

Upravljanje rasvjetom putem detekcije snage WiFi signala mobilnih uređaja

Jakov Babić*, Karlo Josić* i Silvio Papić*

* Visoko učilište Algebra, Zagreb, Hrvatska
karlo.josic@algebra.hr

Sažetak - Danas postoje brojna rješenja upravljanja rasvjetom temeljena na senzorima pokreta ili upravljana pomoću neke od bežičnih tehnologija koristeći pritom mobilne aplikacije i kontrolere. Glavni nedostaci senzora pokreta su pokrivanje male površine prostora i nedostatak dodatnih funkcionalnosti poput uključivanja rasvjete za predefinirane korisnike ili uređaje. U ovome radu, prikazano je rješenje upravljanja rasvjetom temeljeno na detekciji snage WiFi signala mobilnih uređaja na primjeru podzemne garaže poslovno-stambenog objekta. Prikazano rješenje pokriva znatno veću površinu prostora u odnosu na senzore pokreta te se može implementirati kao nadogradnja senzorima pokreta ili kao samostalno rješenje upravljanja rasvjetom.

Ključne riječi - internet stvari, pametna kuća, pametna rasvjeta, Wi-Fi, Bluetooth

I. UVOD

U današnje vrijeme okruženi smo na svakom koraku pametnom tehnologijom koja optimizira upravljačke procese, utrošene resurse, te podiže kvalitetu života na novu razinu. Razvojem koncepta *Internet stvari* te primjenom različitih tehnoloških rješenja, možemo automatizirati, unaprijediti i učiniti učinkovitijim svaki aspekt ljudskog djelovanja. Jedan od elemenata ljudskog djelovanja je i upravljanje rasvjetom. Danas postoje različita tehnička rješenja upravljanja rasvjetom, temeljena na različitim tehnologijama i tehnološkim konceptima. Svako rješenje ima prednosti i nedostatke, a kroz ovaj rad biti će prikazano rješenje upravljanja rasvjetom temeljeno na WiFi bežičnoj tehnologiji kao nadogradnju ili zamjenu senzora pokreta (eng. PIR-Passive infrared sensor)[1]. WiFi koristi radio valove za bežični prijenos informacija, a radi u frekvencijskom spektru od 2.4 GHz odnosno 5 GHz. U radu je detaljno opisano i prikazano idejno rješenje, kao i problemi koji su utvrđeni u testnoj fazi prikazanog rješenja, te su uspoređene prednosti i benefiti u odnosu na postojeća rješenja. Također, dani su prijedlozi mogućih poboljšanja, namjena i budućeg razvoja opisanog rješenja.

II. USPOREDBA POSTOJEĆIH RJEŠENJA

Danas se u velikom broju poslovno-stambenih građevina implementiraju pasivni senzori pokreta za upravljanje rasvjetom u prostorima poput stubišta, dvorišta, podruma i garaža. Pasivni senzori pokreta koriste detektore infracrvenog spektra za detekciju pokreta i na temelju detektiranog pokreta uključuju rasvjetu na unaprijed

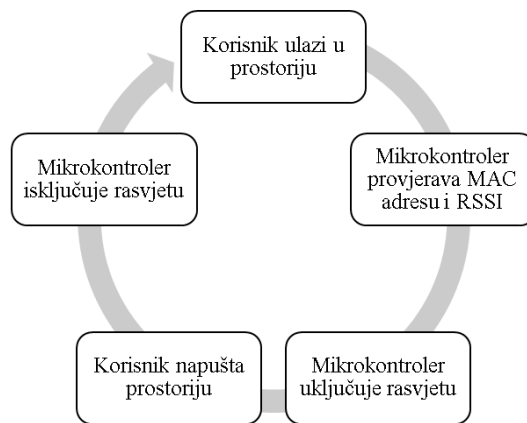
definirani vremenski interval. Ukoliko se unutar predefiniranog vremenskog intervala ne detektira novi pokret rasvjeta će se isključiti. Na tržištu postoje brojni proizvođači senzora pokreta za upravljanje rasvjetom, a kreću se u cjenovnom rasponu od 100 kuna do nekoliko tisuća kuna po senzoru. Razlikuju se međusobno po dometu detekcije, kutu detekcije i vremenskom intervalu uključivanja i isključivanja rasvjete. Jeftiniji senzori pokreta u cjenovnom rasponu od 100 do 500 kuna, najčešće imaju kut detekcije od 90° do 120°, te domet od 3 do 6 metara. Skuplji senzori pokreta u cjenovnom rasponu iznad 500 kuna nude veći domet i do 10 metara uz kut detekcije do 180°. Oni najskuplji senzori pokreta iznad 1.500 kuna nude kut detekcije od 360° i radijus detekcije do 16 metara[2]. Ograničenja senzora pokreta koristeći pasivne infracrvene detektore su prije svega u relativno maloj pokrivenosti prostora, što posljedično rezultira velikim brojem nepokrivenih zona detektorom. To za posljedicu ima da će osoba ulaskom u zonu nepokrivenosti senzorom ostati u mraku ukoliko se na određenom mjestu zadrži duže od predefiniranog intervala trajanja uključene rasvjete. Česti su primjeri iz prakse gdje se ovaj nedostatak dosega senzora nadomješta povećanjem vremenskog intervala uključene rasvjete od nekoliko minuta do nekoliko desetaka minuta, što nije ekonomično sa gledišta utrošene energije i plaćanja troška rasvjete. Nadalje, senzori pokreta nemaju mogućnost autoriziranog pristupa, što znači da će oni detektirati i uključiti rasvjetu za bilo koje tijelo koje isijava toplinu ukoliko prođe u dometu senzora. To također za posljedicu ima neželjeno uključivanje rasvjete, npr. dvorišna rasvjeta se uključuje prolaskom životinje.

