

UPRAVLJANJE RASVJETOM PUTEM BEŽIČNIH TEHNOLOGIJA ISM POJASA NA PRIMJERU POSLOVNE ZGRADE

Galić, Ronald

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:225:897078>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-06**



Repository / Repozitorij:

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



VISOKO UČILIŠTE ALGEBRA

ZAVRŠNI RAD

**Upravljanje rasvjetom putem bežičnih
tehnologija ISM pojasa na primjeru poslovne
zgrade**

Ronald Galić

Zagreb, veljača 2023.

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

U Zagrebu, veljača 2023.

Predgovor

Draga majko i mentore, iskreno vam se zahvaljujem za svu vašu podršku i sve one vrijedne savjete tijekom moje studentske avanture. Vaša podrška i neustrašivost će mi uvijek biti inspiracija. Hvala vam što ste uvijek bili tu za mene i pomogli mi da ostvarim svoje ciljeve. Vaše vrijedno vrijeme, trud i marljivost su mi neprocjenjivi. Hvala vam od srca!

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

Sažetak

Postojeća rješenja upravljanja rasvjetom, temeljena na infracrvenim sensorima, imaju kratak domet detekcije korisnika od nekoliko metara do najviše 20 metara, nemaju mogućnost autorizacije korisnika što dovodi do neželjenih aktivacija rasvjete, poput prolaska životinja, te koriste duge intervale isključivanja rasvjete što dovodi do povećane potrošnje električne energije. U ovom radu prikazano je rješenje upravljanja rasvjetom temeljeno na Bluetooth low energy tehnologiji s ciljem rješavanja nedostataka i ograničenja pasivnih infracrvenih senzora. Analizirane su istaknute tehnologije industrijskog, znanstvenog i medicinskog frekvencijskog raspona u svrhu odabira najprikladnije tehnologije za razvoj hardverskog rješenja čija je uloga kontrola rasvjete i ušteda energije s obzirom na postojeća rješenja dostupna na tržištu. Kao najpogodnija tehnologija odabran je Bluetooth dio IEEE 802.11 standarda. Bluetooth tehnologija pokazala se kao odličan odabir zbog svoje mogućnosti prilagodbe i niske potrošnje energije od strane hardvera. Osim za kontrolu rasvjete, ovaj rad može poslužiti kao podloga za daljnji razvoj uređaja temeljenih na intenzitetu signala.

Ključne riječi: Bluetooth, WiFi, internet, rasvjeta, bežično, internet stvari, mikroupravljač,

Abstract

Existing lighting management solutions based on infrared sensors have a short user detection range of several meters to a maximum of 20 meters, they do not have the ability to authorize users which leads to unwanted lighting activations, such as animal passing, and they use long intervals of lighting shutdowns leading to increased electrical energy consumption. In this work, a lighting management solution based on Bluetooth low energy technology is presented with the aim of resolving the shortcomings and limitations of passive infrared sensors. The highlighted technologies in the industrial, scientific, and medical frequency range were analyzed for the purpose of selecting the most suitable technology for developing a hardware solution whose role is lighting control and energy saving in relation to existing solutions available on the market. Bluetooth, part of the IEEE 802.11 standard, was chosen as the most suitable technology. Bluetooth technology proved to be an excellent choice due

to its adaptability and low energy consumption by hardware. In addition to lighting control, this work can serve as a basis for further development of devices based on signal intensity.

Key words: Bluetooth, WiFi, internet, lighting, wireless, Internet of things, microcontroller

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Komunikacijske tehnologije ISM pojas-a	2
2.1. Općenito o ISM pojasu	2
2.1.1. IEEE 802.11 Standard	3
2.1.2. IEEE 802.15 standard	5
2.1.3. Ostale tehnologije ISM pojasa.....	9
3. Primjena i usporedba odabranih tehnologija ISM pojasa	12
3.1. WiFi	12
3.2. Bluetooth	13
3.3. Zigbee	13
4. Praktični zadatak.....	14
4.1. Opis postojećeg rješenja	14
4.2. Predložena idejna rješenja	14
4.3. Testiranje idejnih rješenja.....	15
4.4. Odabrano rješenje	16
4.5. Usporedba s postojećim rješenjima na tržištu	17
4.6. Implementacija rješenja	17
4.6.1. Hardver	18
4.6.2. Softver	20
5. Testiranje rješenja.....	25
5.1. Analiza i rezultati testiranja.....	26
5.2. Preporuke za daljnji razvoj	29
Zaključak	31

Popis kratica	32
Popis slika.....	33
Literatura	34

1. Uvod

Uređaji koji koriste industrijski, znanstveni i medicinski frekvencijski raspon prisutni su svuda oko nas u raznim formatima i namjenama. Svakim danom se popis uređaja koji koriste neki oblik bežične komunikacije povećava kao rezultat sve više rasprostranjenog interneta stvari. Nažalost, neki uređaji još uvijek nisu doživjeli modernizaciju, već su ostali u originalnoj ili zanemarivo promijenjenoj formi.

U ovom radu napraviti ćemo pregled istaknutijih komunikacijskih tehnologija koje koriste industrijski, znanstveni i medicinski (*engl. Industrial, scientific and medical*, skraćeno ISM) frekvencijski raspon koji je definirao Institut inženjera elektrotehnike i elektronike (*engl. Institute of Electrical and Electronics Engineers*, skraćeno IEEE).

Kao praktični doprinos ovog rada izraditi ćemo hardversko rješenje koje se sastoji od dvije komponente. Rješenje će biti temeljeno na Bluetooth tehnologiji u svrhu kontrole rasvjetnog tijela koje kontrolira fiksna komponenta (dalje u tekstu skener) na osnovi snage i imena koje emitira pokretna komponenta u obliku privjeska.

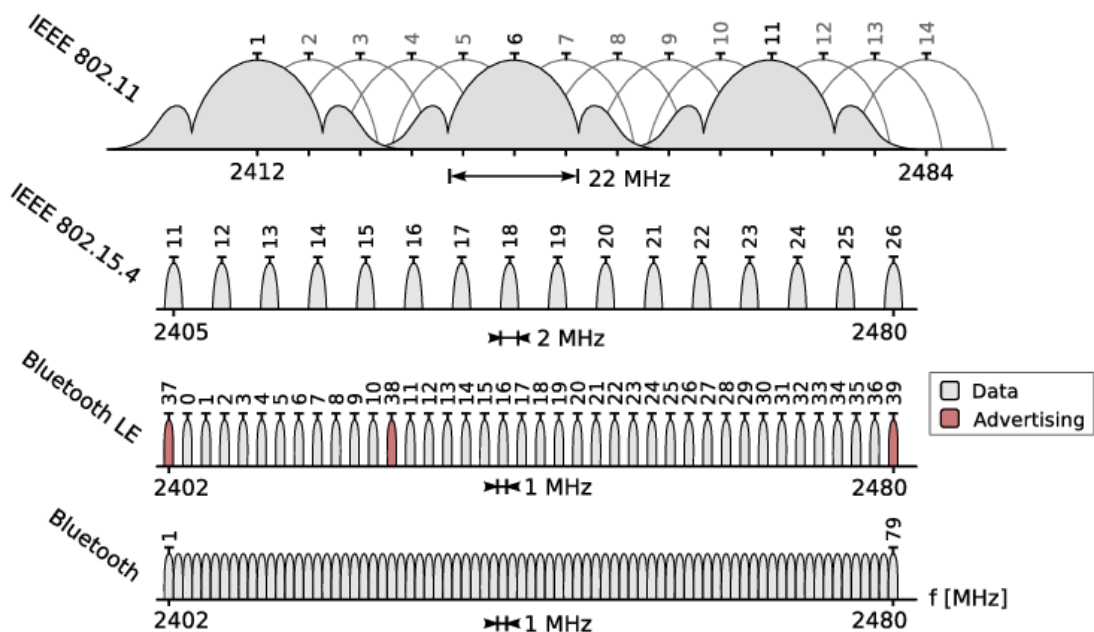
Osim u svrhu kontrole rasvjete praktični doprinos se vrlo brzo može uz minimalne resurse prenamijeniti što čitatelju omogućuje da ovaj rad iskoristi kao temelj za buduće inovacije čiji će se razvoj odvijati u smjeru ovog rada.

2. Komunikacijske tehnologije ISM pojas-a

Unutar ovog poglavlja opisan je industrijski, znanstveni i medicinski (*engl. Industrial, scientific and medical*, skraćeno ISM) frekvencijski pojas, njegova uloga u našem svakodnevnom životu i prednost naspram ostatka spektra. Osim samog opisa frekvencijskog raspona opisani su i najrasprostranjeniji protokoli, odnosno tehnologije koje se temelje na ISM frekvencijskom pojasu. Osim niže opisanih tehnologija, postoji cijeli jedan dodatni skup tehnologija koje su također temeljene na ISM pojasu, no one se većinski koriste u amaterske testne svrhe te iz toga razloga nisu predmet ovoga rada.

2.1. Općenito o ISM pojasu

ISM je nelicencirani frekvencijski pojas otvoren za slobodno korištenje u industrijske, znanstvene i medicinske svrhe, što omogućuje svakoj osobi koja posjeduje potreban hardver korištenje definiranih raspona (1, TECHOPEDIA). ISM pojas, odnosno više pojasa definiran je ITU Radio regulacijom, specifično člankom pet dotičnog dokumenta, odnosno regulacije. ISM frekvencijski pojas je razdijeljen u više raspona, ali najzastupljeniji su rasponi 2.4 GHz i 902 MHz, ponajviše zbog tehnologija koje koriste ta dva spomenuta raspona što je vidljivo na slici 2.1.



Slika 2.1 Raspodjela frekvencija u RF spektru za IEEE 802.11 standard (preuzeto s software-dl.ti.com) (1)

Na 902 MHz (2, NATIONAL TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ADMINISTRATION) se nalaze radio lokacijski i radio amaterski uređaji, dok se na 2.4 GHz nalaze dvije najpoznatije tehnologije ISM frekvencijskog pojasa, a to su WiFi (2412 MHz – 2484MHz) i Bluetooth (2402MHz – 2480 MHz), odnosno IEEE 802.11 standard koji je smješten upravo u 2.4 GHz opsegu.

