

Detekcija izvora svjetla

Godanj, Patrik

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:367754>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-19**

Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I

INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

DETEKCIJA IZVORA SVJETLA

Završni rad

Patrik Godanj

Osijek, 2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P: Obrazac za ocjenu završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju****Ocjena završnog rada na sveučilišnom prijediplomskom studiju**

Ime i prezime pristupnika:	Patrik Godanj
Studij, smjer:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. pristupnika, god.	4956, 27.07.2021.
JMBAG:	0165089072
Mentor:	prof. dr. sc. Davor Vinko
Sumentor:	
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Detekcija izvora svjetla
Znanstvena grana završnog rada:	Elektronika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada:	Zadatak završnog rada je korištenjem mikroupravljačkog sustava te senzora i aktuatora izraditi uređaj koji se usmjerava prema izvoru svjetla. Tema rezervirana za: Patrik Godanj
Datum prijedloga ocjene završnog rada od strane mentora:	09.09.2024.
Prijedlog ocjene završnog rada od strane mentora:	Izvrstan (5)
Datum potvrde ocjene završnog rada od strane Odbora:	27.09.2024.
Ocjena završnog rada nakon obrane:	Izvrstan (5)
Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije završnog rada čime je pristupnik završio sveučilišni prijediplomski studij:	30.09.2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 30.09.2024.

Ime i prezime Pristupnika:	Patrik Godanj
Studij:	Sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	4956, 27.07.2021.
Turnitin podudaranje [%]:	4

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Detekcija izvora svjetla**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Davor Vinko

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Zadatak završnog rada	1
2. TEORIJSKE OSNOVE	2
2.1 Prirodna svjetlost	2
2.2 Osnovni principi detekcije svjetlosti i rada senzora	2
2.3 Princip rada mikroupravljača	3
2.4 Princip rada aktuatora	4
3. ODABIR POTREBNIH KOMPONENTI	5
3.1 Odabir mikroupravljačkog sustava	5
3.2 Odabir senzora za detekciju svjetlosti	5
3.3 Odabir aktuatora i motora	6
3.4 Projektiranje elektroničkog sklopa	6
4. FIZIKALNI I MEHANIČKI DIZAJN	8
4.1 Odabir vrste materijala	8
4.2 Fizički raspored komponenti	8
5. PROGRAMSKI KOD	10
5.1 Programiranje mikroupravljačkog sustava	10
5.2 Algoritam za detekciju svjetla	10
5.3 Upravljanje aktuatorima i motorima	11
6. MOGUĆI PROBLEMI I RJEŠENJA	15
6.1 Pogreška jednog senzora	15
6.2 Manja pogreška više senzora	17
6.3 Minimalni broj senzora	17
7. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I TESTIRANJE	19

7.1	Demonstracija rada	19
7.2	Analiza rezultata	19
8.	ZAKLJUČAK	22
9.	LITERATURA	23
10.	POPIS SLIKA	24
11.	POPIS TABLICA	25
12.	SAŽETAK	26
13.	ABSTRACT	27
14.	ŽIVOTOPIS	28
15.	PRILOZI.....	29

1. UVOD

Svjetlost je jedna od najvažnijih fenomena prirode te je primjena svjetlosti u svakodnevnom životu neophodna. Detekcija svjetlosti ima raznoliku ulogu u raznim područjima industrije te svakodnevnih uređaja. Može se detektirati količina svjetlosti na području ili u prostori, ali također je moguće odrediti odakle ta svjetlost dolazi.

Razvojem i poticajem obnovljivih izvora energije razvijaju se i proučavaju nove tehnologije i metode za ostvarivanje maksimalnog mogućeg učinka i efikasnosti. Solarni paneli najveći učinak imaju kada su direktno okomito okrenuti prema zrakama Sunca. Jedan od načina povećanja učinkovitosti solarnih panela je zakretanje i orijentiranje prema suncu kako bi u svakom trenutku dana zrake Sunca padale okomito na panel. Ovaj završni rad je prikaz mogućeg načina rješenja tog problema

Jedni od najčešćih detektora svjetlosti nalazi se u televizorima kao detektor infracrvenog signala daljinskog upravljača, detekcija razine svjetlosti mobitela kako bi automatski podesili razinu osvjtljenja zaslona. No u ovom završnom radu detekcija svjetlosti koristiti će se za pronalaženje i orijentiranje prema izvoru svjetlosti.

U drugom poglavlju opisani su teorijske osnove za razumijevanje i analizu zadatka detaljnim opisom ključnih riječi, tema i komponenata. Treće poglavlje govori o odabiru i potrebnim specifikacijama komponenti. U četvrtom poglavlju opisuje se mehanički i fizički pristup te model dizajna. Peto poglavlje je programiranje i programski kod mikroupravljača kojim se određuje pozicija izvora svjetla te upravljanje elektromotorima. Šesto poglavlje će optimizirati i minimalizirati broj potrebnih senzora te rad elektromotora. Sedmo poglavlje će prikazati način rada te analizu rezultata i podataka.