Rješenje prikazano ovim radom rješava dva glavna nedostatka postojećih senzora pokreta na tržištu, znatno veća pokrivenost prostora detekcije i mogućnost autorizacije uređaja. Idejno rješenje temelji se na WiFi bežičnoj tehnologiji, na način da detektira snagu signala koje emitiraju WiFi uređaji, te uključuje rasvjetu prema unaprijed definiranim vrijednostima signala za određeni prostor. Rješenje ne iziskuje trošak zamjene rasvjetnih tijela, a može se jednako dobro implementirati na sva mjesta na kojima danas koristimo senzore pokreta za upravljanje rasvjetom kao njihovu nadogradnju ili kao samostalno rješenje. Autori smatraju da je idejno rješenje i cijenom konkurentno postojećim senzorima pokreta što će prezentirati u nastavku rada. Idejno rješenje ima svojih nedostataka u vidu latencije u detekciji WiFi uređaja, što će također prikazati u III. i IV. poglavlju zajedno s

detaljnim opisom idejnog rješenja te provedenog testiranja funkcionalnosti rješenja u V. poglavlju.

III. IDEJNO RJEŠENJE SUSTAVA ZA UPRAVLJANJE RASVJETOM

Idejno rješenje sustava za upravljanje rasvjetom temelji se na WiFi bežičnoj tehnologiji iz nekoliko razloga. Prvi razlog je raširenost WiFi tehnologije, svi današnji mobilni uređaji, poput mobitela, tableta, pametnih satova, posjeduju WiFi mrežnu karticu. Drugi razlog je niska cijena hardverskih komponenti korištenih u radu, mikrokontroler s ugrađenim WiFi modulom košta 69 kuna za pojedinačni proizvod[3], te relej košta 30 kuna. Kupnjom većeg broja uređaja cijena se dodatno smanjuje. Treći razlog je domet samog WiFi signala koji je pogodan za unutarnje zatvorene prostore manjih ili većih površina. U nastavku rada opisan je koncept detekcije snage signala mobilnog uređaja i osnovni princip rada WiFi protokola. WiFi uređaji rade aktivno skeniranje frekvencijskog spektra u potrazi za bežičnim pristupnim točkama. U rasponu od nekoliko sekundi do nekoliko minuta šalju upravljačke okvire *probe request*[4] koji sadržavaju važne informacije o samom mobilnom uređaju poput: frekvencije na kojoj se nalaze, snage signala *RSSI*, naziva bežične mreže *SSID*, fizičke *MAC adrese* i drugih informacija. Prikazano rješenje osluškuje upravljačke okvire *probe request*, očitava bitne informacije poput snage signala, *MAC adrese* ili naziva bežične mreže, te na osnovu predefiniраниh vrijednosti snage signala rasvjeta se uključuje ili isključuje, slika 1. Jedini preduvjet za slanje *probe request-ova* je da WiFi uređaj nije u potpunosti ugašen ili da WiFi adapter nije onemogućen. WiFi uređaji ove važne upravljačke okvire šalju konstantno u određenim vremenskim intervalima. Ovisno o interakciji čovjeka i korištenju WiFi uređaja, mogu ih slati češće, između 1 i 30 sekundi, ili ako je WiFi uređaj zaključan znatno rjeđe, svakih 150 sekundi. Prema istraživanju Freudiger, J. interval emitiranja *probe request-a* ovisi o operativnom sustavu WiFi uređaja i broju prethodno asociranih bežičnih mreža, gdje Android OS verzije 5.0.1 emitira *probe request* svakih 2,4 sekunde, a iOS verzije 8.1.3 svakih 30 sekundi[5]. S obzirom da interval slanja *probe request-a* nije definiran samim protokolom, već je prepušten proizvođačima uređaja, ova vrijednost varira sa svakim novim OS-om. To znači da bi različiti WiFi uređaji imali različitu latenciju u detekciji i uključivanju rasvjete. Autori ovog idejnog rješenja smatraju ovo jednim od većih izazova ali i nedostataka predloženog rješenja jer ne mogu utjecati na interval slanja *probe request-a*. Problem s latencijom od nekoliko sekundi ili nekoliko desetaka sekundi je najviše prisutan u scenariju jednog aktivnog WiFi uređaja u prostoru. Ukoliko se u doseg kontrolera nalazi više uređaja, latencija se smanjuje jer će više uređaja u različitim vremenskim intervalima slati *probe request*.