2.1.1. IEEE 802.11 Standard

IEEE 802.11 standard je dio IEEE 802 specifikacije, odnosno seta standarda čija je funkcija opisivanje protokola i mehanizama koji se koriste u današnjim bežičnim lokalnim mrežama (eng. Wireless local network) (3, IEEE). Mreža koja koristi odgovarajući standard sastoji se od četiri glavne komponente: distribucijskog sustava, pristupne točke (engl. access point), bežičnog medija te klijentskog uređaja. IEEE 802.11 standard temelji se na temeljnom dokumentu IEEE 802 specifikacije te za razliku od IEEE 802.15.1 standarda koji se mijenjao isključivo unutar standarda bez novih podverzija IEEE 802.11 je imao više iteracija kroz povijest. Svaka od iteracija je donosila brojne nove mogućnosti i poboljšanja funkcioniranja tehnologije WiFi-a koji je, kao što je već spomenuto, nastao iz dotičnog standarda kao tehnologija za povezivanje računala u bežičnu lokalnu mrežu, eliminirajući potrebu za žičanim povezivanjem računala međusobno ili usmjernika (engl. router), preklopnik i računala korištenjem mrežnih kabela. WiFi kao medij za prijenosa podataka koristi radio valove, odnosno dio elektromagnetskog spektra. Tipični frekvencijski opseg unutar kojeg WiFi emitira je između 2.4 GHz do 2.4835 GHz za IEEE 802.11b/g/n(2.4G) te 5.170 GHz do 5.185 GHz za IEEE 802.11a/n(5G)/ac/ax (5, WIKIPEDIA). WiFi osim navedenih ima definirane i druge verzije koje rade na 900 MHz za IEEE 802.11ah, 3.65 GHz za IEEE 802.11y, 4.9 GHz za IEEE 802.11j, 5.9 GHz za IEEE 802.11p, 6 GHz za novi standard IEEE 802.11ax i 60 GHz za IEEE 802.11ad/ay standarde (3, IEEE). Kako je rad temeljen na 2.4G Hz frekvencijskom rasponu opisuje se isključivo taj spektar. Unutar 2.4 GHz raspona moguće je koristiti ukupno 14 kanala sa širinom kanala od 20 MHz ili 40 Mhz, a od toga 14. kanal je dopušten isključivo u Japanu i to isključivo za IEEE 802.11b verziju (3, IEEE). Modulacije koje propisuje standard IEEE 802.11 su modulacije faze i amplitude BPSK, QAM i QPSK. Tehnologija je konstruirana na način da u potpunosti podržava među kompatibilnost s Ethernet i Internet Traffic protokole, što je omogućilo i samu povezanost na internet i brzo širenje tehnologije u svijet potrošačke elektronike kao i one profesionalne.

Današnje verzije standarda su dodatno smanjile potrošnju električne energije i povećale brzinu, što je dodatno omogućilo proširenje interneta stvari.

Za razliku od Bluetooth tehnologije koja koristi svoje vlastite protokole stog (engl. *Stack*) WiFi-a, odnosno njegov fizički dio je striktno definiran kroz IEEE 802.11 standard, dok ostatak dijeli s OSI modelom te ga nije moguće modificirati i prilagoditi trećoj namijeni kao što je to moguće s Bluetooth protokolom, odnosno njegovim stogom (4, MICROSOFT). Sama WiFi tehnologija je zamišljena na način da povezuje računalo na usmjerivač (engl. *Router*), koji je dalje povezan s internetom (5, WIKIPEDIA). Priključivanje perifernih uređaja korištenjem WiFi tehnologije nije moguće zbog prethodno spomenute namjene, isključujući pisače i skenere koji koriste WiFi za bežično spajanje računala i uređaja.

2.1.1.1 Verzije IEEE 802.11 standarda

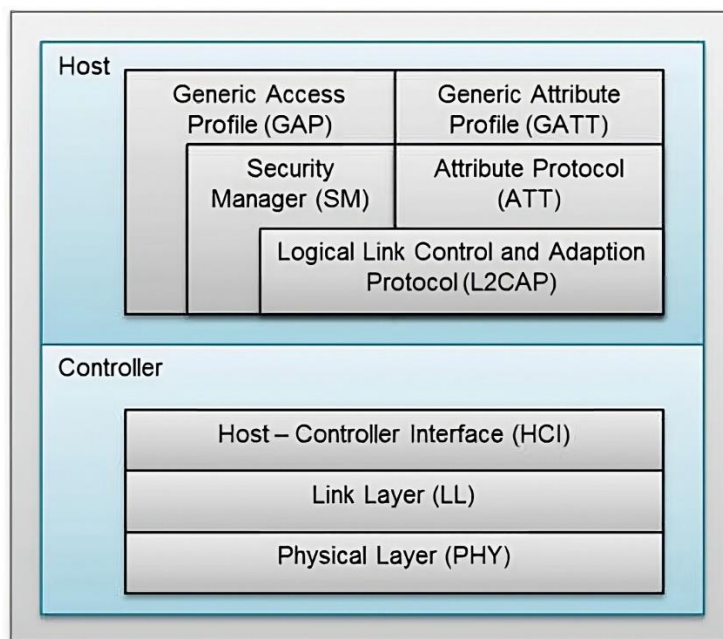
Prva generacija je uvelike riješila inicijalne probleme spajanja dvaju uređaja i stabilnost veze između dva uređaja koji su koristili prvobitnu nultu verziju ovog standarda. Osim uklanjanja problema koje je imala inicijalna verzija, poboljšana je i propusnost koja je iznosila 11Mbit/sekundi te su smanjeni proizvodni troškovi, odnosno povećana je dostupnost jeftinijih modula, što je uvelike pomoglo WiFi-u da se probije na tržište i postane glavna tehnologija za bežične lokalne mreže. Nažalost, kao kod sve tehnologije u začetku su se pojavili mnogobrojni problemi od čega se interferencija izdvaja kao najveći. Naime, tada su gotovo svi uređaji s bežičnim prijenosom radili na istom frekvencijskom rasponu te zbog nedostatka korekcije i provjere paketa su međusobno stvarali interferenciju i velike gubitke paketa. Druga generacija je uvela oktogonalno frekvencijsko multipleksiranje (engl. *Multiplexing*) što je omogućilo dijeljenje frekvencija i samim time veću propusnost podataka koja je sezala i do 54 megabita po sekundi. Dok je druga generacija ujedno, kao i prva, generacija koristila 5 GHz frekvenciju te nije bila kompatibilna s prethodnom generacijom 11b, treća generacija, kao i prethodna i sve sljedeće, radi promjene koje su isključivo vezane uz smanjenje latencije, povećanje brzine i povećavanje broja uređaja koji mogu simultano biti spojeni na istu mrežu. Treća generacija izlazi u susret samim korisnicima jer je uvela povećanje brzine iz druge generacije, ali ovaj put za frekvencijski opseg 2.4 GHz. Četvrti standard, odnosno 11n je trenutno najkorišteniji standard koji je 2009. godine prvi počeo koristiti više antena, odnosno *multiple-in multiple-out* (MIMO) standard u svrhu povećanja brzine i do pet puta veće od prethodnog standarda, odnosno mogao je na oba frekvencijska pojasa 2.4 GHz i 5 GHz razviti brzinu prijenosa do 40 Mbps te je podržavao na istim

frekvencijama i kompatibilnost s prethodnim standardima, što je uvelike ubrzalo samu adaptaciju pametnih telefona i prijenosnih računala (6, PCMAG). Peti standard se pojavljuje 2012 (6, PCMAG) godine i donosi promjenu isključivo na 5 GHz frekvencijskom rasponu te je sama promjena vezana isključivo uz povećanje brzine i broj korisnika. Maksimalna brzina prijenosa u petoj generaciji je bila gigabitna, što je također, kao u prethodnoj generaciji, omogućeno drugom generacijom MIMO standarda, no ovaj put uz omogućavanje višestrukih kanala prema istom korisniku zbog povećanja broja podržanih antena s četiri na ukupno osam. Trenutno aktualna šesta generacija uvela je jako puno promjena koje su bile krajnje potrebne zbog sve većeg broja uređaja koji su povezani i širenja interneta stvari. Samim time dotični standard povećao je broj uređaja koji se mogu spajati na mrežu u isto vrijeme, povećana je efikasnost i stabilnost prijenosa u mrežama s puno uređaja poput konferencijskih sala, trgova i slično. Šesta generacija podržava 1024QAM modulaciju, što je četiri puta više od prethodne pete generacije kao i dva simultana višekorisnička linka za predaju i prijenos podataka koristeći MU-MIMO standard. Maksimalna teoretska brzina standarda je 9.6 Gbps (6, PCMAG). Dotični standard je omogućio i obradu više simultanih linkova u isto vrijeme od strane pristupne točke. Kao odgovor na sve veći broj uređaja koji se spajaju na mrežu, uveden je dodatni frekvencijski opseg na 6 GHz koji uvodi dodatnih četrnaest kanala, no zbog velike frekvencije nije primjenjiv izvan otvorenih prostora kao što su konferencijske sale, stadioni i slično. Novi standard u razvoju je sedma generacija i trebala bi biti nadogradnja na prethodnu generaciju uz smanjenje potrošnje energije (6, PCMAG).

2.1.2. IEEE 802.15 standard

IEEE 802.15.1 standard temelji se na ključnom dokumentu IEEE 802 specifikacije te je također uz WiFi, Zigbee, UWB, WBA omogućio jednu od danas najrasprostranjenijih bežičnih tehnologija Bluetooth (7, IEEE). Bluetooth je nastao kao tehnologija koja bi trebala smanjiti potrošnju energije prilikom prijenosa podataka između dva korisnička uređaja, omogućiti bežični prijenos podataka te samim time i eliminirati potrebu za spajanjem žičanih medija prilikom prijenosa podataka s jednog uređaja na drugi. Kako je WiFi temeljen na IEEE 802.11 standardu korišten za veze tipa računalo-računalo ili računalo-poslužitelj s naglaskom na povezivanje unutar cijelih prostorija i/ili građevina, pojavljuje se potreba za tehnologijom koja bi omogućila povezivanje manjih korisničkih uređaja s multimedijским

elektroničkim uređajima uz manju potrošnju energije te upravo tu Bluetooth dolazi do izražaja jer ima manje tehničke zahtjeve te puno manju potrošnju električne energije od IEEE 802.11a/b/g/n/ac/ax tehnologija. Osim toga Bluetooth omogućuje unakrsnu kompatibilnost (engl. *Cross compatibility*) između novih i starih tehnologija, što je rezultiralo velikim prihvaćanjem tehnologije od strane proizvođača i korisnika. Kompatibilnost je omogućila da korisnici sa starijim uređajima mogu koristiti nove elektroničke uređaje poput audio sustava ili obratno. Za razliku od WiFi-a koji koristi OSI model, Bluetooth ima svoje vlastito zaglavlje koje omogućuje proizvođačima elektroničkih modula da ga prilagode funkciji koju modul obavlja (8, MATHWORKS).



Slika 2.2 Model stoga Bluetootha niske potrošnje

Transportni sloj je vrlo sličan fizičkom sloju OSI modela te ga svi Bluetooth moduli moraju imati. Dotični sloj se sastoji od Radio, Baseband i Link Manager slojeva što je vidljivo na slici 2.2. (8, MATHWORKS).

Radio sloj određuje frekvenciju, snagu i modulaciju koju će koristiti Bluetooth antena odnosno modul. Frekvencija na kojoj Bluetooth uređaji komuniciraju je između 2.400 GHz i 2.484 GHz, ali sami uređaji imaju na raspolaganju 79 kanala unutar raspona od 2.402 GHz do 2.480 GHz u razmaku od 1 MHz za Bluetooth *classic*, dok Bluetooth *low energy*, odnosno Bluetooth niske potrošnje ima na raspolaganju 40 kanala unutar istog raspona. Snaga kojom Bluetooth uređaj emitira određena je jednom od klasa u koju uređaj spada. Postoje ukupno tri klase. Klasa 1, čija je maksimalna snaga 100 mW, odnosno 20 dBm te nominalni doomet

100 metara, Klasa 2 čija je maksimalna snaga 2.5 mW, odnosno 4 dBm te nominalni doomet 10 metara. Klasa 3 čija je maksimalna snaga 1 mW, odnosno 0 dBm uz nominalni doomet od 1 metar. Dok klasa dva i tri ne zahtijevaju kontrolu snage, klasa 1 je dužna imati istu i to u inkrementima od 2 dB do 8 dB.

