele implementacije i trošak tehnologije) , vidljivo je kako odabir jedne tehnologije služi za pojedinu primjenu, te prikazuje kako je kriterij odabira vrlo važan u usporedbi sa zahtjevima aplikacije.



Slika 14. Usporedba prednosti i nedostataka LPWAN tehnologije, izvor:[17].

Prikazano slikom 14. SigFox kao jedna od tehnologija najviše zadovoljava zastupljenošću mreže, stanje baterije je odlično kao i kod LoRa tehnologije samim time i trošak cijele tehnologije. NB-IoT najslabije pokriva velika područja, ali QoS je mnogo bolji naspram LoRe i SigFox tehnologije. Razlog primarno leži u činjenici što se za potrebe NB-IoT koriste mobilne mreže. Nadalje, NB-IoT zbog veće brzine prijenosa, QoS i performansi kašnjenja mogao biti prikladniji za osobne IoT primjene. Nb-IoT koristi licencirani spektar, dok LoRaWAN i SigFox koriste nelicencirani frekvencijski spektar razvijajući vlastite bežične mreže. NB-IoT

naspram druge dvije tehnologije ima smanjen vijek trajanja baterije, te troši više električne energije (baterije) za rad,[17].

Tablica 3. prikazuje razlike tehničkih aspekata analiziranih LPWAN tehnologija koje mogu utjecati na primjenu pojedinih mreža.

Tablica 3. Prikaz tehničke usporedbe LPWAN tehnologija.

	SigFox	**LoRaWAN**	**NB-IoT**
Frekvencijski pojas	Nelicenciran frekvencijski pojas (868 MHz u Europi)	Nelicenciran frekvencijski pojas (868MHz u Europi)	Licenciran frekvencijski pojas
Komunikacija	Limitiran half-duplex	Half-duplex	Half-duplex
Otpornost na smetnje	Jako visoka	Jako visoka	Niska
Enkripcija i autentifikacija	Nije podržana	Podržana putem AES 128b	Podržana putem LTE enkripcije
Standard	ETSI	LoRa-Alliance	3GPP
Pokrivenost	10 km u urbanim područjima, 40 km u ruralnim područjima	5 km u urbanim područjima, 20 km u ruralnim područjima	1 km u urbanim područjima, 10 km u ruralnim područjima

Izvor: [39].

NB-IoT kao tehnologija koristi: licencirani frekvencijski pojas, half-duplex komunikaciju, modulacija nastaje putem QPSK, neograničen broj poruka u danu, 1600 bajta maksimalnu veličinu poruke, nisku otpornost na smetnje, enkripciju putem LTE, ne pruža mogućnost lokalizacije i standardiziran je putem 3GPP,[17].

SigFox kao tehnologija koristi: nelicencirani frekvencijski pojas, half-duplex komunikaciju, modulacija nastaje putem UNB, 140 poruka dnevno u uplinku, 4 poruke dnevno u downlinku, maksimalnu veličinu poruke u uplinku od 12 bajta i 4 bajta u downlinku, jako visoku otpornost na smetnje enkripcija nije podržana te je standardiziran u suradnju s ETSI,[17].

LoRaWAN kao tehnologija koristi: nelicencirani frekvencijski pojas, komunikacija je half-duplex, koriste se tehnike proširenog spektra, broj poruka dnevno je neograničen, maksimalna veličina poruke je 234 bajta, jako visoku otpornost na smetnje, enkripcija je podržana putem AES 128b. Standardizacija je obuhvaćena LoRa-Alliance-om,[17].

6.Primjeri korištenja IoT i LPWAN rješenja iz prakse

6.1 Zagrel Rittmeyer

Zagrel Rittmeyer je riješio jedan projekt u zagrebačkom vodovodu koristeći upravo LPWAN tehnologiju (LoRaWAN). Projektom su pokušali riješiti problematiku unutar komunikacije centralnog servisa s većim brojem mjernih mjesta u zagrebačkom vodovodu. Sva mjerna mjesta bila su opremljena s ABB AquaMaster 3 FET200 štapnim elektromagnetskim mjeračima i uređajima koji su podatke trebali periodički slati putem GPRS konekcije na centralni server. Međutim, nakon višegodišnjeg iskustva mjerne postaje nisu uspjele ispuniti očekivanja korisnika. Izvedbom projekta ustanovljeno je da često dolazi do kvarova komunikacijskih uređaja (zamrzavanje softwarea, prevelika potrošnja baterije itd.),[22].