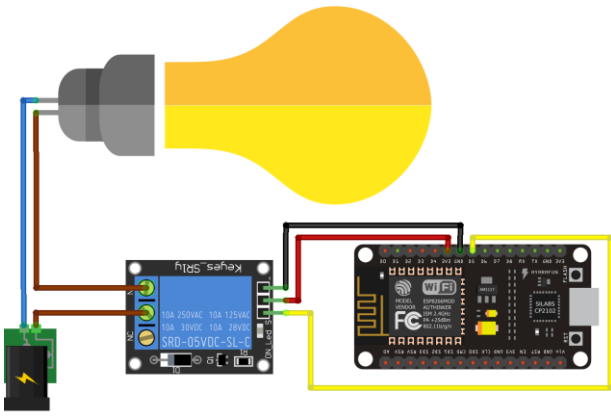
Slika 1. Idejni koncept upravljanja rasvjetom

U nastavku rada, detaljno se prikazuju i objašnjavaju hardverske i softverske komponente, rezultati mjerenja i testiranja, te prijedlozi poboljšanja prikazanog rješenja.

IV. HARDVERSKE I SOFTVERSKE KOMPONENTE RJEŠENJA

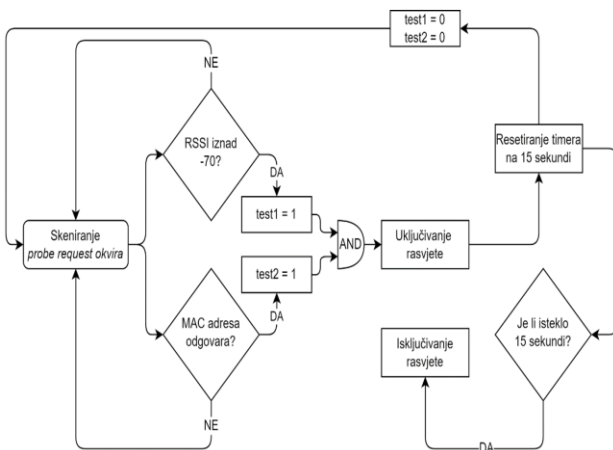
Za izvedbeni dio rješenja korišteno je nekoliko hardverskih komponenti: mikrokontroler NodeMCU s integriranim WiFi modulom ESP8266, relej Keyes SR1y, LED rasvjeta kao trošilo i mobilni telefon Samsung Galaxy 20+ OS Android 12. Mikrokontroler NodeMCU sadrži 11 digitalnih I/O (*input/output*) pinova i 1 analogni, može raditi na temperaturama od -40°C do 125°C , kompatibilan je s Arduino IDE softverskim paketom, malih je dimenzija, napaja se preko microUSB priključka naponom od 5V, te je pogodan za ugradnju u razvodnu kutiju. WiFi modul ESP8266 podržava IEEE 802.11 b/g/n standarde te može raditi u *promiscuous* modu rada, što bi značilo aktivno monitoriranje i osluškivanje 2.4 GHz frekvencijskog spektra i *probe request* upravljačkih okvira koje šalju mobilni uređaji. Releji Keyes SR1y je s jedne strane povezan s izvorom izmjenične struje, a s druge strane s mikrokontrolerom. Shema spajanja, slika 2., detaljno je objašnjena u nastavku:

- „C“ (*common*) pin releja povezan je vodičem faze koji dolazi s izvora izmjenične struje (smeđi vodič)
- „NO“ (*normally open*) pin povezan je vodičem faze do jednog terminala žarulje (smeđi vodič), a s drugog terminala, nul-vodič se vraća na izvor (plavi vodič)
- pin „VCC“ povezan je na „3V“ pin mikrokontrolera (crveni vodič)
- pin „GND“ povezan je na „GND“ pin mikrokontrolera (crni vodič)
- pin „IN“ (*signal*) povezan je na neki od I/O pinova na mikrokontroler (žuti vodič), u ovom slučaju to je pin „D5“ (GPIO 14)



Slika 2. Shema fizičkog povezivanja komponenti

Na strani softvera korišten je Arduino IDE softverski paket, te *esp8266 board manager* za komunikaciju Arduino programa i WiFi modula. U nastavku su detaljno opisani važni dijelovi kôda, slika 3.