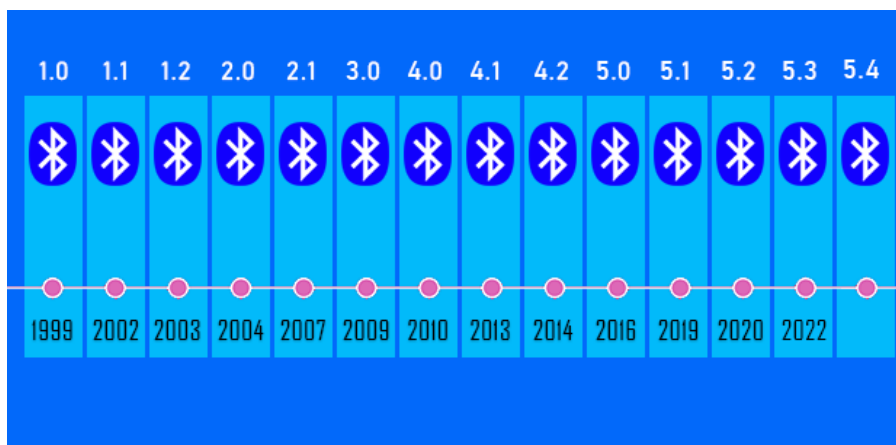
Baseband sloj je zadužen za *rekonfiguraciju* (engl. *reconfiguration*) ili inicijalnu konfiguraciju Bluetooth modula u Piconet ili Scatternet model rada. Modul u Piconet modelu rada može biti master ili slave, a pri tome je moguće maksimalno osam uređaja u jednoj komunikaciji u konfiguraciji, jedan master i sedam slave uređaja. Ukoliko je potrebno više uređaja, jedan modul čija je uloga u prošloj topologiji bila slave se pretvara u Scatternet master uređaj i samim time povezujemo dvije ili više Piconet topologija u jednu. Jedan master uređaj može imati spremljeno do 250 slave uređaja u neaktivnom stanju.

Link manager sloj je zadužen za održavanje linka i konfiguracije moda štednje energije. Dotični sloj može konfigurirati uređaj u jedno od četiri moguća stanja. *Hold* način rada omogućuje uređaju da komunicira u sinkronom modu, odnosno samo kad primi podatkovni okvir (engl. *Probe request frame*) te da ostatak vremena ne komunicira. *Sniff* način rada definira razdoblje, odnosno interval u kojem će se uređaj buditi i provjeriti postoje li paketi za njega ako ne nastavlja u režimu smanjene potrošnje. Zadnji način štednje energije je *parked* način rada, odnosno stanje u kojem uređaj cijelo vrijeme štedi energiju i ne komunicira dok god ne zaprimi prekid (engl. *Interrupt*) od glavnog kontrolera. Zadnji način rada je aktivno stanje unutar kojeg uređaj radi u punom potencijalu.

Ostali slojevi se mogu konfigurirati od strane proizvođača te mogu biti prilagođeni svrsi u kojoj se koriste (prijenos glazbe, datoteka, sirovih podataka i kontrole).

2.1.2.1 Verzije 802.15 standarda

Razlike između verzija Bluetooth tehnologije su većinski temeljene na poboljšanju brzine prijenosa, odnosno propusnosti dometa i stabilnosti veze između uređaja, smanjenju potrošnje električne energije i na kraju, u zadnjih par godina, i na sigurnosti podataka prilikom prijenosa.



Slika 2.3 Kronološki pregled generacija Bluetooth tehnologije

Bluetooth 1.0, odnosno prva verzija ove tehnologije je sama po sebi postavila standard kojeg će sve sljedeće verzije unaprjeđivati. Bluetooth je na početku bio vrlo problematična tehnologija koja je imala probleme sa stabilnošću prijenosa podataka, anonimnost nije postojala, a potrošnja je bila zanemarivo manja od WiFi-a. Sve se to mijenja s podverzijama 1.1 i 1.2. koje su bile dokaz da dotični koncept može funkcionirati i u konačnici zamijeniti žičane medije, prijenos korištenjem infracrvenog svjetla i slične tehnologije prošlog stoljeća. Najbitniji iskorak koji je Bluetooth 1.2 omogućio je preskakanje kanala, što se danas uvelike pokazalo korisnim i neophodnim jer unutar ISM frekvencijskog raspona imamo jako veliki broj tehnologija na istim frekvencijama, što rezultira interferencijom. Prirodno se s novom verzijom povećala i propusnost, stabilnost, vrijeme potrebno za povezivanje te je uveden Host Controller interface (HCI) odnosno sloj koji prenosi naredbe između matičnog uređaja i kontrolora koji omogućuje slanje nestandardiziranih naredbi koje specificiraju proizvođači čipova (9, PCMAG).

Bluetooth 2.0, poznatiji kao druga generacija je donio velike promjene u području povezivanja uređaja *secure simple pairing* tehnologijom koja je omogućila spajanje uređaja korištenjem četveroznamenastog pin koda u verziji 2.1. Osim sigurnosti uvedeno je i filtriranje uređaja prilikom spajanja te je povećana brzina unošenjem PSK (*phase shift keying*) modulacije u kombinaciji s GFSK modulacijom. Uz navedeno povećan je i domet s 10 metara na 33 metra na otvorenom te brzina s 0.7 Mbps na 3 Mbps (9, PCMAG).

Bluetooth 3.0 objavljen 2009. godine pojavio se točno unutar revolucije mobilnih uređaja. Kako je prepoznata potreba za bržim prijenosom podataka pri manjoj potrošnji i sve većom primjenom bežičnih periferijskih uređaja, nova generacije Bluetootha je uvela HS (*high speed*) način rada u koegzistenciji s 802.11, odnosno WiFi linkom što je dovelo do teoretske

brzine od 24 Mbps. Uvedene su nove tehnologije poput *Enhanced Power Control*, koji je omogućio kontrolu snage pri emitiranju, *L2CAP*, *Unicast Connectionless Data* i slično. Najveći problem ove generacije je bila poprilično povećana potrošnja električne energije, što je rezultiralo manjom implementacijom ove generacije nego prošle (9, PCMAG).

Bluetooth 4.0 je bio do sad najveći iskorak jer je omogućio BLE tehnologiju koja je omogućavala prijenos podataka uz minimalno korištenje energije, uz sve mogućnosti prethodnih generacija. Uvedeno je simultano korištenje LTE i Bluetooth tehnologije omogućavajući uspostavu poziva putem LTE mreže uz neometan prijenos podataka putem Bluetootha, što je uz redizajniranu audio arhitekturu paketa omogućilo ekspanziju bežičnih slušalica i mikrofona. Znatno je poboljšana sigurnost, smanjeno vrijeme otkrivanja uređaja, omogućena kontrola intervala oglašavanja i slično. Generacija 4.2 nema bitnijih iskoraka osim omogućavanja razvoja interneta stvari (IoT) uz podršku internetskih protokola (9, PCMAG).

2.1.3. Ostale tehnologije ISM pojasa

Ostale poznatije komunikacijske tehnologije koje za svoju komunikaciju također koriste ISM frekvencijski opseg su Zigbee, RFID, NFC i ShockBurst protokol kao i drugi protokoli vidljivi na slici 2.4.



Slika 2.4 Pregled istaknutih tehnologija na ISM frekvencijskom rasponu

Kao i sve tehnologije na ISM frekvencijskom opsegu, temelje se na frekvencijskom rasponu kojeg može koristiti svaka osoba bez dodatnih dozvola ili certifikata. Svaka od četiri gore navedene tehnologije ima svoju specifičnu namjenu te sukladno tome imaju različite brzine prijenosa, odnosno propusnosti, tipične udaljenosti za optimalnu povezanost, potrošnju energije, kao i razinu sigurnosti. Od četiri spomenute, Zigbee bi bio jedina tehnologija namijenjena za izravnu „klijent do klijent“ povezanost kao što su i Bluetooth i WiFi koji su u prethodnim potpoglavljima obrađivani kao IEEE standardi. Zigbee je također temeljen na IEEE 802 standardu, specifično na IEEE 802.15.4 standardu te prema svojoj specifikaciji ima domet od deset do sto metara, naravno ovisno o snazi pri kojoj se emitira. Sam Zigbee je prvobitno zamišljen kao tehnologija koja bi cjenovno bila alternativa WiFi-u i Bluetoothu, što je i postigao. Međutim, samim time nije usvojen kao tehnologija koja bi se koristila u perifernim uređajima te nije bila zastupljena sve do ekspanzije interneta stvari i pametnih senzora, kao i kućanskih uređaja koji većinski koriste Zigbee zbog manje cijene i njegove specifikacije koja je idealna za integraciju u pametne uređaje koji zahtijevaju duže operativno vrijeme na istom ograničenom izvoru napajanja, poput baterije te sigurnost koju Zigbee također omogućuje zbog implementirane 128bit simetrične enkripcije. Simetrična enkripcija je enkripcija za koju se koristi isti ključ za enkripciju na obje strane, što je dovoljno za osiguranje komunikacije između pametnog koncentratora i žarulje. Kao i WiFi, i Zigbee ima mogućnost povezivanja u mrežu uređaja, odnosno u mrežu u kojoj imamo jedan Zigbee koordinator i Zigbee krajnji uređaj te po potrebi uređaj koji dodatno proširuje domet zvani Zigbee preklopnik, što je kontradiktorno nazivu. Zigbee koordinator se brine za komunikaciju između više krajnjih uređaja te povezanost s internetom, ukoliko postoji potreba za istim.

ShockBurst protokol je vrlo sličan Zigbee tehnologiji, ali znatno je jednostavniji jer omogućuje isključivo jednostavnu dvosmjernu komunikaciju te u komunikaciji koristi pakete koji isključivo sadržavaju adresu uređaja koji bi ih trebao zaprimiti, zatim same podatke koji se šalju te bitove provjere kako bi se utvrdilo jesu li su paketi oštećeni, odnosno trebaju li biti prihvaćeni ili odbačeni ovisno o rezultatu. Kao i Zigbee, omogućuje kontrolu drugih uređaja te komunikaciju koncentratora (engl. *hub*) na krajnji uređaj ili između dva krajnja uređaja.

RFID i NFC tehnologije na ovome frekvencijskom rasponu zamišljene su kao tehnologije za komunikaciju na ultra kratkim dometima. Obje tehnologije većinski se koriste za

autorizaciju, kontrolu pristupa, prijenos kriptiranih podataka kao što su plaćanja te malih paketa podataka u identifikacijske svrhe. Obje tehnologije se koriste za jednosmjerni prijenos podataka na udaljenosti do 10 cm, s time da se RFID može koristiti u iznimnim situacijama i na većim udaljenostima, ali uz veliku varijabilnost samih očitavanja. RFID je često korišten u svrhu kontrole pristupa na kontrolnim točkama poput vrata, rampi i slično, dok se NFC koristi za prijenos informacija i sve češće kao tehnologija za beskontaktno plaćanje pametnim uređajima. Dotične tehnologije su, kao što je već navedeno, sposobne vršiti prijenos na malim udaljenostima s vrlo malim paketima u odnosu na WiFi i Bluetooth tehnologije, ali zbog toga su puno sigurnije za identifikacijske i platne svrhe jer znatno smanjuju mogućnost presretanja podataka. Dodatno, RFID je većinski pasivna tehnologija, što znači da je komunikacija inducirana od strane aktivnog čitača i ujedno je i izvor energije RFID uređaju, dok NFC može biti i aktivna i pasivna tehnologija.