Iz Zagrel Rittmeyer-a kažu: „nakon analize odlučili problem riješiti zamjenom postojećih komunikacijskih uređaja uređajima LoRaWAN tehnologije. U usporedbi s ostalim LPWAN tehnologijama, LoRaWAN tehnologija je bila najdostupnija i svojim karakteristikama je zadovoljavala sve potrebe za rješavanjem postojećeg problema na mjernim mjestima. Nakon ispitivanja s prototipnim LoRaWAN nodovima/uređajima i baznom postajom, koristeći usluge TTN mreže, došli smo do zaključka da bi problem mogli riješiti vrlo brzo i uz relativno male troškove, što je brzo prepoznato i od strane krajnjeg korisnika.“,[22].

6.2 Kopenhagen

„Kopenhagen je 2014. godine osvojio prestižnu nagradu World Smart Cities Award za svoju strategiju razvoja pametnog grada „Povezivanje Kopenhagena“. U Kopenhagenu je, kao i u mnogim gradovima širom svijeta, kvaliteta zraka visoko na listi prioriteta kad je u pitanju životni razvoj, a 68 posto građana navodi da je ono od velike važnosti kada je u pitanju atraktivnost grada“,[23].

„Za praćenje razine zagađenja, Kopenhagen Solutions Lab trenutno radi s Googleom i instalirao je opremu za nadgledanje u njihov automobil s pregledom ulica kako bi proizveo toplinsku kartu kvalitete zraka u gradu. Podaci će pomoći biciklistima i joggerima da planiraju rute s najboljom kvalitetom zraka. Projekt također daje pogled na budućnost, kada bi takve

vrste podataka u stvarnom vremenu mogli prikupiti senzori širom grada i usporediti ih s podacima o prometnim tokovima“,[23].

6.3 Barcelona

Barcelona je u okviru svoje strategije „CityOS“ osnovala niz projekata koji se mogu smatrati aplikacijama „pametnog grada“. Na primjer, senzorska tehnologija primijenjena je u sustavu za navodnjavanje u Parc del Centre de Poblenou, gdje se u zasađenim vrtovima prenose podaci o razini vode koja je potrebna biljkama.

Također, koristeći prvenstveno dijagonalne, vertikalne i horizontalne rute s brojem razmjena potaknuo se i razvitak autobusnih mreža na temelju raznih analiza podataka o najčešćim prometnim tokovima. Integracijom više tehnologija Smart City može se vidjeti primjenom pametnih semafora, dok autobusi prometuju na rutama dizajniranim za optimizaciju broja zelenih svjetala. Osim toga, u centrima za izvještavanje izvanrednih situacija, definiraju se rute kojima bi vozila hitne pomoći trebali putovati, te sustav postavlja mogućnost paljenja zelenog svjetla na svim semaforima prikazanim rutom. ,[23].

6.4 Amsterdam

Amsterdam kao pojam „pametnog grada“ započeo je u 2009. godini i trenutno uključuje 170 projekata koji su zajednički razvijeni od strane lokalnih stanovnika, poduzeća i vlada. Ti se projekti odvijaju putem bežičnih uređaja na povezanim platformama kako bi se poboljšala sposobnost donošenja odluka u stvarnom vremenu. Grad Amsterdam prikazuje svrhu projekata s prednostima poput: uštede električne energije, povećanja sigurnosti građana i smanjenje prometa unutar grada.

Kako bi potaknuli zainteresiranost lokalnog stanovništva u cilju poboljšanja mogućnosti i razvitka grada, vlast provodi “Smart City Challenge” u kojem vlast razmatra prijedloge stanovnika. Jedan od primjera razvijene aplikacije je Mobypark, koja vlasnicima parkirnih mjesta omogućava iznajmljivanje svog mjesta za određenu naknadu. Grad može koristiti podatke obrađene iz ove aplikacije kako bi kontrolirali potrebu za parkiranjem te mogućim preinakama poboljšali efikasnost sustava,[23].

6.5 Hrvatski primjeri

U Hrvatskoj, mnogi gradovi su uložili trud u razvoj i digitalizaciju. Primjenom LPWAN tehnologija, gradovi u Hrvatskoj krenuli su prema većim dimenzijama cijelog sustava i koračaju u budućnost. Lakša mobilnost i korištenje samog prometa unutar grada donose i veće zadovoljstvo građana. U nastavku su navedeni neki primjeri korištenja tehnologija za razvoj „pametnog grada“.