Slika 3. Dijagram toka programskog kôda

Na početku samog kôda definirane su konstante i varijable:

- *relej* – konstanta koja predstavlja broj pina koji je povezan s relejom, u ovom slučaju je to pin 14,
- *snaga* – konstanta koja predstavlja granicu *RSSI* vrijednosti iznad koje će se rasvjeta uključiti,
- *timer* – konstanta koja predstavlja vrijeme izraženo u sekundama nakon kojeg će se rasvjeta isključiti,
- *adresa* – *char* varijabla koja predstavlja *MAC adresu* mobilnog uređaja koji šalje *probe request* okvire

Zatim slijedi funkcija *if* koja uspoređuje snagu primljenog signala odnosno *RSSI* vrijednost trenutnog okvira sa zadanom vrijednošću. Ako je trenutni *RSSI* veći od zadanog, varijabla *test1* mijenja status u „1“ i ispisuje se vrijednost *RSSI-a* i status usporedbe *RSSI* vrijednosti, slika 4.

```
Serial.print("RSSI: ");
Serial.print(snifferPacket->rx_ctrl.rssi, DEC);
if (snifferPacket->rx_ctrl.rssi > snaga) {
    test1 = 1;
    Serial.print(" zadovoljen");
} else {
    Serial.print(" nije zadovoljen");
}
```

Slika 4. Usporedba *RSSI* vrijednosti

Nakon usporedbe *RSSI* vrijednosti slijedi funkcija *provjera* kojom se provjerava podudarnost zadane *MAC adrese* s adresom skeniranog okvira. Ako se adresa podudara, varijabla *test2* mijenja status u „1“ i ispisuje se *MAC adresa* te status podudaranja *MAC adrese*, slika 5.

```
char addr[] = "00:00:00:00:00:00";
getMAC(addr, snifferPacket->data, 10);
Serial.print(" | MAC adresa: ");
Serial.print(addr);
provjera = memcmp(adresa, addr, sizeof(adresa));
if (provjera == 0) {
    test2 = 1;
    Serial.print(" odgovara");
} else {
    Serial.print(" ne odgovara");
}
```

Slika 5. Provjera podudarnosti *MAC adrese*

Zatim slijedi beskonačna petlja koja uključuje rasvjetu nakon zadovoljenih testova. Ako su zadovoljeni prethodni testovi (*test1* i *test2*), mikrokontroler će dati signal releju preko zadanog pina 14 da se uključi rasvjeta i integrirana LED dioda. U kôdu su te funkcije prikazane kao *LOW*, što je obrnuto od logike zato što mikrokontroler već napaja relej s naponom od 3.3V preko *VCC* pina i tek kada spusti napon s *IN* pina na nulu, tada struja teče kroz *NO* pin. Ista logika slijedi i kod integrirane LED diode. Nakon toga se varijabli *isključenje* dodaje vrijednost funkcije *millis()* i vrijednost konstante *timer* koja je zadana na početku kôda. Funkcija *millis()* predstavlja vrijeme provedeno otkako je trošilo uključeno i njena maksimalna vrijednost je 4,294,967,295 milisekundi što iznosi približno 50 dana nakon čega se funkcija resetira na nulu. Zatim se ispisuje poruka o uključivanju rasvjete te na kraju same petlje resetira vrijednosti *test1* i *test2* na nulu, slika 6.

```
if (test1 == 1 && test2 == 1) {
    digitalWrite(relej, LOW);
    digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
    Serial.println();
    Serial.print("Uključivanje rasvjete!");
    Serial.println();
    isključenje = millis() + (timer * 1000);
    test1 = 0;
    test2 = 0;
}
```

Slika 6. Uključivanje rasvjete

Na posljertku dolazimo do beskonačne petlje koja po potrebi isključuje rasvjetu. Ako varijabla *isključenje* postigne vrijednost funkcije *millis()*, mikrokontroler daje signal prema releju kako bi se rasvjeta isključila, isključuje se integrirana LED dioda i ispisuje se poruka o isključivanju rasvjete, slika 7.

```

if (isključenje == millis()) {
    digitalWrite(relej, HIGH);
    digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
    Serial.println();
    Serial.print("Isključivanje rasvjete!");
    Serial.println();
}

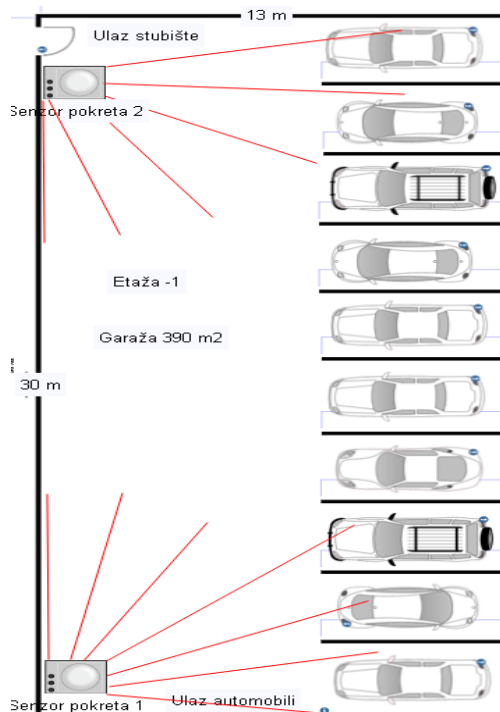
```