1.1 Zadatak završnog rada

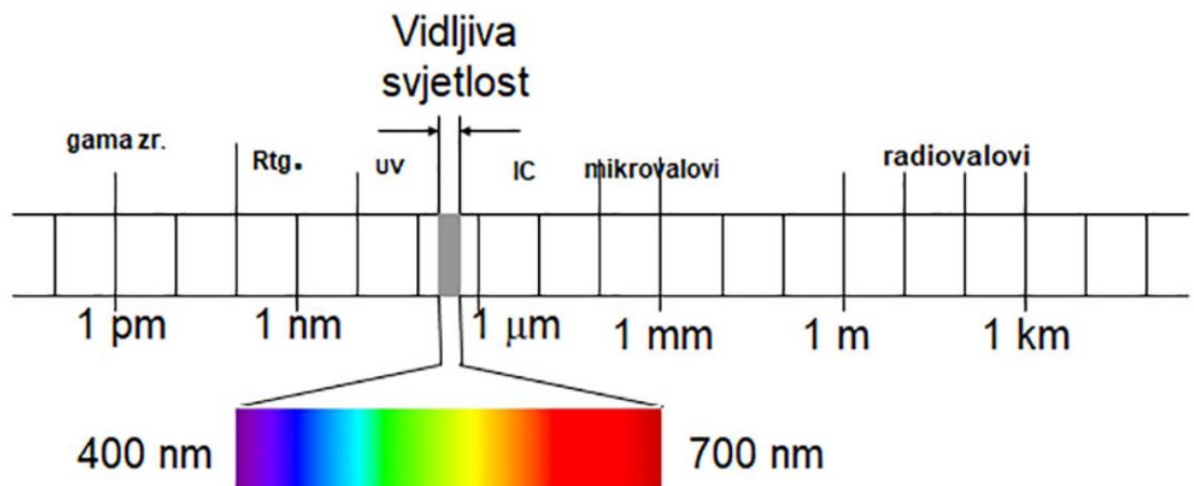
Zadatak završnog rada je korištenjem mikroupravljačkog sustava te senzora i aktuatora izraditi uređaj koji se usmjerava prema izvoru svjetla.

2. TEORIJSKE OSNOVE

U ovom poglavlju opisane su teorijske osnove i princip rada korištenih komponenti i osnovne funkcionalnosti.

2.1 Prirodna svjetlost

Svjetlost je elektromagnetsko zračenje Sunca. Generalno ljudsko oko može vidjeti samo dio svjetlost u rasponu od 380 do 780 nm valne duljine za koje kažemo da je vidljiva svjetlost. Ljudsko oko može vidjeti samo mali dio elektromagnetskog zračenja Sunca, no elektroničke komponente mogu „vidjeti“ u većem spektru kao što je ultraljubičasto (<380 nm) te infracrveno (>780 nm) [1].



Slika 2.1. Prikaz raspona frekvencije svjetlosti [2]

2.2 Osnovni principi detekcije svjetlosti i rada senzora

Svjetlost se može detektirati na više načina s više različitih elektroničkih komponenti kao što su fototranzistori, fotootpornici, fotodiode. Fototranzistori i fotodiode su aktivni elektronički elementi kojima je potreban vanjski ili dodatni izvor napajanja te oni imaju mogućnost pojačavanja signala, a fotootpornik je pasivni elektronički element za čiji rad nije potreban vanjski ili dodatni izvor napajanja već se spaja u strujni krug kao neovisna₂

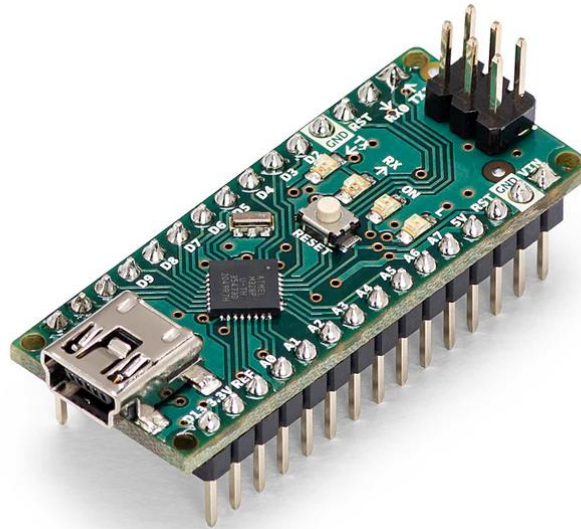
komponenta . U ovom završnom radu koristiti će se fotootpornik spojen na *breakout* pločici (*breakout* pločica je elektronska pločica pomoću koje se lakše povezuju elektroničke komponente i moduli na prototipne ploče ili druge sisteme) zajedno sa naponskim uspoređivačem za koji je potreban izvor napajanja. Prednost te pločice je lako spajanje na mikroupravljač. Fotootpornik mijenja svoj otpor ovisno o količini svjetlosti kojoj je izložen [3], odnosno svjetlost i otpor su obrnuto proporcionalni. Ako je fotootpornik izložen više svjetlosti otpor će biti manji dok pri manjoj izloženosti svjetlosti otpor će biti veći.



Slika 2.2. Prikaz fototranzistora, fotootpornika i fotodiode

2.3 Princip rada mikroupravljača

Mikroupravljač je integrirani krug koji ima mogućnosti obrade signala i procesa, matematičko računanje, memorije te očitavanje ulaznih i izlaznih signala [4]. Najčešća upotreba mikroupravljača je u automatizaciji i automatskom upravljanju uređajima i proizvodima. Jedan od najčešće korištenih mikroupravljača je ATmega328 koji će se također koristiti u ovo završnom radu, odnosno koristiti će se Arduino Nano. Arduino Nano se koristi radi lakšeg upravljanja i programiranja mikroupravljača. Sastoji se od 14 digitalnih ulaza/izlaza (I/O), 8 analognih ulaza/izlaza (I/O), svaki I/O radi na 5 V te može dati ili primiti maksimalno 40 mA, ima 32 KB memorije od koje se 2 KB koristi za pokretanje [5].