3. Primjena i usporedba odabranih tehnologija ISM pojasa

Primjena i usporedba triju odabranih protokola ISM pojasa je temeljena na njihovoj dosadašnjoj zadnjoj verziji dokumentacije dostupne kroz otvorene domene, odnosno one domene čiji sadržaj je besplatan te sukladno time i svima dostupan. Nije bilo potrebe za usporedbom starijih verzija, već je napravljena teoretska usporedba zadnje bitnije verzije. Unutar prva tri potpoglavlja prikazana je namjena zadnje verzije, kao i fokus te verzije, što daje sliku o trenutnim potrebama tržišta i načinima na koje se tehnologija prilagođava istima. Zadnje potpoglavlje ovog poglavlja opisuje testove koji su napravljeni kako bi s testiranim hardverom usporedilo što se može izvršiti te koje vrijednosti unutar mjerenih parametara postiže pojedina tehnologija.

3.1. WiFi

WiFi je bežična mrežna tehnologija temeljena na IEEE 802.11 standardu. Zamisljen je kao tehnologija koja umrežava uređaje u jednu infrastrukturu bez korištenja fizičkih medija za prijenos elektromagnetskih impulsa, odnosno podataka. WiFi u svojoj zadnjoj inačici WiFi 6, temeljenoj na IEEE 802.11ax podverziji standarda IEEE 802.11, omogućuje uređajima prijenos podataka brzinom od 9.6 Gbps te kao i njegove prethodne inačice podržava dvije frekvencije 2.4 GHz i 5 GHz. Njegova primarna namjena je daleko od prvobitne zamisli međusobnog povezivanja korisničkih uređaja kako bi izašli na internet. Naime, WiFi 6 je orijentiran više prema svijetu stvari, odnosno uređaji povezani s internetom koji se sve više probijaju u svakodnevni život korisnika. Optimizacija protokola za internet stvari značila je premještanje fokusa pri razvoju s brzine prijenosa podatka na stabilnost veze u scenariju kad je spojeno više različitih uređaja, što je dosadašnjim verzijama stvaralo problem. Prema navedenom razvidno je da je WiFi tehnologija optimizirana za računalne mreže s velikim brojem uređaja (10, RFPAGE).

3.2. Bluetooth

Trenutna glavna verzija Bluetooth standarda je 5, dok je aktualna podverzija 5.3. Nažalost, aktualna verzija 5.3 u trenutku pisanja ovog dokumenta nije toliko rasprostranjena kao podverzija 5.2 te je sukladno tome obrađivana verzija 5.2. Bluetooth i dalje ostaje protokol za povezivanje i kontrolu periferijskih uređaja s klijentskim uređajima poput mobitela i računala. Bluetooth je kao tehnologija adaptiran u veliki broj malih uređaja koju današnji potrošači koriste u sve većoj mjeri i zahtijevaju da budu bežični umjesto postojećih žičnih. Kao odgovor spomenutom trendu novi standard 5.0 je razvijan s naglaskom na smanjenje potrošnje energije i stabilnost veze između korisničkog uređaja, poput pametnog telefona i perifernog uređaja, poput multimedijских reproduktora, zvučnika i sličnih uređaja. Bluetooth 5 može razviti brzinu od 2 Mbps (11, HOWTOGEEK).

3.3. Zigbee

Trenutna verzija Zigbee protokola je 3.0, s istoimenom aktualnom podverzijom. Zigbee je za razliku od WiFi-a i Bluetootha zamišljen kao isključivo protokol za prijenos malih kontrolnih podataka u svrhu kontrole eksternih uređaja koji se bežično kontroliraju. Zigbee također radi na 2.4 GHz frekvencijskom rasponu kao i dva prethodno obrađena standarda, ali za razliku od dotičnih ima znatno manju brzinu prijenosa koja iznosi nešto više od 250 kbps. Zadnji standard je dizajniran s fokusom na buku, odnosno interferenciju na koju sve češće Zigbee nailazi zbog povećanog broja uređaja na 2.4 GHz frekvencijskom rasponu. Osim dotičnog raspona može koristiti i 900 MHz, kao i 868 MHz raspon u kombinaciji s 2.4 GHz u svrhu poboljšanja stabilnosti konekcije. Dodatno zadnji standard Zigbeea podržava 128-bitnu AES enkripciju, što onemogućuje otimanje kontrole nad uređajima koji koriste Zigbee (12, TECHTARGET).

4. Praktični zadatak

Cilj praktičnog zadatka ovog rada je izrada alternativnog načina kontrole rasvjetnih tijela bez potrebe za korištenjem pasivnih infracrvenih senzora koji se trenutno uvelike koriste za uključivanje rasvjetnih tijela detekcijom pokreta tijela koje isijava infracrveno zračenje. Osim spomenutog, rješenje nastalo ovim praktičnim zadatkom se može dodatno proširiti kako bi ispunjavalo i druge svrhe, a ne samo jednu zadanu.

4.1. Opis postojećeg rješenja

Većina trenutnih rješenja za kontrolu rasvjete koja koriste neku vrstu analize prostora ili detekcije prisutnosti tijela koje isijava infracrveno zračenje se temelji na pasivnim infracrvenim sensorima za pokret, čija je uloga isključivo prepoznati nalazi li se osoba (tijelo koje isijava infracrveno zračenje) u prostoru koji je pokriven sensorom. Takva rješenja su vrlo ograničena, podložna greškama, nisu optimizirana te ispunjavaju isključivo jednu svrhu, odnosno ne mogu se u daljnjem razvoju proširiti na više uloga. Sami senzori pokreta pokrivaju ograničeno područje koje se nalazi u specificiranom zahvatnom kutu pojedinog senzora. Sukladno tome potrebno je koristiti više senzora za pokrivanje jedne prostorije, a posebice dužih i većih prostorija poput hodnika i dvorana. Ideja ovog projekta je otkloniti sve gore spomenute nedostatke te smanjiti trošak u odnosu na postojeća rješenja te kreirati prostor za buduće inovacije koji će dodatno proširiti spektar funkcionalnosti u odnosu na već postojeće pasivne standardne senzore za upravljanje s rasvjetom. Rješenje će se sastojati od tri komponente koje su sam kontrolor, čija je uloga pretraživanje frekvencijskog pojasa i klijentski uređaj koji oglašava svoj identitet kako bi ga skener mogao prepoznati.

4.2. Predložena idejna rješenja

Nekoliko prijedloga rješenja je razmatrano prilikom razvojne faze idejnog rješenja. Prvo predloženo rješenje je skeniranje medija korištenjem IEEE 802.11 standarda, odnosno WiFi-a na način da vršimo kontinuirano skeniranje medija kako bi se detektirali upravljački okviri (engl. *probe request*) koje emitiraju mobilni uređaji u vremenskom intervalu koje je definirao proizvođač, kako bi se oglasili i spojili na pristupnu točku i samim time indicirali svoju prisutnost, odnosno prisutnost korisnika. Uređaj čija je uloga presretanje upravljačkih

okvira koje emitiraju klijentski uređaji konstantno nadzire trinaest kanal WiFi-a, te ukoliko pojedini upravljački okvir zadovoljava definirane parametre kao što su ime i snaga, relej uključuje rasvjetno tijelo koje priključeno na dotični skener, odnosno njegov mikroupravljač. Drugo predloženo rješenje se također temelji na WiFi tehnologiji, ali glavna razlika je android aplikacija kao matični dio rješenja. Dotična aplikacija služi kao akcelerator/katalizator čija je uloga kontinuirano oglašavanje upravljačkih okvira koji su autorizirani za uključivanje rasvjetnih tijela. Treće i četvrto predloženo rješenje imaju istu bazu, odnosno oba rješenja koriste zaseban uređaj u obliku privjeska koji emitira paket, a čija je uloga aktivacija rasvjetnih tijela u određenom prostoru unutar kojeg je dotično rješenje implementirano. Treće rješenje je temeljeno na Bluetooth tehnologiji, odnosno IEEE 802.15 standardu, koji je također lociran unutar ISM frekvencijskog opsega pri 2.4 GHz. Uređaj u obliku privjeska, koji se sastoji od mikroupravljača, antenskog sklopa za emitiranje paketa te baterije i kontrolera iste, emitira u zadanim vremenskim intervalima pakete s redefiniranim imenom i UID kodom, koji po primitku od strane skenera bivaju uspoređeni sa zadanim te ukoliko se poklapaju i razina snage signala je zadovoljena, uključuju rasvjetno tijelo u prostoru. Četvrto rješenje je identično, no temelji se na NRF24L01 modulu koji može isključivo mjeriti snagu što će se pokazati vrlo nepraktičnim zbog nemogućnosti identifikacije i razaznavanja uređaja od ostalih što bi značilo konstanto upaljenu rasvjetu bez obzira na porijeklo signala.

4.3. Testiranje idejnih rješenja

Testirana su ukupno tri različita rješenja od predložena četiri rješenja. Prvo odbačeno rješenje je ono koje uključuje razvoj aplikacije za Android i iOS uređaje, koje bi emitirali „probe request pakete“ u određenom vremenskom intervalu. To rješenje je odbačeno zbog ograničenja koja su nametnuli proizvođači u svrhu smanjenja potrošnje baterije. No, osim ograničenja koja su nametnuta, radilo bi se o dosta kompleksnoj aplikaciji koja bi morala imati administratorski, odnosno *root* pristup, što u slučaju s prosječnim korisnicima ne bi bilo izvedivo zbog kršenja tvorničkog jamstva koje prestaje vrijediti u slučaju provedbe procedure za dobivanje administratorskog pristupa za zadani uređaj. Drugo odbačeno rješenje se temeljilo na skeniranju upravljačkih okvira koje uređaji emitiraju za sve SSID-ove koje imaju u svojoj internoj tablici kako bi se povezali i autorizirali na već poznatu bežičnu mrežu. Prilikom testiranja drugog idejnog rješenja došlo je do javljanja različitih

prepreka od kojih se neke nisu mogle izbjeći bez modificiranja operacijskog sustava uređaja, što nije prihvatljivo uzevši u obzir da se razvijeno rješenje mora moći integrirati u klijentske uređaje, kako osobne tako i poslovne. Konkretno, dva problema koji se javljaju su nemogućnost modificiranja i prilagodbe paketa te vremenski interval slanja paketa koji uvelike varira u ovisnosti od verzije Android i IOS operacijskog sustava, proizvođača uređaja, modela uređaja i načina rada uređaja (štednja baterije, balansirano i slično). Kako se dotična metoda pokazala vrlo varijabilnom i samim time nepouzdanom jer bi razvijeno rješenje uvelike ovisilo o jako puno vanjskih čimbenika na koje ne možemo utjecati. Metoda je odbačena nakon ekstenzivnog testiranja iste. Četvrto predloženo rješenje se također temeljilo na ISM frekvencijskom opsegu na način da postoje privjesak i skener kao kod trećeg rješenja, ali da koriste isključivo snagu radio signala bez mogućnosti identifikacije korištenjem imena ili neke druge oznake. Zadnje rješenje se pokazalo nesigurnim i dosta nepouzdanim te iz tog razloga nije obrađivano.