Slika 7. Isključivanje rasvjete

V. ANALIZA POSTOJEĆEG RJEŠENJA TE MJERENJE I TESTIRANJE IDEJNOG RJEŠENJA

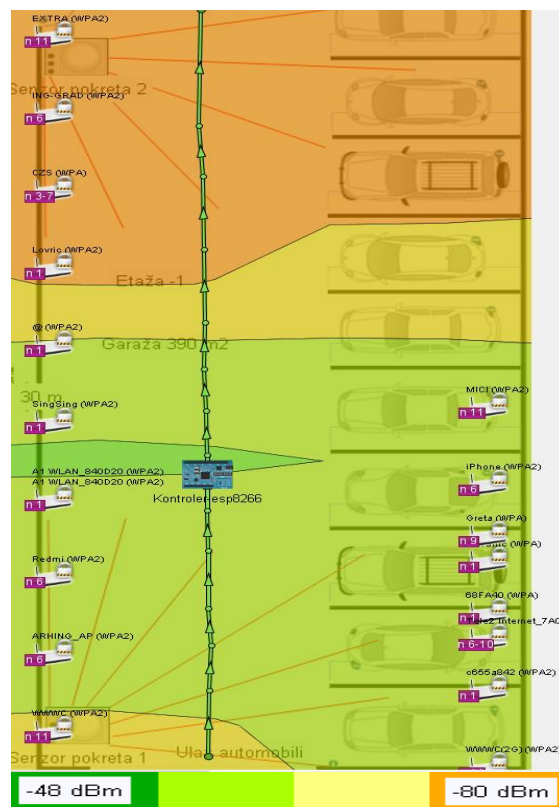
Analiza funkcionalnosti postojećeg rješenja upravljanja rasvjetom provedena je u podzemnoj garaži, etaža -1, poslovno-stambene zgrade, bruto površine 390 m², slika 8. U podzemnoj garaži nalaze se dva senzora pokreta, model Schneider Argus 110[6], smještena kod ulaza u garažu za automobile i stubišnog ulaza. Sensor pokreta detektira infracrveno zračenje pod kutem od 0° do 110° te je maksimalna deklarirana udaljenost detekcije 12 m. Iz priloženog tlocrta i izvedbenog rješenja upravljanja rasvjetom putem senzora pokreta, razvidno je da približno 100 m² u središnjem dijelu garaže nije pokriveno detektorima pokreta. Razvidno je da bi ugradnjom dodatnog, trećeg senzora pokreta, prostor bio gotovo u cijelosti pokriven detekcijom pokreta. Maloprodajna cijena navedenog modela iznosi 576,00 kuna bez PDV-a, čime bi ukupan trošak realizacije rješenja temeljen na ovom modelu senzora pokreta iznosio 1.728,00 kuna bez PDV-a i bez instalacije. Prikazani prostor se mogao prekriti i s više jeftinijih senzora pokreta ili sa samo dva senzora, većeg kuta detekcije i većeg dometa ali znatno skuplja. Trenutno rješenje nedostatka dodatnog senzora se kompenzira dugim intervalom trajanja uključene rasvjete od čak 25 minuta, kako se korisnici parkirnih mjesta u središnjem dijelu garaže ne bi zatekli u mraku.

Prije provedbe samog testiranja rješenja potrebno je za zadani prostor definirati dvije ključne konstante u kôdu: snagu signala *RSSI* i mjerač vremena *timer*. Cilj je optimizirati rješenje za zadani prostor kao nadogradnju postojećeg sustava, na način da se rasvjeta u središnjem dijelu garaže uključi kada s WiFi uređajem izađemo iz dometa senzora pokreta, a isključi kada napuštamo područje. Kako bi pravilno definirali graničnu vrijednost snage signala u kôdu, prema kojoj će kontroler uključiti ili isključiti rasvjetu, potrebno je napraviti mjerenje snage WiFi signala u prostoru te izraditi toplinsku mapu[7] pokrivenosti WiFi signalom. Za potrebe izrade toplinske mape, WiFi modul ESP8266 potrebno je staviti u aktivni mod rada kako bi emitirao upravljačke okvire na temelju



Slika 8. Tlocrt objekta

kojih će se utvrditi snaga i rasprostranjenost signala u prostoru. Izvršenim mjerenjem i izradom toplinske mape dobiven je detaljan uvid u snagu i rasprostranjenost signala u prostoru, slika 9.