Slika 2.3. Mikroupravljač Arduino Nano [6]

2.4 Princip rada aktuatora

Aktuator je naprava koja prilikom dobivanja električnog signala na ulaz pokreće pokretne dijelove u željeni položaj pri čemu se ostvaruje njihovo gibanje ili razvija sila tih dijelova na okolinu [7]. U osnovi pretvara električnu energiju u mehanički rad. Postoje nekoliko vrsta aktuatora od kojih su najčešći hidraulički, pneumatski i električni aktuatori. Električni aktuatori su istosmjerni i izmjenični elektromotori, linearni i koračni elektromotori. U ovom završnom radu koristiti će se koračni motori zbog sve preciznosti, momenta držanja i lakoće upravljanja.

3. ODABIR POTREBNIH KOMPONENTI

Prilikom odabira potrebnih komponenti za izradu završnog rada potrebno je odabrati komponente koje ispunjavaju sve potrebne uvijete i specifikacije izrade rada, no nepotrebno je uzimati komponente s dodatnim funkcijama koje se neće koristiti zbog kojih će njihova cijena nepotrebno rasti.

3.1 Odabir mikroupravljačkog sustava

Mikroupravljač je „mozak“ završnog rada koji obrađuje, analizira i upravlja ostalim dijelovima i komponentama. Potrebno je odabrati mikroupravljač koji zadovoljava sve potrebne uvijete. Za izradu ovog završnog rada koristi se Arduino Nano zbog svoje kompaktnosti, laganog programiranja te pristupačnosti. Postoji mnogo drugih mikroupravljača kao što su Teensy, Raspberry Pi, Intel Edison i mnogo drugih, no u ovom radu koristi se Arduino Nano zbog trenutne pristupačnosti te nije bilo potrebe tražiti i nabavljati drugi mikroupravljač.

3.2 Odabir senzora za detekciju svjetlosti

Za odabir svjetlosnog senzora postoji mogućnost biranja između fotootpornika, fototranzistora i fotodiode. Fototranzistor pod utjecajem svjetlosti mijenjaju svoju struju u razinama od nekoliko miliampera, ali prilikom velikog osvjetljenja odu u zasićeno stanje ne vidi očitavanje ili promjena. Fotodiode imaju linearni porast struje prilikom osvjetljenja no struja je mala u razini nekoliko mikroampera [8] te zbog toga postoji problem preciznog očitavanja. Fotootpornik mijenja svoj otpor pod utjecajem svjetlosti te je moguće jednostavno napraviti naponsko djelilo na kojem se može očitavati razina napona u rasponu od 0 do 5 V. Arduino Nano na svojim ulazima može očitati samo do 20 mA te zbog toga fototranzisotri i fotodiode mogu biti neprecizni dok je fotootpornik precizniji zbog očitavanja napona do 5V. U izradi se koristi fotootpornik na maloj *breakout* pločici radi lakšeg povezivanja s arduinom.



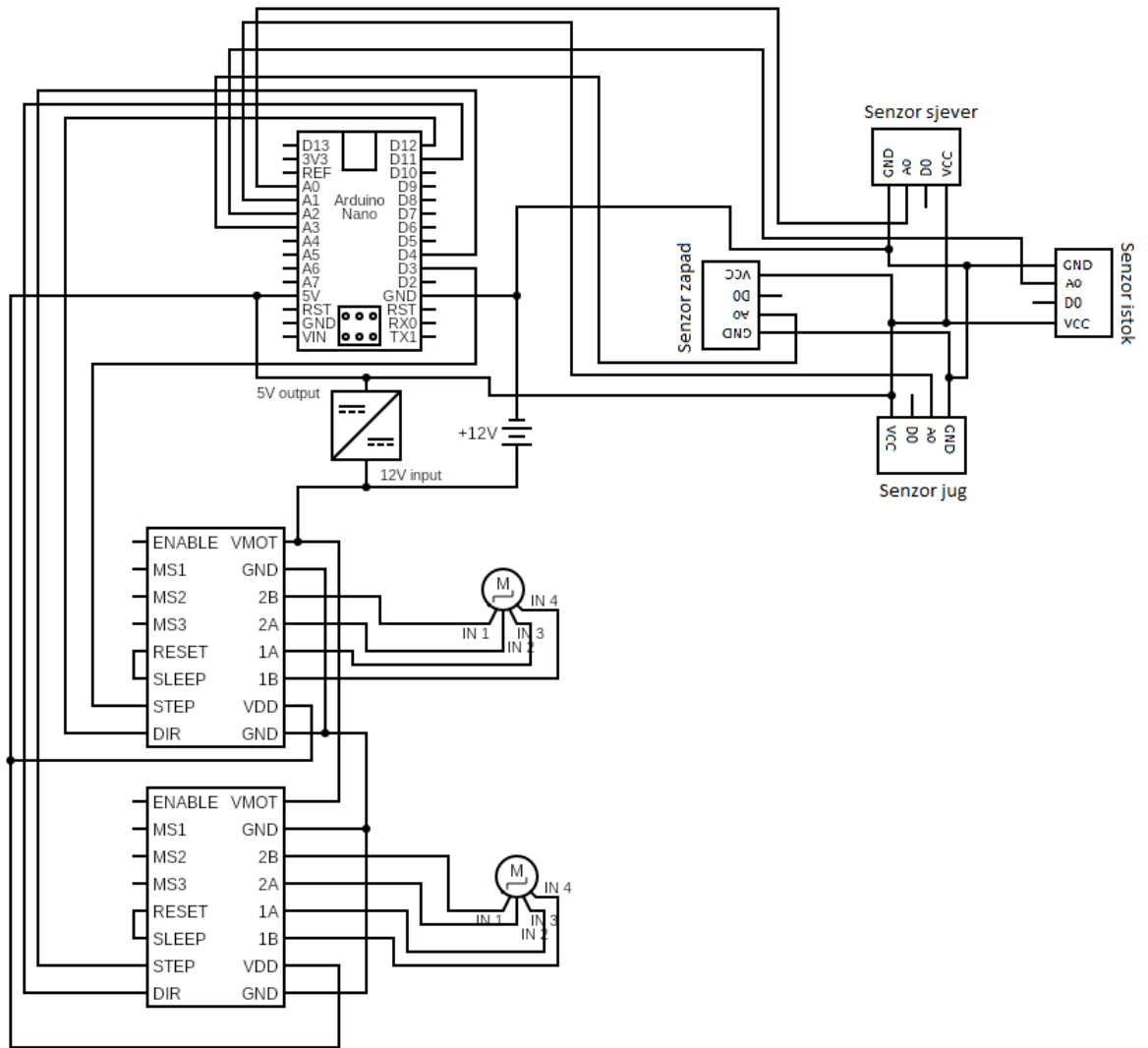
Slika 3.1. Fotootpornik koji se koristi u izradi