4.4. Odabrano rješenje

Odabrano rješenje se temelji na IEEE 802.15.1 standardu, odnosno Bluetooth tehnologiji te je odabrano iz više razloga koji su detaljno vidljivi u prethodnom poglavlju, dok su u ovom poglavlju sažeti. Bluetooth omogućuje kompletnu kontrolu nad cijelim procesom implementacije i izrade, dok u slučaju WiFi tehnologije postoje prethodno spomenuta ograničenja od trećih strana koja onemogućuju implementaciju i željene rezultate. Odabrano rješenje sastoji se od dvije komponente. Prva komponenta je elektronički sklop koji se integrira unutar rasvjetnog tijela ili na dovodu električne energije do rasvjetnog tijela. Dotična komponenta ima tri uloge. Prva uloga je skeniranje, odnosno detekcija snage Bluetooth signala, druga je usporedba zaprimljenih parametara s autoriziranim, a treća uloga je uključivanje i isključivanje rasvjetnih tijela korištenjem elektromagnetskog releja. Druga komponenta je prijenosni uređaj u obliku privjeska za ključeve ili akreditacije. Druga komponenta zadužena je za emitiranje Bluetooth *beacona* u određenom vremenskom intervalu kako bi prva komponenta mogla uključiti rasvjetu. Prva komponenta, dalje u tekstu kontroler, vrši kontinuirano skeniranje te u slučaju registriranja Bluetooth *beacon* paketa vrši usporedbu zaprimljenog imena, UID-a i snage signala s preddefiniranim varijablama unutar programskog koda. Ukoliko se svi dotični parametri poklapaju, uključuje rasvjetu, odnosno

aktivira spojeni relej modul koji preklapa 220 V naizmjenične električne energije koja napaja rasvjetno tijelo ili bilo koji drugi spojeni uređaj koji je spojen na modul.

4.5. Usporedba s postojećim rješenjima na tržištu

Prilikom istraživanja tržišta nije pronađeno ni jedno rješenje koje koristi detekciju snage Bluetooth signala za uključivanje i isključivanje rasvjete. Pronađena su vrlo slična rješenja koja koriste Bluetooth tehnologiju za lociranje inventara i rješenja koja koriste zasebna tipkala za uključivanje jednog ili više rasvjetnih tijela u jednoj prostoriji.

Rješenja koja koriste Bluetooth tehnologiju za lociranje inventara i osoba poput Blueiota su temeljena na više pristupnih točaka koje koriste ugrađenu funkcionalnost Bluetooth tehnologije određivanja dolaznog kuta (engl. *Angle of Attack*) signala. Nakon što se odredi dolazni kut i izračuna snaga signala, bazna stanica triangulacijom određuje poziciju sata ili oznake. Takva rješenja se koriste isključivo za lociranje unutar zatvorenih prostora gdje globalni pozicijski sustav nije dostupan i nemaju mogućnost uključivanja i isključivanja drugih uređaja.

Druga kategorija uređaja su bežična tipkala temeljena na Bluetooth tehnologiji čija je uloga u trenutku pritiska poslati signal za uključivanje rasvjete na nekom od pametnih uređaja za koji je dotična tipka programirana. Takva rješenja mogu kontrolirati uređaje isključivo na jednoj lokaciji što nije praktično.

4.6. Implementacija rješenja

Prva faza implementacije rješenja je bila temeljena na rupičastoj pločici kako bi se lakše moglo testirati i mijenjati komponente koje će se kasnije nalaziti u finalnom rješenju. Nakon odabira hardverskih komponenti uslijedilo je programiranje te druga faza implementacije. Unutar druge faze rješenje koje je proizašlo kao gotovi produkt iz ovog rada je bilo implementirano u učionicama C3 i C6 Algebra kampusa čiji je tlocrt vidljiv na slici 4.1 te u trenutku pisanja ovog dokumenta rješenje je uspješno prošlo prva testiranja.



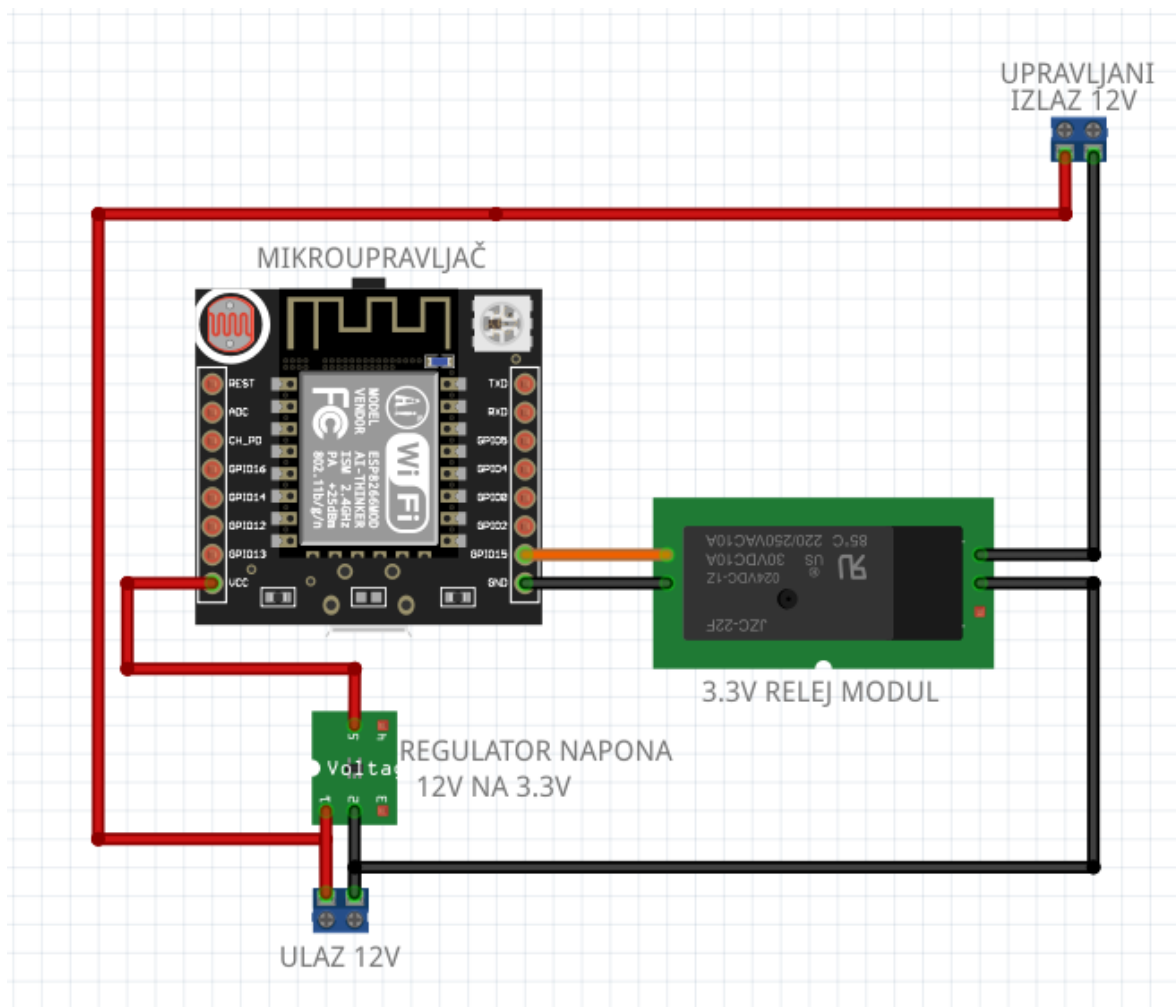
Slika 4.1 C etaža Algebra kampusa

Uređaj koji ima ulogu skenera je najprije izrađen na rupičastoj pločici te je nakon zadovoljavajućih rezultata prepravljen na način da odgovara dimenzijama male razvodne kutije koja je korištena za finalnu verziju kao zaštita komponenti od atmosferskih utjecaja.

4.6.1. Hardver

Tijekom faze izrade hardverskog rješenja u svrhu izvedbe odabranog rješenja korišteno je nekoliko različitih razvojnih modula ovisno o tehnologiji iz ISM frekvencijskog pojasa koja je testirana u zadanom trenutku. Svaka pojedina razvojna platforma je zahtijevala prilagođavanje električne sheme kao i modula koji se koriste u kombinaciji s istom. Kako je na kraju kao najoptimalnije rješenje odabran Bluetooth, sukladno tome je i finalna platforma ESP32-WROOM-32 odabrana u obliku razvojnog modula ESP32 DEVKITV1.0. Modul ima ukupno 36 ulazno-izlaznih portova koji rade na 3.3 V logici. Maksimalni takt mikroprocesora je 240 MHz te posjeduje dvije jezgre. Takt se može dodatno konfigurirati na niže frekvencije u svrhu uštede električne energije, što je iskorišteno kod prijenosnog uređaja. Modul ima integriranu antenu za Bluetooth i WiFi te podržava i način rada niske potrošnje (engl. *low energy*). ESP 32 omogućuje skeniranje WiFi 2.4 GHz frekvencijskog raspona, kao i 2.4 GHz Bluetooth frekvencijskog raspona. Prilikom izbora razvojne platforme bilo je jako bitno odabrati platformu čije su komponente dostupne u slobodnoj prodaji te nisu specifične za proizvođača platforme, što nam omogućuje daljnji razvoj ovog rješenja u smjeru komercijalizacije. Kao što je već napomenuto, čip posjeduje dvije Tensilica Xtensa LX6 32bit jezgre, što omogućuje paralelno izvođenje dvaju operacija istovremeno, no nažalost u ovome projektu nije bilo primjene za spomenutu. Mikroprocesor je korišten i za klijentski i skenerski dio projekta. Postoji jedna vrlo bitna razlika između klijentske i skenerske strane. Klijentska strana ne koristi ulaze i izlaze koji su dostupni na razvojnoj

platformi jer isključivo emitira svoj „identitet“, dok senzorska strana koristi nekoliko ulazno-izlaznih portova u svrhu kontrole vanjskog modula koji je neophodan za izvedbu cjelokupnog rješenja. Vanjski modul je 3.3 V relej s integriranom logikom za kontrolu istog. Dotični modul prekida ili uključuje dotok električne energije do rasvjetnog tijela, što u konačnici omogućuje interakciju korisnika s istim jer bez vanjskog modula ne bi bilo moguće preklapanje visokih napona kao što je standardni izmjenični napon na 220 V u Republici Hrvatskoj, kao i u većini svijeta.



Slika 4.2 Električna shema skenera

Kod klijentskog modula iskorišten je i sustav upravljanja baterijom koji dolazi integriran s razvojnim modulom. Sustav je korišten u svrhu punjenja baterije uređaja te kontrole napona za istu prilikom svakodnevnog korištenja.