Grad Rijeka je smanjila troškove električne energije uvođenjem pametnog upravljanja javnom rasvjetom. Također, problem s gužvama u prometu riješen je uvođenjem dronova, koji nadgledaju promet u stvarnom vremenu, [24].

Grad Dubrovnik uvodi sustav pametnog parkiranja, gdje će na svakom parkingu biti postavljeni senzori i pomoću aplikacije će se lako pronaći slobodno mjesto. Koristeći i aplikaciju Visitor, aplikacija prikazuje kretanje ljudi po staroj jezgri i predviđa gužvu. ,[24].

Grad Vukovar uvodi javnu rasvjetu koja se automatski pali pri šetnji ljudi, te pametne semafore koji znaju kada treba upaliti crveno svijetlo,[24]

Grad Split je uveo sustav pametnog parkiranja, gdje su sva mjesta obuhvaćena senzorima i povezana putem aplikacije „Split smart parking“. Aplikacija prikazuje slobodna i zauzeta parkirna mjesta, te mjesta za osobe s invaliditetom.[43].

Grad Karlovac implementirao je sustav za prikupljanje i analiziranje podataka o potrošnji vode i struje u kućanstvima. Sustav funkcionira na daljinskom očitavanju brojila. Takav način rada znatno je smanjio vrijeme obračuna struje i vode,[24].

Grad Jastrebarsko provodi pametna rješenja e-ceste online. Takvim pametnim rješenjem grad je uspostavio digitalnu bazu koja prikazuje sve nerazvrstane ceste na području grada, te rješenje pruža lakše održavanje i upravljanje,[38].

7. Zaključak

Cilj ovoga rada bila je analiza glavnih karakteristika LPWAN tehnologiju u kontekstu IoT-a. Pritom su obrađene tri najznačajnije LPWAN tehnologije današnjice: NB-IoT, SigFox i LoraWAN. Svaka od njih ima karakteristike koje se više ili manje pogodnije za određene primjene u različitim područjima poput industrije, medicine ili prometa.

Razvojem LPWAN tehnologija i IoT-a koji napreduju velikom brzinom u svim sektorima mnoge stvari postaju bolje, jeftinije i znatno pristupačnije korisnicima. Uz pomoć IoT-a svakodnevni život postaje puno lakši i jednostavniji. Prihvaćanjem prednosti takvih tehnologija i njihovom implementacijom u svakodnevni život možemo očekivati samo pozitivne efekte njihovog korištenja. Poslovi koji su se obavljali ručno sada se mogu obavljati putem jednog dodira ili automatizirano.

Razvoj IoT-a i LPWAN tehnologija mora biti kontinuiran zbog konstantnog povećanja broja uređaja u svijetu i spajanja na mrežu. Danas skoro svako kućanstvo koristi Internet i koristi znatan broj uređaja koji komuniciraju preko Interneta, tako da se može reći da razvoj IoT-a ima višestruke benefite za društvo u cjelini.

Podjelom LPWAN tehnologija na 3 najznačajnije tehnologije, olakšan je odabir i sama implementacija tehnologije ovisno o primjeni koja zahtjeva određene kriterije koje mu tehnologija može pružiti. Navedeni primjeri u radu su samo prikaz koliko je razvoj takvih tehnologija daleko odmakao, a koje su donijele lakše snalaženje u gradovima, smanjenje gužvi na cestama i povezanost te komunikaciju između uređaja uz relativno mali financijski trošak i utrošak električne energije.

Kako ljudi najviše brinu oko sigurnosti svojih podataka, a konstantan pristup internetu omogućuje vrlo lake zloupotrebe LPWAN tehnologije, IoT sustav mora unaprjeđivati razine sigurnosti svakodnevnim testiranjima. To je bitno jer sa tolikim povećanjem uređaja (senzora), obaveza je održati privatnost i sigurnost korištenja zbog nastavka širenja i razvijanja samog sustava.