3.3 Odabir aktuatora i motora

Za izradu ovog završnog rada koristi se koračni motor radi svoje preciznosti, lakog upravljanja i snage držanja. Koračni motor ima konstantni pomak po koraku u ovom slučaju iznosi 1.8 stupnjeva odnosno 200 koraka za puni krug. Jednostavno se upravlja pomoću arduina i drivera A4988 te je samim time lagano pamtiti poziciju motora. Dok je motor pod naponom set zavojnica je namagnetiziran te ima jako veliku snagu držanja odnosno „zaključa“ se položaj motora. Za izradu koriste se dva koračna motora, jedan za rotaciju oko horizontalne osi, a drugi za rotaciju oko vertikalne osi te se na taj način može dobiti skoro potpuna mogućnost zakretanja u svim smjerovima. Mogućnost zakretanja nije 100% zbog fizičkih ograničenja, rasporeda komponenti i slično.

3.4 Projektiranje elektroničkog sklopa

Prilikom spajanja elektroničkih komponenti važno je imati dobru shemu po kojoj će se spajati te je najvažnije da se sve spaja u bez naponskom stanju kako ne bi došlo do električnog udara ili oštećenja komponenti. Prilikom izrade elektroničke sheme bitno je poznavati kako svaka komponenta radi te kako se ona spaja.



Slika 3.2. Shema elektroničkog sklopa

4. FIZIKALNI I MEHANIČKI DIZAJN

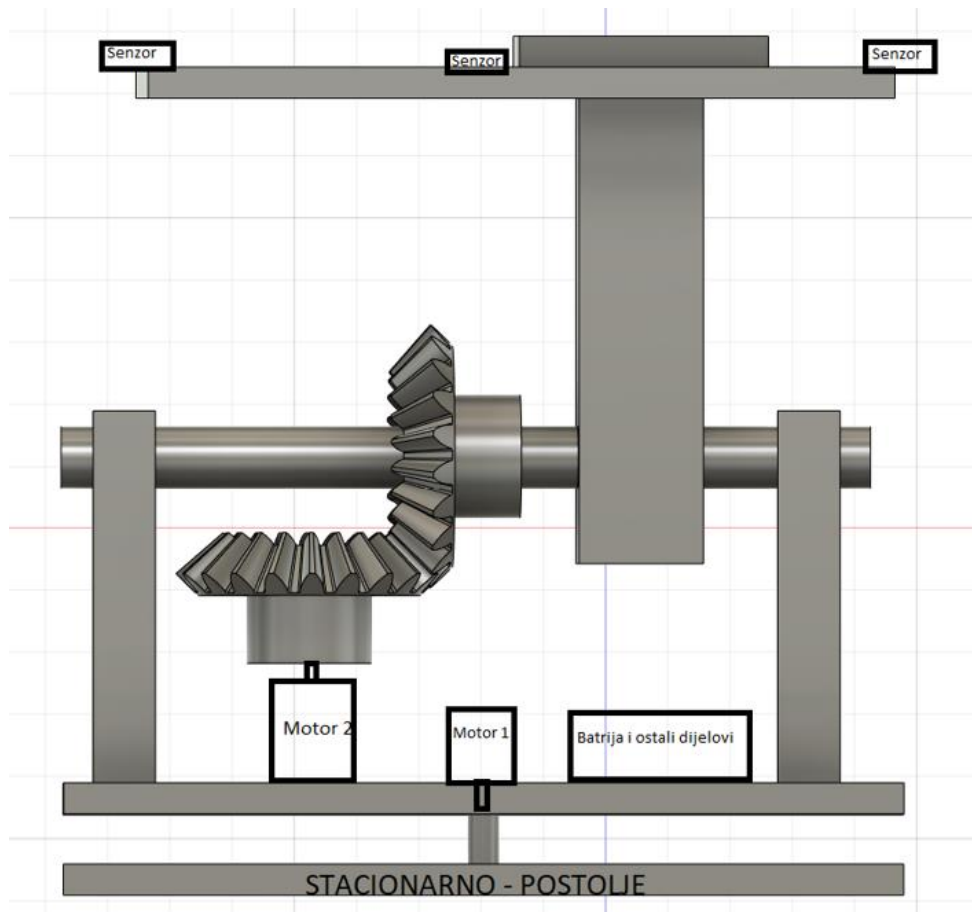
Prilikom fizikalnom dizajniranju potrebno je paziti na čvrstoću, veličinu, praktičnost, težinu i slično. Uređaj ne smije biti jako težak kako motor ne bi imao poteškoća pri okretanju te ujedno treba bit lako prenosiv i čvrst.