4.6.2. Softver

Prvo se iniciraju varijable koje će biti korištene za pohranu podataka i kontrolnih jedinica. Ukupno se koristi pet varijabli, a od toga su četiri varijable za pohranu cijelog broja (engl. *integer*) te jedna varijabla za pohranu niza znakova (engl. *array of characters*). Prva varijabla imena „SNAGA“ služi za pohranu cijelog broja očitane snage emitiranja, odnosno RSSI-ja našeg privjeska. Druga varijabla imena „LED“ i čija vrijednost se ne mijenja prilikom izvođenja programa, služi za pohranu broja izlaza na koji je spojena naša relej, odnosno led traka. Treća varijabla imena „CTRLLED“ također ima fiksnu vrijednost te je iskorištena u svrhu definiranja digitalnog izlaza na koji je spojena kontrolna led dioda, a čija je uloga indicirati je li uređaj pod naponom ukoliko nema privjeska u blizini te je li rasvjeta isključena. Četvrta varijabla imena „FLAG“ je u kodu promjenjiva te ista služi za kontrolu unutar koda, kako bi se definiralo je li očitani Bluetooth uređaj upravo onaj koji je definiran u dijelu skeniranja, odnosno naš autorizirani uređaj. Peta varijabla tipa *string* služi za pohranu očitanih imena niže u kodu te njegovu usporedbu s autoriziranim imenom.

```
int SNAGA = -999;

int LED = 18;

int CTRLLED = 2;

int FLAG = 0;

String IME;
```

Nakon inicijalizacije varijabli slijedi inicijalizacija biblioteka koje su korištene u programskom kodu u svrhu pozivanja gotovih funkcija napisanih specifično za hardver ESP32 mikroupravljača i Bluetooth protokol. Dotične biblioteke su prethodno instalirane na računalo, odnosno dodane su u mapu Arduino IDE-a. Ukupno su korištene četiri biblioteke koje su sastavni dio glavne biblioteke koja omogućuje podršku Bluetootha niske potrošnje na ESP32 mikroupravljaču za Arduino razvojno okruženje.

```
#include <BLEDevice.h>

#include <BLEUtils.h>

#include <BLEScan.h>

#include <BLEAdvertisedDevice.h>
```

Nakon inicijalizacije definirana je dodatna varijabla koja je parametarska varijabla te putem koje se određuje dinamika skeniranja medija u svrhu pronalaska Bluetooth uređaja, njihove

snage emitiranja, odnosno RSSI-ja te identifikacijskog imena koje se koristi za usporedbu s preddefiniranim autoriziranim uređajem.

Pokazivač iz varijable „BLEScan“ na vrijednost spremljenu unutar „pBLEScan“ datoteke iz biblioteke služi za pozivanje funkcija kasnije u kodu.

```
int scanTime = 1;
BLEScan* pBLEScan;
```

Klasa „MyAdvertisedDeviceCallback“ te poziv funkcije „BLEAdvertisedDeviceCallbacks“ su primarni dijelovi programskog koda koji zapisuju očitane vrijednosti u varijable namijenjene za kasniju usporedbu očitanih vrijednosti s preddefiniranim vrijednostima u programskom kodu. Nakon očitavanja i pohrane vrijednosti, one se korištenjem dodane „if“ tvrdnje koja provjerava istinitost uspoređuju sa zadanim vrijednostima te ukoliko se te iste vrijednosti poklope zapisuje se broj jedan u FLAG varijablu.

```
class MyAdvertisedDeviceCallbacks: public BLEAdvertisedDeviceCallbacks {
    void onResult(BLEAdvertisedDevice advertisedDevice) {
        SNAGA = advertisedDevice.getRSSI();
        IME = advertisedDevice.getName().c_str();
        if (SNAGA > -95 && IME == "RonyBLE") {
            FLAG = 1;
        }
    }
};
```

Unutar *void setup* inicijalizacijskog dijela koji se izvršava isključivo jednom prilikom uključivanja mikroupravljača ili ponovnog pokretanja istog, definirani su izlazi na kojima se nalazi relej koji uključuje dovod električne energije do potrošača te kontrolna LED dioda koja indicira da je uređaj operativan dok rasvjeta nije uključena. Također unutar *void setup* dijela koda izvršava se inicijalizacija novog skeniranja, odnosno procesi koji definiraju strukture i pozivaju biblioteke te pokreću aktivno skeniranje svakih sto milisekundi.

```
void setup() {
    pinMode(LED, OUTPUT);
    pinMode(CTRLLED, OUTPUT);
```

```

BLEDevice::init("");

pBLEScan = BLEDevice::getScan();

pBLEScan->setAdvertisedDeviceCallbacks(new
MyAdvertisedDeviceCallbacks());

pBLEScan->setActiveScan(true);

pBLEScan->setInterval(100);

pBLEScan->setWindow(99);

}

```

Void loop petlja se izvršava beskonačno puta, odnosno dok ne isključimo izvor energije koji napaja mikroupravljač. Dotična petlja poziva funkcije za skeniranje medija, briše rezultate nakon očitavanja kako bismo mogli novi spremite te provjerava je li uvjet „if“ tvrdnje ispunjen te ukoliko jest, aktivira relej koji spaja rasvjetu na dovod/izvor električne energije.

```

void loop() {

    BLEScanResults foundDevices = pBLEScan->start(scanTime, false);

    pBLEScan->clearResults();

    if (FLAG == 1) {

        digitalWrite(LED, LOW);

        digitalWrite(CTRLED, HIGH);

        FLAG = 0;

    }

    else{

        digitalWrite(LED, HIGH);

        digitalWrite(CTRLED, LOW);

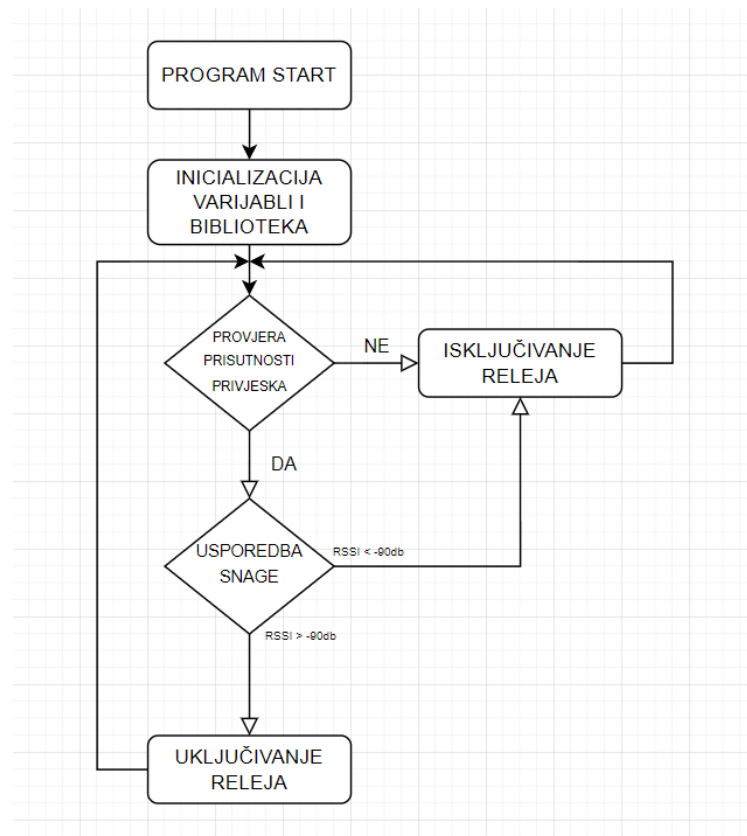
    }

    delay(50);

}

```

Iznad objašnjeni kod moguće je vizualizirati korištenjem dijagrama toka (slika 4.2) za lakše razumijevanje funkcionalnosti samog programskog koda skenera. Dijagram tijeka je prikazan na sljedećoj stranici.



Slika 4.3 Dijagram tijeka programskog rješenja

Drugi programski kod namijenjen je prijenosnom uređaju koji oglašava svoje ime te dodatne identifikacijske podatke u svrhu autorizacije i na kraju uključenja rasvjete. Ponovno imamo inicijalizaciju prethodno spomenutih biblioteka koje omogućuju korištenje Bluetootha niske potrošnje na ESP32 mikroupravljaču za Arduino.

Nakon inicijalizacije definirani su unikatni identifikacijski kodovi koji se mogu koristiti za dodatnu potvrdu uređaja.

```
#include <BLEDevice.h>
```

```
#include <BLEUtils.h>
```

```
#include <BLEServer.h>
```

```
#define SERVICE_UUID          "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
```

```
#define CHARACTERISTIC_UUID   "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"
```


Void setup petlja pokreće inicijalno postavljanje Bluetooth uređaja te pridruživanje imena definiranog u kodu s varijablama iz biblioteka. Nakon što se izvrši inicijalno postavljanje biblioteka uključuje oglašavanje na ESP32 mikroupravljaču te kao rezultat toga naš uređaj postaje vidljiv ostalim Bluetooth uređajima.

```
void setup() {

    BLEDevice::init("RonyBLE");

    BLEServer *pServer = BLEDevice::createServer();

    BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);

    BLECharacteristic *pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
        CHARACTERISTIC_UUID,
        BLECharacteristic::PROPERTY_READ |
        BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
    );

    pCharacteristic->setValue("RonyBLE");

    pService->start();

    BLEAdvertising *pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();

    pAdvertising->addServiceUUID(SERVICE_UUID);

    pAdvertising->setScanResponse(true);

    pAdvertising->setMinPreferred(0x06);

    pAdvertising->setMinPreferred(0x12);

    BLEDevice::startAdvertising();

}

void loop() {

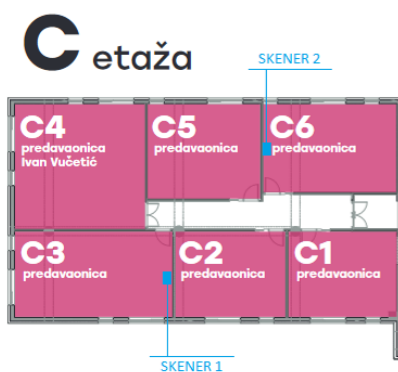
    delay(100);

}
```

5. Testiranje rješenja

Implementirano rješenje je podvrgnuto nekoliko testova kako bi se potvrdila uspješnost izvedbe te željeni način operativnog funkcioniranja. Napravljeno je ukupno pet testova od kojih su svi bili uspješni jer je samo rješenje funkcioniralo od početka, kao što je i predviđeno. Ali bez obzira što je rješenje bilo funkcionalno, potrebno je odrediti sama ograničenja rješenja.

Prvim testom utvrđivao se utjecaj uređaja koji su temeljeni na IEEE 802.11 standardu s rješenjem koje je temeljeno na IEEE 802.15 standardu. Dotičnim testom praćena je razina interferencija, odnosno utjecaj WiFi pristupnih točaka na skener i privjesak prilikom rada na 2.4 GHz frekvencijskom rasponu. Korišteno je ukupno pet pristupnih točaka pri njihovoj maksimalnoj snazi emitiranja na različitim kanalima. Za nadzor frekvencijskog raspona korišten je analizator spektra koji je proizveo Seedstudio. Model korišten za analizu u svim testovima je RF Explorer, specifično namijenjen za analizu 2.4 GHz frekvencijskog opsega. Unutar prvog testa je ispitivano ponašanje uređaja, odnosno utjecaj interferencije u gustoj mreži kad su svi uređaji smješteni u istu prostoriju, pri malom razmaku maksimalno od jednog metra te u konfiguraciji kada je skener pozicioniran u sredini između WiFi pristupnih točaka (engl. *access point*) dok je privjesak pokretan. Mjeren je utjecaj interferencije na sam domet i pouzdanost očitavanja u iznad spomenutim uvjetima.