Literatura

[1] RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT) Preuzeto sa: https://ieeexplore.ieee.org/document/6201508 Pristupljeno: kolovoz 2021]

[2] What is M2M technology? Preuzeto sa: https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/what-is-m2m-technology/ [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[3] What is SCADA? Preuzeto sa: https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[4] Moon BK. Dynamic Spectrum Access for Internet of Things in Cognitive Radio Enabled LPWANs. Sensors. 2020;17(12);2818. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/321581441_Dynamic_Spectrum_Access_for_Internet_of_Things_Service_in_Cognitive_Radio-Enabled_LPWANs [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[5] Industrial Internet of things. Preuzeto sa: https://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_internet_of_things [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[6] IoT is transforming logistics and transportation sectors. Preuzeto sa: https://infinityleap.com/iot-is-transforming-logistics-transportation-sectors/ [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[7] IoT applications in Agriculture. Preuzeto sa: http://www.iot.qa/2018/01/iot-applications-in-agriculture_23.html [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[8] Consumer Internet of Things (CIoT) what i sit and how does it evolve. Preuzeto sa: https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/what-is-consumer-internet-of-things-ciot/ [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[9] Importance of sensors in the Internet of things. Preuzeto sa: https://www.electronicsforu.com/technology-trends/tech-focus/iot-sensors [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[10]LPWAN (low power wide area network). Preuzeto sa: https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/LPWAN-low-power-wide-area-network [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[11] Chaudhari B., Zennaro M., Borkar S.: LPWAN Technologies: Emerging Application Characteristics, Requirements, and Design Considerations. Future Internet. 2020;12(3);46. Preuzeto sa: https://www.mdpi.com/1999-5903/12/3/46/xml [Pristupljeno kolovoz 2021]

[12] Narrowband IoT. Preuzeto sa: https://en.wikipedia.org/wiki/Narrowband_IoT [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[13]Narrow band LTE- NB-IoT. Preuzeto sa: http://www.codeplayon.com/2019/03/narrow-band-lte-nb-iot-2/ [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[14] SigFox technical overview. Preuzeto sa: https://www.disk91.com/wp-content/uploads/2017/05/4967675830228422064.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[15] LoRa alliance, resource hub. Preuzeto sa: https://lora-alliance.org/resource-hub [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[16] What are LoRa and LoRaWAN? Preuzeto sa: https://lora-developers.semtech.com/library/tech-papers-and-guides/lora-and-lorawan/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[17] Peraković D., Periša M., Forenbacher I.: Senzorske mreže širokog područja pokrivanja, Zagreb 2019./2020. Dostupno: Portal e-učenja Fakulteta prometnih znanosti [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[18] Sigurnost interneta stvari. Preuzeto sa: https://www.cert.hr/sigurnost-interneta-stvari-iot/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[19] IoT rješenja. Preuzeto sa: http://www.microlink.hr/iot-rjesenja.aspx [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[20] Top 5 pametnih rješenja u primjeni. Preuzeto sa: https://www.inspireme.hr/inspire/vijesti/iot-top-5-pametnih-rjesenja-u-primjeni/ [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[21] How IIoT revolutionises processes throghout the supply chain. Preuzeto sa: https://www.domino-printing.com/en/blog/2017/how-iiot-revolutionises-processes-throughout-the-supply-chain [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[22] IoT LoRaWAN rješenje. Preuezto sa: https://www.zagrel-rittmeyer.com/EasyEdit/UserFiles/lora-primjena.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[23] Pametni gradovi primjeri u svijetu. Preuzeto sa: https://korak.com.hr/pametni-gradovi-primjeri-u-svijetu/ [Pristupljeno 2021]

[24] Pametni gradovi u Hrvatskoj. Preuzeto sa: https://ec.europa.eu/croatia/smart_city_in_Croatia_hr [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[25] Smart communities – how tech will enhance coliving. Preuzeto sa: https://medium.com/qwerkycoliving/smart-communities-how-tech-will-enhance-coliving-1e52c0cbb550 [Pristupljeno: kolovoz 2021]

[26] Novogradiška iskustva- što je pametan grad? Preuzeto sa: https://slavonski.hr/novogradiska-iskustva-sto-je-pametan-grad-i-kako-ga-pozicionirati/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[27] Senzori. Preuzeto sa: https://autoedu.info/autoelektronika/senzori/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[28] SigFox. Preuzeto sa: https://enless-wireless.com/en/sigfox-iot-network/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[29]Chaudari BS., Zennaro M., Borkar S. LPWAN Technologies: Emerging application characteristics, requiements and design considerations. Future Internet. 2020;12(3);46. Preuzeto sa: https://www.mdpi.com/1999-5903/12/3/46/xml [Pristupljeno kolovoz 2021]

[30] Internet of things. Preuzeto sa: https://www.mcloud.rs/blog/internet-of-things-iot/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[31] RFID tehnologija- područja primjene. Preuzeto sa: https://1klik.com.hr/rfid-tehnologija-podrucja-primjene/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[32] Peraković D., Periša M., Forenbacher I.: Senzorske mreže malog i srednjeg područja pokrivanja, Zagreb 2019./2020. Dostupno: Portal e-učenja Fakulteta prometnih znanosti [Pristupljeno kolovoz 2021]