4.1 Odabir vrste materijala

Za izradu se koristilo nekoliko vrsta materijala za kao što su: željezo, pertinaks, ABS filament i tiskana pločica (PCB). Željezo se koristi kao podnožje koje se ne rotira te za koje je potrebno čvrstoća i stabilnost. Ploča od pertinaksa se koristi kao rotacijska podloga na kojoj su postavljene ostale ključne komponente. Pertinaks nastaje vezivanjem pamučnih vlakana fenolskom smolom [9] što ga čine vrlo čvrstim, a ujedno i laganim. Tiskana pločica služi kao ploča na kojoj su postavljeni senzori te koje se centrira prema izvoru svjetlosti, a spojena je na motor preko 90 stupnjeva zupčanika i držača koji su napravljeni pomoću 3D printera od ABS filameta.

4.2 Fizički raspored komponenti

Komponente su u završnom radu postavljene na što mogući kompaktniji način kako bi se uštedjelo na prostoru i veličini imajući na umu raspored i uravnoteženost mase. Prilikom fizičkog dizajna i rasporeda komponenti i elemenata važno je razmišljati i o njihovoj povezanosti, odnosno treba paziti da se vodiči odnosno žice ne petljaju te da se spriječi njihovo puknuće i prekid spoja koji može biti pod naponom i opasan.



Slika 4.1. Dizajn i raspored komponenti

5. PROGRAMSKI KOD

U ovom poglavlju objašnjeno je kako mikroupravljač prima, obrađuje i upravlja ostalima komponentama te na koji način određuje smjer izvora svjetlosti te kako se usmjerava prema svjetlu.

5.1 Programiranje mikroupravljačkog sustava

Arduino ima svoj besplatan software za pisanje programskog kôda Arduino IDE na kojemu se jednostavno može spojiti arduino. Kôd se piše u programskom jeziku C++, no moguće je implementirati i koristiti druge jezike kao što je python i slično. Arduino u programskom kôdu ima dvije osnovne funkcije, a to su funkcije setup i loop. Kroz funkciju setup se prolazi samo prilikom pokretanja arduina, dok se funkcija loop vrti u krug dokle god ima napajanja na arduinu.

5.2 Algoritam za detekciju svjetlosti

Algoritam za detekciju svjetlosti podrazumijeva određivanje smjera izvora svjetlosti. Korištenjem četiriju senzora, gdje je svaki postavljen na svoju stranu pod kutom od 90 stupnjeva u odnosu na susjedni (sjever, istok, zapad, jug) te vrlo je jednostavno odrediti u koju stranu se treba okrenuti kako bi pronašao izvor.

Najjednostavniji način je praviti razliku osvjetljenosti između sjevera i juga te razliku istoka i zapada. Kada su razlike jednake ili približne nuli tada je sustav orijentiran prema izvoru, no ako postoji razlika onda jedan od senzora dobiva više svjetlosti. Ako je razlika sjevera i juga (u primjeru varijabla `vertikalno_raz`) veća od nula onda sjeverni senzor ima veću osvjetljenost i potrebno je zakrenuti prema sjeveru, a ako je razlika manja od nula onda se treba zakrenuti prema jugu, analogno vrijedi za razliku istok-zapad (u primjeru varijable `horizontalno_raz`). Prilikom očitavanja vrijednosti senzora invertiraju se očitavanje vrijednosti, odnosno 0 postaje 1023, a 1023 postaje 0 kako bi se kasnije mogao riješiti problem senzora. Nakon očitavanja vrijednosti 0 predstavlja najmanje osvjetljenje dok

1023 predstavlja maksimalno osvjetljenje.

```
52 void sensors() {
53     sjever = analogRead(A0);
54     jug = analogRead(A1);
55     istok = analogRead(A2);
56     zapad = analogRead(A3);
57
58     sjever = map(sjever, 0, 1023, 1023, 0);
59     jug = map(jug, 0, 1023, 1023, 0);
60     istok = map(istok, 0, 1023, 1023, 0);
61     zapad = map(zapad, 0, 1023, 1023, 0);
62
63     vertikalno_raz = sjever - jug;
64     horizontalno_raz = istok - zapad;
65
66     vertikalno_sum = sjever + jug;
67     horizontalno_sum = istok + zapad;
68
69     button = digitalRead(button_pin);
70
71     if (button == HIGH){
72         steps = 0;
73     }
74 }
```

Slika 5.1. Funkcija očitavanja senzora

5.3 Upravljanje aktuatorima i motorima

Nakon što se odredi u kojem je smjeru izvor svjetlosti, potrebno je pravilno upravljati motorima i zakrenuti motore prema izvoru. Razlika između senzora gotovo nikada neće biti nula zbog položaja senzora, nesavršenosti i gubitaka unutar komponenti. Kako ne bi došlo do osciliranja i stalnog pokušaja namještanja u savršenu poziciju postoji raspon gdje razlika senzora nije nula, ali je vrlo mala. Prilikom svakog novog pokretanja uređaj se kalibrira i resetira na neki početni zadani položaj. Kalibracija se odrađuje na način da se uređaj rotira po X osi u zadanom smjeru sve dok ne dotakne i aktivira prekidač koji ujedno služi i kao limit zakreta u tom smjeru. Nakon što se dotakne prekidač prilikom kalibracije događa se resetiranje položaja, odnosno uređaj se zakreće za određeni broj koraka koji se ujedno i broji.

```

76 void calibration() {
77     while (button == LOW) {
78         | move (step_1, dir_1, HIGH);
79     }
80
81     for (int i = 0; i < 40; i++) {
82         | move (step_1, dir_1, LOW);
83     }
84
85     steps = 40;
86     delay(150);
87 }
88
89 void move (int stepPin, int dirPin, int direction) {
90     sensors();
91     digitalWrite(dirPin, direction);
92
93     digitalWrite(stepPin, HIGH);
94     delay(Speed);
95     digitalWrite(stepPin, LOW);
96 }