Slika 9. Toplinska karta pokrivenosti WiFi signalom

Boje na toplinskoj karti prikazuju vrijednost snage signala izražene u decibelima u odnosu na 1 milivat, mjerna jedinica dBm. Napravljena je skala koja se kreće od -80 dBm do -48 dBm, gdje zelena boja predstavlja snažan signal snage od -48 dBm do -60 dBm, žuta boja predstavlja dobar signal snage od -61 do -70 dBm, a narančasta slab signal snage od -70 dBm do -80 dBm. Što je vrijednost jačine signala bliža nuli to je signal jači i obrnuto. U stvarnom okruženju i idealnim uvjetima najbolje vrijednosti signala koje WiFi uređaj može primiti su oko -30 dBm. Mikrokontroler je bilo potrebno postaviti što bliže središnjem dijelu garaže kako bi u toj zoni dobili što snažniji signal. Prema postojećim električnim instalacijama, pozicija mikrokontrolera vidljiva na tlocrtu, je jedina bila izvediva za testiranje. Iz provedenog mjerenja razvidno je da se snažan, odnosno dobar signal, prostire u radijusu i do 15 m od mikrokontrolera. Time je moguće detektirati *probe request-ove* koje šalju WiFi uređaji, u prostoru od 200 m², jakosti signala od -48 dBm do -70 dBm. Temeljem dobivenih vrijednosti moguće je precizno odrediti graničnu vrijednost konstante *snaga* u kôdu, prema kojoj će mikrokontroler uključivati ili isključivati svjetlost u prostoru. Prema toplinskoj karti razvidno je da bi jedan mikrokontroler na postavljenoj poziciji mogao detektirati i slabije signale u cijelom prostoru garaže. Nadalje, razvidno je da je mikrokontroler detektirao signale susjednih bežičnih pristupnih točki koje se nalaze na gornjim etažama zgrade. Upravljački signali *beacon* koje šalju bežične pristupne točke nemaju utjecaj na rad mikrokontrolera i uključivanje rasvjete, jer mikrokontroler obrađuje samo signale *probe request*, a njih bežične pristupne točke ne emitiraju. Granična vrijednost za konstantu *snaga* postavljena je na rubnu vrijednost dobrog signala -70 dBm, kako bi se spriječilo uključivanje rasvjete detekcijom slabih signala mobilnih uređaja na gornjim etažama. Ukoliko bi htjeli u potpunosti zamijeniti senzore pokreta, tada bi bilo potrebno ugraditi dodatni kontroler u zoni slabog signala, kako bi osigurali detekciju signala u cijelom prostoru. Na taj način bi kontrolerima mogli postaviti granice snažnijih signala temeljem kojih bi se uključivala rasvjeta samo za uređaje u neposrednoj blizini kontrolera. Druga važna konstanta *timer* postavljena je na vrijednost 15 sekundi, jer testni mobilni uređaj Samsung Galaxy 20+, šalje upravljačke okvire u prosjeku svakih 13 sekundi. Na ovaj način, mikrokontroler će dovoljno dugo čekati zaprimanje novog upravljačkog okvira mobilnog uređaja, prije nego isključi rasvjetu.

Testiranjem idejnog rješenja utvrđena su dva izazova. Prvi izazov predstavlja sigurnosna funkcionalnost naziva *MAC Address Randomization*[8]. Mobilni uređaj u svakom intervalu slanja *probe request* okvira, mijenja softverski svoju *MAC adresu* kako bi se umanjila mogućnost napada praćenja uređaja i presretanja prometa. Ta značajka je dostupna na Appleovim uređajima od verzije iOS 8, a na Android uređajima od verzije 6.0. Drugim riječima, od 2015. godine svi pametni mobilni uređaji imaju ovu značajku koju nije moguće isključiti tijekom aktivnog skeniranja, već je moguće jedino za

određenu pristupnu točku omogućiti ili onemogućiti prikaz stvarne *MAC adrese* nakon uspješnog povezivanja. U ovom slučaju to nije moguće jer je mikrokontroler postavljen u *promiscuous* način rada te nije vidljiv pri aktivnom skeniranju. Drugi izazov je značajnija razlika u vremenskom intervalu slanja *probe request* okvira kada je mobilni uređaj aktivan u odnosu na kada je neaktivan. Mobilni uređaj šalje *probe request* u prosjeku svakih 13 sekundi i to kada je u aktivnom skeniranju. Ukoliko je mobilni uređaj neaktivan ili zaključan, tada okvire šalje svakih 150 sekundi. Iz slike 10. vidljiv je ispis *probe request* upravljačkih okvira koje šalje mobilni uređaj kada je aktivan i stalna softverska promjena *MAC adresa*. Navedeni izazovi riješeni su na način da je konstanta *timer* u kôdu povećana na 155 sekundi kako bi osigurali da mikrokontroler ne isključi svjetlo prije zaprimanja novog upravljačkog okvira. Problem kojeg stvara funkcionalnost *MAC address randomization* riješena je promjenama u kôdu. Umjesto uspoređivanja *MAC adresa*, sada kôd provjerava i uspoređuje naziv bežične mreže *SSID*.