Slika 5.1 Uvećani tlocrt C etaže

Drugim testom utvrđivan je maksimalni domet na primjeru poslovne zgrade, preciznije prvom katu Algebra kampusa, u učionicama C3 i C6 (slika 5.1) gdje su dva prototipna modela bila postavljena u svrhu testiranja na pozicije iznad ploče za pisanje, kao najoptimalniji položaj za ovakav tip elektroničkog uređaja. Nakon postavljanja skenera na

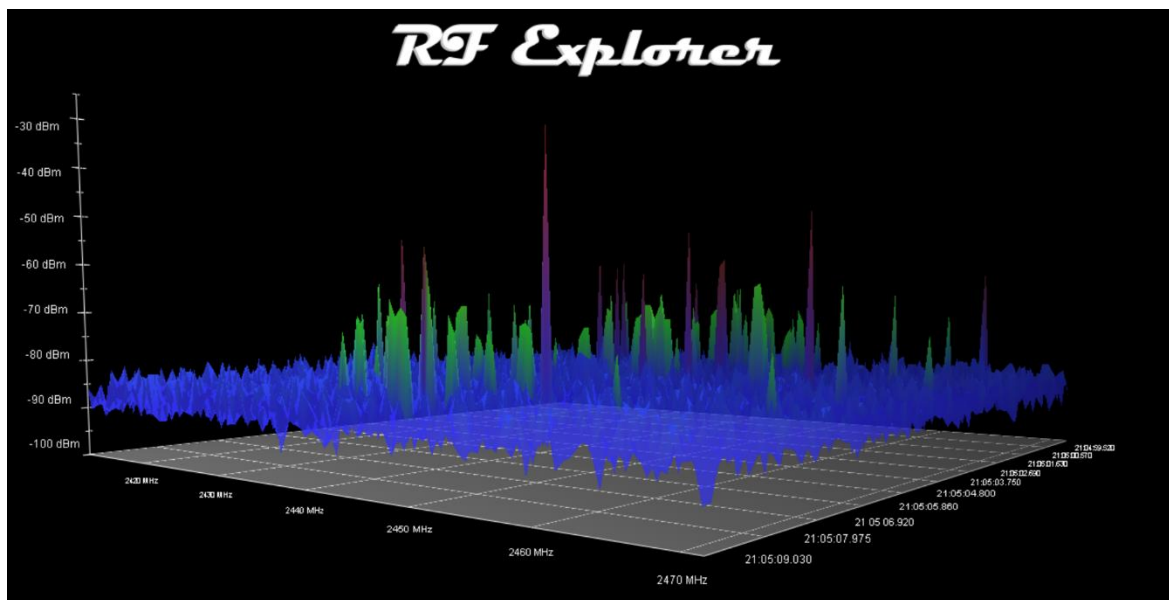
iznad spomenutu fiksnu poziciju uslijedilo je i samo testiranje kojim je utvrđivan maksimalni domet uređaja pri različitim vrijednostima parametra osjetljivosti te različitim položajima uređaja na osobi koja se kretala.

Treće testiranje je identično gore spomenutom testiranju, ali ovoga puta na otvorenom prostoru kako bi se utvrdio apsolutni limit rješenja. Također u ovom testu je utvrđivana funkcionalnost skenera u situaciji kada imamo više privjesaka s autoriziranim imenom.

Četvrto i peto testiranje je identično, no zbog otkrivenih poteškoća u radu rješenja razdvojeno je u dva testa kako bi se testirale završne zakrpe programskog koda. Dotična testiranja su provedena u stvarnim uvjetima gdje je uz asistenciju mentora rješenje bilo podvrgnuto nekoliko dana uvjetima stvarne primjene u učionici C3 Algebra kampusa.

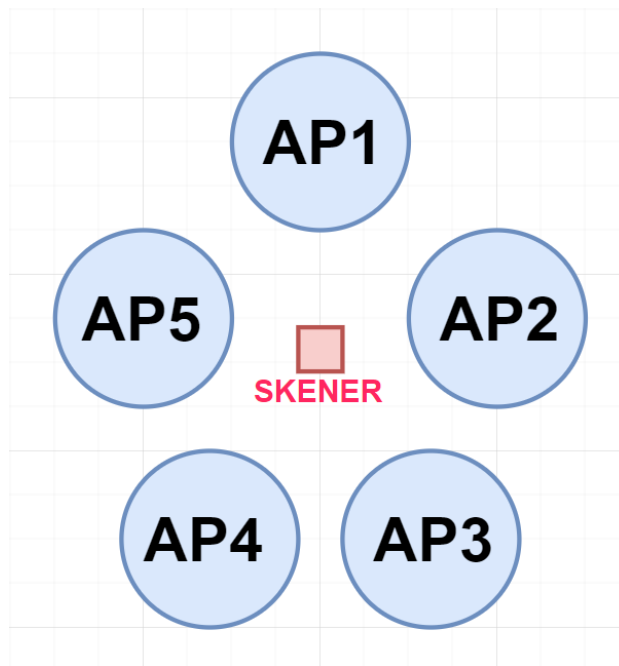
5.1. Analiza i rezultati testiranja

Unutar prvog testiranja, postavljeno je u krug ukupno pet pristupnih točaka na udaljenosti od jednog metra jedne od druge. Svaka pristupna točka je konfigurirana na različit kanal od prethodnih pristupnih točaka kako bi se što više zasitio frekvencijski raspon. Razina šuma generirana od strane pristupnih točaka je vidljiva sa slike 5.2.



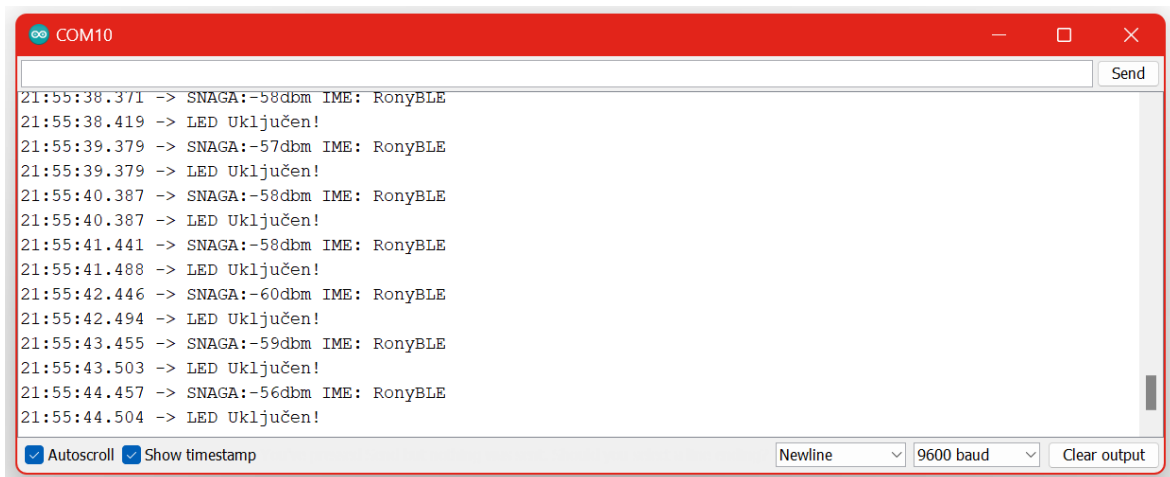
Slika 5.2 Mjerenje šuma

Skener je postavljen u sredinu testne instalacije na udaljenosti od otprilike jednog metra kao što je prikazano na slici 5.3. Zatim je skener konfiguriran na osjetljivost od -60db, što znači da ukoliko je snaga veća ili jednaka, indikativna dioda će biti uključena.



Slika 5.3 Raspored uređaja prilikom testiranja

Nadziranjem konzole (slika 5.4) tijekom testiranja potvrdili smo da se skener uredno aktivira na istim udaljenostima kao što je to bilo i prije samog testiranja (8 metara zračne linije pri -60db), što nas dovodi do zaključka da interferencija nije prisutna ili je zanemarivih vrijednosti.



Slika 5.4 Arduino serijska konzola

Kako se to nije slagalo s očekivanim ishodom, napravljena je detaljna analiza istog te ponovno testiranje, no prije samog testiranja zapisana je frekvencija emitiranja privjeska te je iznosila 2462 MHz što je ekvivalentno dvanaestom kanalu WiFi-a te ponovnim paljenjem

pristupnika nije ustanovljena interferencija. Razlog zašto interferencija ne postoji, odnosno preciznije ne dolazi do izražaja, je automatsko preskakanje kanala od strane privjeska koji oglašava „RonyBLE“. Dotično ponašanje nije rezultat koda već je to postojeći mehanizam Bluetooth protokola koji je ugrađen kao funkcija u Bluetooth biblioteci. Zaključak dotičnog testa je da rješenje neće imati poteškoća pri radu u okolini s više pristupnih točaka.

Drugo testiranje također je rezultiralo novim otkrićima, konkretno otkrivena je interferencija između čovjeka i privjeska, odnosno apsorpiranje radio signala od strane ljudskog tijela u trenutku kad se primjera radi privjesak nalazi u zadnjem džepu hlača na udaljenosti većoj od dva metra. Naime, od skenera do privjeska potrebna je osjetljivost i do 15% veća nego što je konfigurirano. Nažalost, samo povećanje osjetljivosti nije rješenje jer se istim povećava i radijus skeniranja pa to može dovesti do bespotrebnog paljenja svijetla dok se privjesak nalazi primjerice u hodniku ili čak u drugoj prostoriji blizu zida. Također ovim testiranjem utvrđeno je da privjesak može aktivirati svijetlo čak ako se nalazi unutar druge prostorije, što bi značilo da će u isto vrijeme biti aktivna dva izvora rasvjete ukoliko je zadovoljena osjetljivost na oba skenera. Unutar potpoglavlja 5.2. će biti predloženo rješenje za ovaj izazov aktivacije dvaju izvora u isto vrijeme. Osim prethodno spomenutih izazova na koje je projekt naišao, otkriveno je da signal može biti otkriven i do petnaest metara udaljenosti od skenera do privjeska unutar zgrade gdje postoji nekoliko zidova između dva uređaja. Također su utvrđene i poznate prepreke koje stvaraju refleksiju radio signala, a to su staklo, monitori i betonska armatura koja je korisna prepreka jer omogućuje više etažno postavljanje uređaja bez da privjesak s kata iznad ili ispod aktivira rasvjetu koju ne bi trebao aktivirati.