```

Slika 5.2. Kalibracija, resetiranje položaja te funkcija pokretanja motora

Prilikom pokretanja motora važno je prvotno odrediti u koju stranu će se motor vrtiti te zadati smjer (varijabla `dir_1` i `dir_2`). Paljenjem i gašenjem određene skupine zavojnica motor se okreće u zadanu stranu, ali treba postojati neko vremensko razdoblje koje se čeka između paljenja i gašenja kako ne bi došlo do preskakanja koraka ili zastoja motora, ujedno to vremensko čekanje definira i brzinu rotiranja. Nakon svakog napravljenog koraka potrebno je ponovo očitati vrijednosti senzora te se ujedno i broji svaki napravljeni korak. Analogno isti je način za rotaciju po X osi uz dodatno ograničenje maksimalne rotacije kako ne bi došlo do mehaničkih oštećenja. Kao uvjet pokretanja provjerava se je li razlika senzora van intervala osjetljivosti te je li prekidač pritisnut te dodatni uvjet maksimalnog broja koraka prilikom rotacije oko X osi.

```

98 void postavi_motor_1() {
99     sensors();
100     if (vertikalno_raz > razmak && steps <= limit && button == LOW){
101         move (step_1, dir_1, HIGH);
102         steps--;
103     }
104     else if (vertikalno_raz < -razmak && steps < limit){
105         move (step_1, dir_1, LOW);
106         steps++;
107     }
108 }
109
110 void postavi_motor_2() {
111     sensors();
112     if (horizontalno_raz > razmak){
113         move (step_2, dir_2, HIGH);
114     }
115     else if (horizontalno_raz < -razmak){
116         move (step_2, dir_2, LOW);
117     }
118 }

```

Slika 5.3. Kôd rotacije oko X i Z osi

Ako se uređaj zakrene u nedozvoljenu poziciju odnosno ako dođe do maksimuma ili ako se aktivira prekidač, program onemogućuje dodatno zakretanje u tu stranu, no moguće je zakrenuti u suprotnu stranu.

U ponavljajućoj funkciji loop provjeravaju se uvjeti načina rada, odnosno provjerava se problem jednog od senzora zadanim uvjetima koji su objašnjeni u sljedećem poglavlju. Ako ti uvjeti nisu zadovoljeni, uređaj radi u normalnom načinu rada sa sva četiri senzora.

```

153 void loop() {
154     sensors();
155
156     if (abs(horizontalno_raz) + threshold >= horizontalno_sum){
157         sensors();
158         digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
159         if (abs(vertikalno_raz) > razmak){
160             postavi_motor_1 ();
161             sensors();
162         }
163         sensors();
164         greska_istok_zapad();
165     }
166     else if (abs(vertikalno_raz) + threshold >= vertikalno_sum){
167         sensors();
168         digitalWrite(LED_BUILTIN, HIGH);
169         if (abs(horizontalno_raz) > razmak){
170             postavi_motor_2 ();
171             sensors();
172         }
173         sensors();
174         greska_sjever_jug();
175     }
176     else {
177         sensors();
178         digitalWrite(LED_BUILTIN, LOW);
179         postavi_motor_1();
180         postavi_motor_2();
181     }
182 }

```

Slika 5.4. Prikaz funkcije loop

6. MOGUĆI PROBLEMI I RJEŠENJA

Kako bi sustav pratio izvor svjetla, odnosno Sunca potrebno je koristiti neku vrstu svjetlosnog senzora. Samo korištenje senzora je podložno pogreškama i problemima. Glavni problem je zaprljanost senzora te puknuće ili elektroničko oštećenje senzora. U ovom poglavlju analizirati će se navedeni problemi te moguća rješenja.