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
5	0.209199222	ea:5f:30:b4:5d:72	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=3316, FN=0, Flags=...
9	0.250056333	ea:5f:30:b4:5d:72	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=3322, FN=0, Flags=...
166	13.262542269	3e:f7:3f:6d:be:71	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=38, FN=0, Flags=.....
169	13.302749432	3e:f7:3f:6d:be:71	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=44, FN=0, Flags=.....
339	26.251241304	fe:cc:b7:c7:9c:cb	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=1156, FN=0, Flags=...
343	26.292640991	fe:cc:b7:c7:9c:cb	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=1162, FN=0, Flags=...
541	39.265358795	4a:80:a4:ee:e8:2b	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=3938, FN=0, Flags=...
544	39.305661689	4a:80:a4:ee:e8:2b	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=3944, FN=0, Flags=...
701	52.280977820	5a:5f:f6:a6:3a:05	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=1717, FN=0, Flags=...
704	52.321185677	5a:5f:f6:a6:3a:05	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=1723, FN=0, Flags=...
844	65.256270324	7a:0a:7d:07:32:71	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=251, FN=0, Flags=....
847	65.297059096	7a:0a:7d:07:32:71	Broadcast	802.11	252	Probe Request, SN=257, FN=0, Flags=....

Slika 10. Prikaz *MAC address randomization* i vremenski interval za aktivan mobilni uređaj

Uvedena je jedna nova konstanta i dvije varijable na početak kôda:

duljina – konstanta koja sadrži duljinu znakova željenog *SSID*-a

ime – varijabla koja sadrži ime željenog *SSID*-a u obliku decimalnog niza

temp – varijabla koja sadrži ime *SSID*-a iz trenutno skeniranog okvira u obliku niza

Promijenjeni kôd prikazuje nastale promjene, slika 11.

```
uint8_t SSID_length = snifferPacket->data[25];
Serial.print(" | SSID: ");
printDataSpan(26, SSID_length, snifferPacket->data);
for (int x=0; x<duljina; x++){
    temp[x] = snifferPacket->data[x+26];
}
provjera = memcmp(ime, temp, sizeof(ime));
if (provjera == 0) {
    test2 = 1;
    Serial.print(" odgovara");
} else {
    Serial.print(" ne odgovara");
}
```

Slika 11. Usporedba *SSID*-a

Najprije se izvršava petlja koja prepisuje skenirani niz vrijednosti koje predstavljaju naziv *SSID*-a u varijablu *temp*. Zatim funkcija *provjera* uspoređuje trenutni *SSID* s

onim pohranjenim i ako se *SSID* podudara, varijabla *test2* mijenja status u „1“ i ispisuje se status podudaranja *SSID*-a. Završna verzija funkcionalnog tehničkog rješenja je testirana i uspješno radi kao što prikazuje slika 12.

```
21:38:40.856 -> Ukljućivanje rasvjete!  
21:38:40.856 -> RSSI: -49 zadovoljen | Ch: 2 | MAC adresa: 82:e7:40:49:54:e1 | SSID: ne odgovara  
21:38:40.856 -> RSSI: -50 zadovoljen | Ch: 2 | MAC adresa: 82:e7:40:49:54:e1 | SSID: test odgovara  
21:38:40.902 -> RSSI: -55 zadovoljen | Ch: 2 | MAC adresa: 82:e7:40:49:54:e1 | SSID: iPhone ne odgovara  
21:38:40.902 ->  
21:38:40.902 -> Ukljućivanje rasvjete!
```

Slika 12. Ispis rezultata testiranja završnog rješenja

Na serijskom ispisu vidljivo je da je mobilni uređaj registriran na mreži u 21:38:40 – traženi *SSID* glasi *test* i *RSSI* je iznad -70 dBm te se ispisuje poruka da se rasvjeta uključuje. Ako mikrokontroler u periodu od 155 sekundi zaprimi upravljački okvir s nazivom bežične mreže *test*, mjerač vremena se resetira i počinje odbrojavati novih 155 sekundi od posljednjeg zabilježenog signala mobilnog uređaja. Slika 13. prikazuje kako je u testiranju mobilni uređaj prvi put registriran u 21:38:40, te sa svakim novim zaprimljenim upravljačkim okvirom *probe request*, koji je sadržavao *SSID* naziva *test*, mikrokontroler je držao rasvjetu uključenom. Ukoliko mikrokontroler ne zaprimi novi upravljački okvir zadanog naziva i unutar zadanog intervala od 155 sekundi, tada će rasvjetu isključiti.

```
21:38:40.856 -> RSSI: -49 zadovoljen | Ch: 2 | MAC adresa: 82:e7:40:49:54:e1 | SSID: ne odgovara  
21:38:40.856 -> RSSI: -50 zadovoljen | Ch: 2 | MAC adresa: 82:e7:40:49:54:e1 | SSID: test odgovara  
21:38:40.902 -> RSSI: -55 zadovoljen | Ch: 2 | MAC adresa: 82:e7:40:49:54:e1 | SSID: iPhone ne odgovara  
21:38:40.902 ->  
21:38:40.902 -> Ukljućivanje rasvjete!  
21:38:53.270 -> RSSI: -56 zadovoljen | Ch: 5 | MAC adresa: fa:4b:f1:a5:ac:90 | SSID: ne odgovara  
21:38:53.270 -> RSSI: -57 zadovoljen | Ch: 5 | MAC adresa: fa:4b:f1:a5:ac:90 | SSID: test odgovara  
21:38:53.270 -> RSSI: -51 zadovoljen | Ch: 5 | MAC adresa: fa:4b:f1:a5:ac:90 | SSID: iPhone ne odgovara  
21:38:53.270 ->  
21:38:53.270 -> Ukljućivanje rasvjete!
```