Treće testiranje je imalo zadatak utvrditi maksimalnu praktičnu udaljenost detekcije te ponašanje skenera u situaciji s više privjesaka. Treće istraživanje provedeno je više dana zbog devijacija u rezultatu. Prvi dan vršeno je testiranje na području znanstveno sveučilišnog kampusa Borongaj u Zagrebu, gdje je potvrđeno da vlaga u zraku uvelike utječe na maksimalni domet uređaja. Maksimalni potvrđeni domet pri osjetljivosti od minus sto dvadeset decibela je sto pet metara. Ukoliko bi se mogla konfigurirati snaga emitiranja privjeska, vjerojatno bi domet bio veći, no izlazio bi iz zakonskih regulativa.

Četvrto testiranje nije imalo određeni vremenski raspon koliko bi trebalo trajati, već su uređaji postavljeni te je izvršeno višednevno testiranje koje je potvrdilo funkcionalnost uređaja, kao i gore navedene poteškoće s blokiranjem signala od strane ljudskog tijela. Također, četvrto testiranje je rezultiralo potrebom za petim testiranjem koje nije bilo

prvobitno predviđeno zbog toga što je četvrtim testiranjem ustanovljeno da se relej modul korišten u rješenju pregrijava nakon nekog vremena, što izaziva i pregrijavanje samog mikroupravljača te se nakon nekog vremena javljaju nepravilnosti u radu skenera. Dotično je uspješno riješeno tako da je umjesto normalno spojenog izlaza releja korišten normalno prekinuti izlaz releja, kako bi relej bio aktivan samo kada je rasvjeta uključena, što je uvelike smanjilo termalno opterećenje na cijeli sustava te su također dodani i otvori na samu kutiju u koju je rješenje smješteno.

Peto testiranje potvrdilo je funkcionalnost i otklanjanje poteškoća iz četvrtog i time je zaključena faza testiranja s uspješnim rezultatima.

5.2. Preporuke za daljnji razvoj

Smjerovi u kojima se ovo projektno rješenje može razvijati su bezbrojni. Rješenje se može koristiti kao sustav nadzora i praćenja paleta unutar skladišta, sustav za navigaciju u zatvorenim prostorima jer ukoliko postoje tri ili više skenera moguće je triangulirati poziciju privjeska. Također, rješenje se može razviti dalje na sustav za kontrolu rasvjete na autocestama ili na javnim površinama, s obzirom da se nalazimo u energetskej krizi takav jedan sustav bi uvelike smanjio potrošnju električne energije kao i bespotrebno svjetlosno zagađenje kilometara dionica autocesta i gradskih ulica. Za scenarije kontrole vanjske rasvjete sama precizna detekcija nije potrebna i to bi uvelike smanjilo kompleksnost projekta. Uređaj bi se mogao implementirati u obliku kutije kao što je to trenutno ENC uređaj i tako se na praktičan način integrirati u već poznati sustav bez potrebe na privikavanje od strane korisnika. Također nisu potrebne ni veće modifikacije ovog projekta jer se radi o identičnom scenariju.

Ovaj projekt može riješiti jedan uvelike rasprostranjen problem u zajednicama današnjice, a to je nadzor djece u velikim prostorima poput dvorana, igrališta, parkova ili događanja na otvorenom. Veliki dio roditelja ne može se osloniti na samo osiguranje jer većinom ih bude malo s obzirom na broj ljudi u masi, a djeca su po prirodi vrlo neoprezna i imaju tendenciju udaljavanja od roditelja i istraživanja prostora što često dovodi do gubitka djece iz vidnog polja i samim time do kriznih situacija potrage za istom. Ovakav sustav postavljen u sklopu koncerta i integriran u obliku narukvice ili privjeska te uz postignutu komunikaciju između dvaju ili više skenera bi mogao bez problema lokalizirati dijete ili osobu unutar perimetra djelovanja. Također, ova komunikacija između skenera korištena za triangulaciju osobe bi

također riješila i problem blokiranja signala od strane ljudskog tijela, jer sami skeneri međusobnom komunikacijom ne moraju više imati definiranu minimalnu osjetljivost, već mogu razmijeniti tko prima najintenzivniji signal privjeska te na osnovi te informacije aktivirati određeno rasvjetno tijelo.

Zaključak

Komunikacijske tehnologije koje koriste nelicencirani frekvencijski spektar sve su češće prisutne u svakodnevnom životu. Dostupnost dotičnih tehnologija olakšava upravljanje elektroničkim uređajima te omogućava jednostavniji prijenos podataka između računala i perifernih uređaja koji se sve češće spajaju bežično. Razvojem interneta stvari, povezanost i funkcionalnost i najjednostavnijih uređaja se značajno povećala. Postalo je moguće upravljati žaruljama putem pametnog telefona, mijenjajući boju i intenzitet svjetlosti preko aplikacije. Sve se to događa zbog niskih cijena hardvera koji koristi nelicencirane komunikacijske tehnologije.

Razlikujemo tehnologije za komunikaciju među uređajima i tehnologije za razmjenu podataka između klijentskih uređaja. Tehnologije za upravljanje hardverom karakterizirane su niskom propusnošću i velikim dometom, dok tehnologije za prijenos podataka imaju visoku propusnost i niži domet. Također, neke tehnologije imaju veću razinu prilagodljivosti prema slučaju upotrebe.

Internet stvari je modernizirao do sada veliki broj pasivnih uređaja, međutim, to nije slučaj s rasvjetom, koja još uvijek koristi zastarjele pasivne senzore za upravljanje rasvjetom. Postojeći sustavi za upravljanje rasvjetom nisu dovoljno prilagodljivi situaciji u kojoj se nalazi te počinjemo preispitivati njihovu svrhu, budući da oni često rezultiraju s dugim razdobljima za gašenje svjetla i nepotrebnom potrošnjom električne energije.

Ovim radom prikazano je kako se već postojeće komunikacijske tehnologije mogu primijeniti u svrhu upravljanja rasvjetom, uz uvelike smanjenu potrošnju resursa i veću prilagodljivost.

Rezultati testiranja pokazali su kako WiFi tehnologija nije optimalna za kontrolu rasvjetnih tijela zbog svoje velike potrošnje energije i nemogućnosti prilagodbe. Bluetooth tehnologija se pokazala kao najoptimalnija s obzirom na prilagodljivost paketa i vrlo nisku potrošnju energije. Sustav koji je rezultirao ovim radom može se integrirati u već postojeću rasvjetnu infrastrukturu uz minimalne prilagodbe. Također ovaj sustav se može skalirati i prenamijeniti za kontrolu javne rasvjete ili druge slične svrhe s obzirom na postojeće koncepte poput ENC uređaja.

Popis kratica

AP	<i>Access Point</i>	Pristupna točka
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i>	Bluetooth niske potrošnje energije
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>	Binarna modulacija faze
dBm	<i>Decibel milliwatts</i>	Decibela po milivatu
ENC		Elektronička naplata cestarine
GHz	<i>Gigahertz</i>	Gigaherc
HCI	<i>Host-Controller Interface</i>	
HS	<i>High Speed</i>	Visoka brzina prijenosa
ISM	<i>Industrial, scientific, medical</i>	Industrijski, znanstveni, medicinski
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>	Internacionalna telekom zajednica
L2CAP	<i>Logic link control adaptation protocol</i>	
LED	<i>Light-emitting diode</i>	Svjetleća dioda
LTE	<i>Long Term evolution</i>	Dugoročna evolucija
Mbps	<i>Megabits per second</i>	Megabita po sekundi
MHz	<i>Megahertz</i>	Megaherc
MIMO	<i>Multiple-input and multiple-output</i>	Višestruki ulaz-izlaz
mW	<i>Milliwatts</i>	Milivati
NFC	<i>Near-Field-Communication</i>	Komunikacija bliskog polja
QAM	<i>Decibel milliwatts</i>	Kvadraturna amplitudna modulacija
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>	Kvadraturna modulacija faze
RF	<i>Radio frequency</i>	Radio frekvencija
RFID	<i>Radio-frequency identification</i>	Decibela po milivatu
RSSI	<i>Received signal strength indication</i>	Indikacija jačine primljenog signala
SSID	<i>Service set identifier</i>	Identifikator skupa usluga
UID	<i>Unique identifier</i>	Jedinstveni identifikator
UWB	<i>Ultra-wideband</i>	Ultraširokopojasni
WBA	<i>Wideband</i>	Široki pojas
WIFI	<i>Wireless Fidelity</i>	
WLAN	<i>Wireless LAN</i>	Bežični LAN

Popis slika

Slika 2.1 Raspodjela frekvencija u RF spektru za IEEE 802.11 standard (preuzeto s software-dl.ti.com) (1).....	2
Slika 2.2 Model stoga Bluetootha niske potrošnje	6
Slika 2.3 Kronološki pregled generacija Bluetooth tehnologije.....	8
Slika 2.4 Pregled istaknutih tehnologija na ISM frekvencijskom rasponu.....	9
Slika 4.1 C etaža Algebra kampusa	18
Slika 4.2 Električna shema skenera	19
Slika 4.3 Dijagram tijeka programskog rješenja	23
Slika 5.1 Uvećani tlocrt C etaže	25
Slika 5.2 Mjerenje šuma	26
Slika 5.3 Raspored uređaja prilikom testiranja.....	27
Slika 5.4 Arduino serijska konzola.....	27

Literatura

- [1] TECHOPEDIA, Industrial, Scientific and Medical Radio Band (ISM Band), <https://www.techopedia.com/definition/27785/industrial-scientific-and-medical-radio-band-ism-band#:~:text=The%20industrial%2C%20scientific%2C%20and%20medical,requirements%20rather%20than%20for%20communications>
- [2] NATIONAL TELECOMMUNICATIONS AND INFORMATION ADMINISTRATION, 902-928 MHz, https://www.ntia.doc.gov/files/ntia/publications/compendium/0902.00-0928.00_01MAR14.pdf
- [3] IEEE, 802.11-2016, <https://standards.ieee.org/ieee/802.11/5536/>
- [4] MICROSOFT, Bluetooth driver stack, <https://learn.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/bluetooth/bluetooth-driver-stack>
- [5] WIKIPEDIA, IEEE 802.11, https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11#:~:text=IEEE%20802.11%20uses%20various%20frequencies,varies%20significantly%20by%20regulatory%20domain.
- [6] PCMAG, 802.11 versions, <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/80211-versions>
- [7] IEEE, 802.15.1, <https://standards.ieee.org/ieee/802.15.1/1180/>
- [8] MATHWORKS, Bluetooth Protocol Stack, <https://www.mathworks.com/help/bluetooth/ug/bluetooth-protocol-stack.html>
- [9] PCMAG, Bluetooth versions, <https://www.pcmag.com/encyclopedia/term/bluetooth-versions>
- [10] RF PAGE, Wi-Fi 6 Specifications and features, <https://www.rfpage.com/wi-fi-6-specifications-and-features/>
- [11] HOW-TO GEEK, Bluetooth 5.0: What's Different, and Why it Matters, <https://www.howtogeek.com/343718/whats-different-in-bluetooth-5.0/>
- [12] TECH TERGET, Zigbee, <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/ZigBee#:~:text=Zigbee%20is%20a%20standards%2Dbased,and%20is%20an%20open%20standard>



ALGEBRA
VISOKO
UČILIŠTE

**Upravljanje rasvjetom putem
bežičnih tehnologija ISM
pojasa na primjeru poslovne**

Pristupnik: Ronald Galić, 0321009209

Mentor: v.pred Silvio Papić