6.1 Pogreška jednog senzora

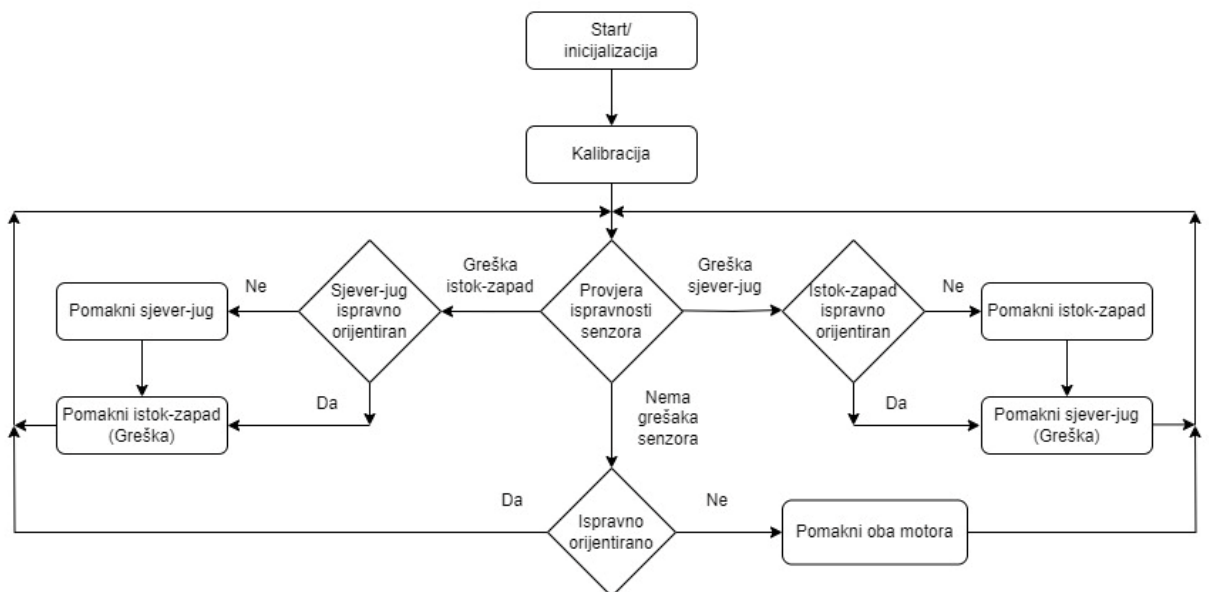
Kao pogreška jednog senzora smatra se neispravan rad ili zaprljanost jednog senzora dok ostala tri senzora rade pravilno. Prilikom neispravnog rada jednog od senzora stvara se netočna detekcija smjera izvora svjetlosti. Pogreška se može saznati i otkloniti programski na način da se provjerava je li razlika suprotnih senzora jednaka vrijednosti sume tih senzora. Prilikom otkrivanja pogreške sustav može i dalje biti točan, ali sa smanjenom preciznošću i sporijim odzivom. Pomoću preostalih ispravnih senzora odnosno ispravnog para (sjever-jug, istok-zapad) moguće je namjestiti poziciju po osi ispravnih senzora. Dobivena vrijednost ispravnog para senzora može služiti kao bazna osnova vrijednosti te se par s neispravnim sensorom zakreće dok ispravni sensor neispravnog para ne očita baznu vrijednost odnosno dok suma senzora ne bude jednaka baznoj vrijednosti te tada se može smatrati da je sustav zakrenut u ispravnu stranu.

```

120 void greska_sjever_jug() {
121     sensors();
122     baza = istok;
123
124     if ((vertikalno_sum - baza) > razmak && steps <= limit && button == LOW){
125         move (step_1, dir_1, HIGH);
126         steps--;
127         sensors();
128     }
129     else if ((vertikalno_sum - baza) < -razmak && steps < limit){
130         move (step_1, dir_1, LOW);
131         steps++;
132         sensors();
133     }
134 }
135
136 void greska_istok_zapad() {
137     sensors();
138     baza = sjever;
139
140     if ((horizontalno_sum - baza) > razmak){
141         move (step_2, dir_2, HIGH);
142         steps--;
143         sensors();
144     }
145     else if ((horizontalno_sum - baza) < -razmak){
146         move (step_2, dir_2, LOW);
147         steps++;
148         sensors();
149     }
150 }

```

Slika 6.1. Provjera i ispravlak pogreške senzora



Slika 6.2. Dijagram toka

6.2 Manja pogreška više senzora

Manja pogreška senzora je podjednaka zaprljanost svih senzora zbog utjecaja prašine i sličnih vanjskih uvjeta koji mogu utjecati jednoliko na sve senzore. Prilikom jednake smetnje senzora sustav se može orijentirati prema izvoru uz moguće manje nepreciznosti zbog utjecaja smanjenja raspona očitavanja vrijednosti. Primjerice ako su senzori zaprljani 25% onda će imati raspon očitavanja vrijednosti količine svjetlosti od 0 do 75% samim time može utjecati na rezoluciju točnosti.

Za rješavanje problema ne podjednagog zaprljenja potrebno je pri samom pokretanju odrediti baznu ili osnovnu maksimalnu vrijednost te ako kasnije dođe do problema može se kalibrirati s obzirom na tu baznu vrijednost. No ako su senzori nejednako zaprljani pri samom pokretanju sustav se neće točno orijentirati te takav način pogreške nije moguće ukloniti programerski već je potrebno ručno očistiti ili dizajnirati način za automatsko čišćenje koje bi se događalo prilikom svakog novog pokretanja.

6.3 Minimalni broj senzora

Teorijska osnova nalaže da je moguće pronaći izvor svjetla samo jednim sensorom no taj način ne bi bio najpouzdaniji te bi zahtijevao veću kompleksnost algoritma. Korištenjem jednog senzora sustav bi se morao rotirati na svaku moguću poziciju te pamtiti količinu osvjetljenosti za svaki položaj što bi trajalo dugo i više trošilo motore i mehaničke dijelove.