Slika 13. Završno testiranje funkcionalnosti rješenja

VI. PLANOV I PREPORUKE ZA DALJNI RAZVOJ TEHNIČKOG RJEŠENJA

Idejno rješenje upravljanja rasvjetom predstavljeno u ovome radu zamišljeno je kao nadogradnja ili zamjena postojećih senzora pokreta. Prilikom ugradnje kontrolera u prostor potrebno je postaviti tri parametra: snagu primljenog signala *RSSI*, vremenski interval isključivanja rasvjete, te identifikator WiFi mreže *SSID*. Nakon što se navedeni parametri jednom postave nije potrebna daljnja interakcija čovjeka i kontrolera, već se odvija interakcija između krajnjih uređaja, kontrolera i mobilnog uređaja (eng. machine-to-machine). Budući plan unaprjeđenja rješenja odvijao bi se u smjeru razvoja grafičkog sučelja za jednostavniji pristup kontroleru gdje bi korisnik, nakon

uspješne autentifikacije, mogao jednostavno izmijeniti vrijednosti za navedena tri parametra. Hardverske komponente korištene za razvoj idejnog rješenja su lako dobavljive kako na domaćem tako i na međunarodnom tržištu, malih su dimenzija što ih čini pogodnim za ugradnju u razvodne kutije, te je ukupni trošak nabave jednog seta koštao 100 kuna. Ukoliko bi se rješenje komercijaliziralo za masovniju proizvodnju, tada bi se navedene cijene hardvera mogle znatno sniziti. U konačnu cijenu proizvoda treba uračunati troškove razvoja, certifikacije i proizvodnje što su u ovoj fazi razvoja idejnog rješenja nepoznati troškovi.

VII. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljeno idejno rješenje upravljanja rasvjetom koje nadograđuje ili u potpunosti zamjenjuje senzore pokreta. Uspoređene su i opisane prednosti i nedostaci idejnog rješenja u odnosu na senzore pokreta. Na eksplicitnom primjeru upravljanja rasvjetom u garaži, autori su predstavili funkcionalnost idejnog rješenja. Nadalje, uspoređene su cijene hardvera dvaju rješenja, te autori smatraju da bi komercijalizacijom predstavljenog rješenja isto bilo konkurentno postojećim sensorima pokreta.

REFERENCE

- [1] M. O. S. Ensor, “Automatic Lighting and Security System Design Using Pir Motion Sensor,” *J. Inst. Inf. Technol.*, vol. 14, no. 8, pp. 4–8, 2015.
- [2] “Detektori pokreta Argus – Attero.” [Online]. Available: <https://www.attero-tim.hr/kategorija-proizvoda/detektori/detektori-pokreta-argus/>. [Accessed: 01-May-2022].
- [3] “ESP8266 ESP-12 WiFi Modul.” [Online]. Available: <https://e-radionica.com/hr/esp8266-esp-12-wifi-modul.html>. [Accessed: 01-May-2022].
- [4] A. Dagelic, T. Perkovic, and M. Cagalj, “Location privacy and changes in wifi probe request based connection protocols usage through years,” *2019 4th Int. Conf. Smart Sustain. Technol. Split. 2019*, no. June 2019, 2019, doi: 10.23919/SpliTech.2019.8783167.
- [5] J. Freudiger, “Short: How talkative is your mobile device? An experimental study of Wi-Fi probe requests,” *Proc. 8th ACM Conf. Secur. Priv. Wirel. Mob. Networks, WiSec 2015*, 2015, doi: 10.1145/2766498.2766517.
- [6] A. Basic, “Podatkovni list proizvoda MTN565119,” p. 565119, 2000.
- [7] W. Sangkusolwong and A. Apavatjirut, “Indoor WIFI Signal Prediction Using Modelized Heatmap Generator Tool,” *ICSEC 2017 - 21st Int. Comput. Sci. Eng. Conf. 2017, Proceeding*, no. November 2017, pp. 61–64, 2018, doi: 10.1109/ICSEC.2017.8443928.
- [8] L. Oliveira, D. Schneider, J. De Souza, and W. Shen, “Mobile Device Detection through WiFi Probe Request Analysis,” *IEEE Access*, vol. 7, pp. 98579–98588, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2925406.