[33]Machine-to-machine(M2M). Preuzeto sa: https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/machine-to-machine-M2M [Pristupljeno kolovoz 2021]

[34] IoT WorldForum Reference Model. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/IoT-World-Forum-Reference-Model_fig2_323525875 [Pristupljeno kolovoz 2021]

[35] The Transformation from digital to industry 4.0. Preuzeto sa: https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=20412 [Pristupljeno kolovoz 2021]

[36] Week 14 Techological basis of the IoT and ubiquious computing. Preuzeto sa: https://zibowang77517210.wordpress.com/ [Pristupljeno kolovoz 2021]

[37] Leonhard M. Reindl. A survey on Energy Conserving Mechanisms for the Internet of Things: Wireless Networking Aspects. Sensors. 2015;15(10);24818-24847. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/282853869_A_Survey_on_Energy_Conserving_Mechanisms_for_the_Internet_of_Things_Wireless_Networking_Aspects#pf4 [Pristupljeno kolovoz 2021]

[38] Smart cities 2018. Preuzeto sa: https://lider.media/aktualno/smart-cities-2018-sve-vise-hrvatskih-gradova-na-rubu-pameti-31009 [Pristupljeno kolovoz 2021]

[39] Mekki K., Bajic E., Chaxel F., Meyer F. A comparative study of LPWAN technologies for large-scale IoT deployment. ICT Express. 2019;5(1);1-7. Preuzeto sa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517302953 [Pristupljeno rujan 2021]

[40] Use of IoT Making Smart Parking Systems. Preuzeto sa: https://planetxco.com/using-internet-things-public-transportation/ [Pristupljeno rujan 2021]

[41] Smart Home Systems Based on Internet of Things. Preuzeto sa: https://www.intechopen.com/chapters/65877 [Pristupljeno rujan 2021]

[42] NB-IoT Architecture. Preuzeto sa: https://www.rfwireless-world.com/Terminology/LTE-NB-IoT-Architecture.html [Pristupljeno rujan 2021]

[43] Split Parking. Preuzeto sa: https://www.splitparking.hr/ [Pristupljeno rujan 2021]

[44] Pillars of Embedded IoT and Physical Devices. Preuzeto sa: https://shevalerupali.files.wordpress.com/2020/01/pillars-of-embedded-iot-and-physical-devices-1.pdf [Pristupljeno kolovoz 2021]

Popis slika

Slika 1.Prikaz četiri industrijske revolucije, izvor:[35]. 7
Slika 2. Prikaz IoT rješenja u poljoprivredi, izvor:[36] 8
Slika 3. Prikaz pametnog grada, izvor:[26]. 9
Slika 4. Prikaz IoT upravljanja u prometu, izvor [40]. 10
Slika 5. Prikaz primjene IoT u pametnim kućama, izvor:[41] 11
Slika 6. Prikaz vrsti senzora na automobilu, izvor:[27] 13
Slika 7. Opća arhitektura Internet stvari, izvor:[37]. 14
Slika 8. Prikaz tehnologija koje se koriste unutar određenog dometa mreže, izvor:[39] 18
Slika 9. Arhitektura LPWAN senzorske mreže, izvor:[17]. 22
Slika 10. Topologija zvijezda i topologija mesh unutar LPWAN tehnologije, izvor:[29]. 23
Slika 11. Prikaz povezivanja senzora s baznom stanicom prema serveru unutar NB-IoT tehnologije, izvor[42]. 25
Slika 12. Mogući načini rada NB-LTE tehnologije s minimalnim zahtjevima propusnosti, izvor:[13] 26
Slika 13. Prikaz komunikacije SigFox protokola, izvor:[28]. 28
Slika 14. Usporedba prednosti i nedostataka LPWAN tehnologije, izvor:[17]. 30

Popis Tablica

Tablica 1. Prikaz 7 slojeva IoTWF referentnog modela i njihovu primjenu.....16

Tablica 2. prikaz glavnih atributa karakteristika LPWAN tehnologije za odabir određenog spektra rada aplikacije. 24

Tablica 3. Prikaz tehničke usporedbe LPWAN tehnologija.....31

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **Karakteristike LPWAN tehnologije za potrebe razvoja IoT mreže**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 30.8.2021

KGavrilović
(potpis)