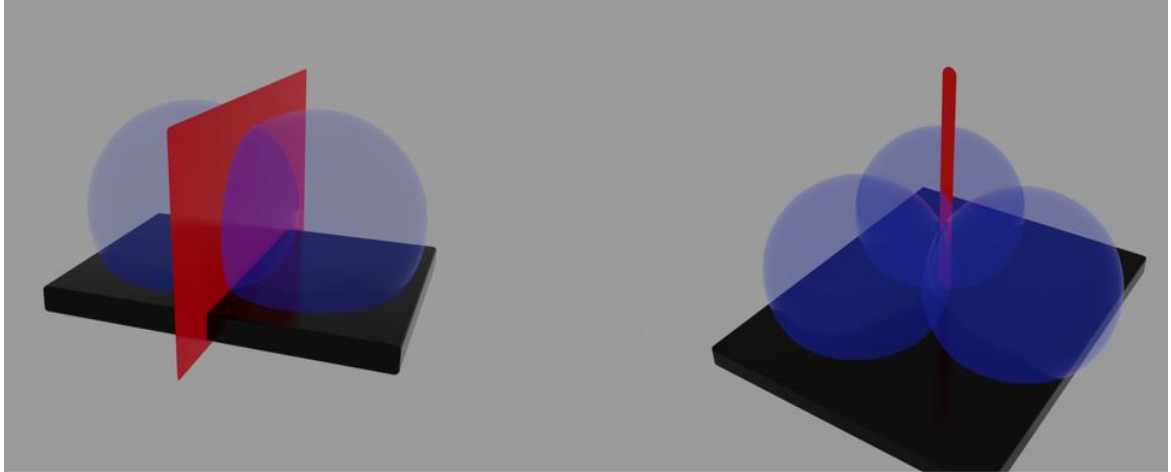
Prilikom korištenja dva senzora lako je pronaći točnu rotaciju po jednoj osi no rotacija po drugoj osi bi bila problematična jer se izvor može nalaziti na bilo kojoj točki površine okomite na središte duljine koja povezuje senzore.

Korištenjem tri senzora moguće je odrediti točnu poziciju izvora svjetlosti na način da je razlika između dva senzora jednaka nuli čime se dobije točna rotacija po jednoj osi zatim se rotira po drugoj osi sve dok razlika između sva tri senzora nije jednaka nuli ili dok vrijednost trećeg senzora nije jednaka vrijednosti jednog od druga dva. Problem tri senzora se javlja prilikom kvara ili potpunog zaprljenja jednog senzora.

Četiri senzora mogu jako jednostavno i precizno odrediti izvor svjetlosti te ima sposobnost

preciznog rada prilikom kvara jednog od senzora.

N broj senzora radi na isti način kao i korištenje četiriju senzora uz precizan rad prilikom kvara $N - 3$ broja senzora.



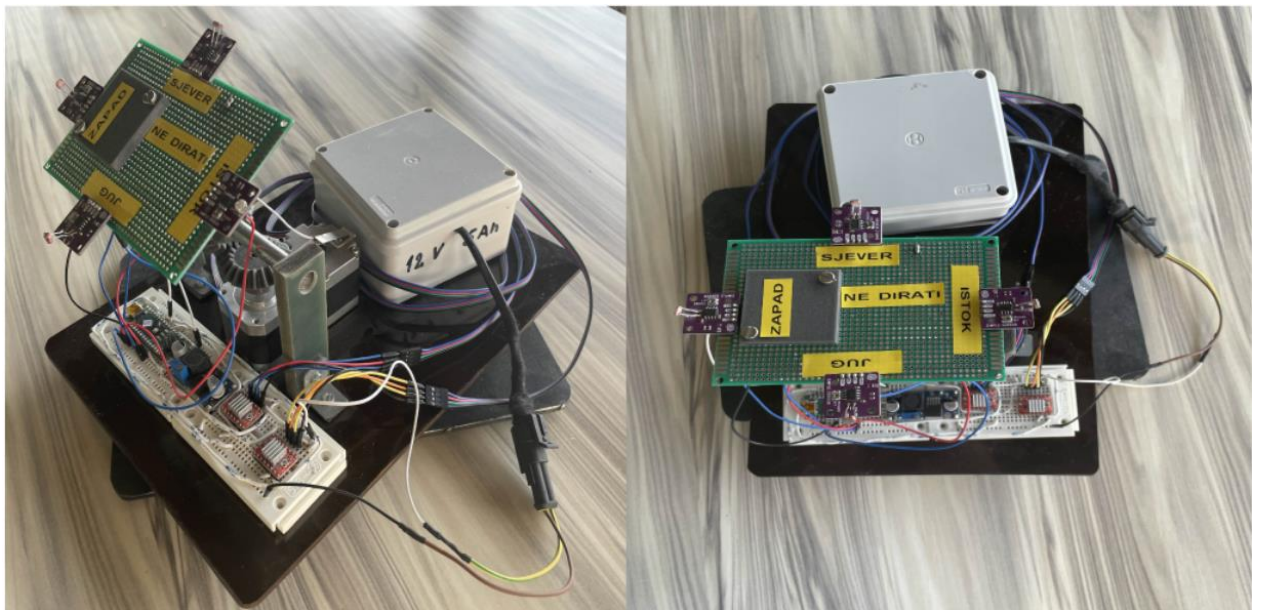
Slika 6.3. Prikaz moguće pozicije izvora (crveno) s obzirom na broj senzora (plavo)

7. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I TESTIRANJE

U ovom poglavlju pojašnjavaju se rezultati dobiveni testiranjem u kontroliranim kao i realnim uvjetima.

7.1 Demonstracija rada

U ovoj fazi rada, sustav za detekciju izvora svjetla bio je sastavljen i testiran u kontroliranim uvjetima. Demonstracija je uključivala različite scenarije osvjetljenja kako bi se provjerila točnost i efikasnost sustava. Sustav je uspješno identificirao i pratio izvor svjetla u svim scenarijima, potvrđujući valjanost dizajna i algoritma korištenog za detekciju.



Slika 7.1. Fotografije izrađenog uređaja

7.2 Analiza rezultata

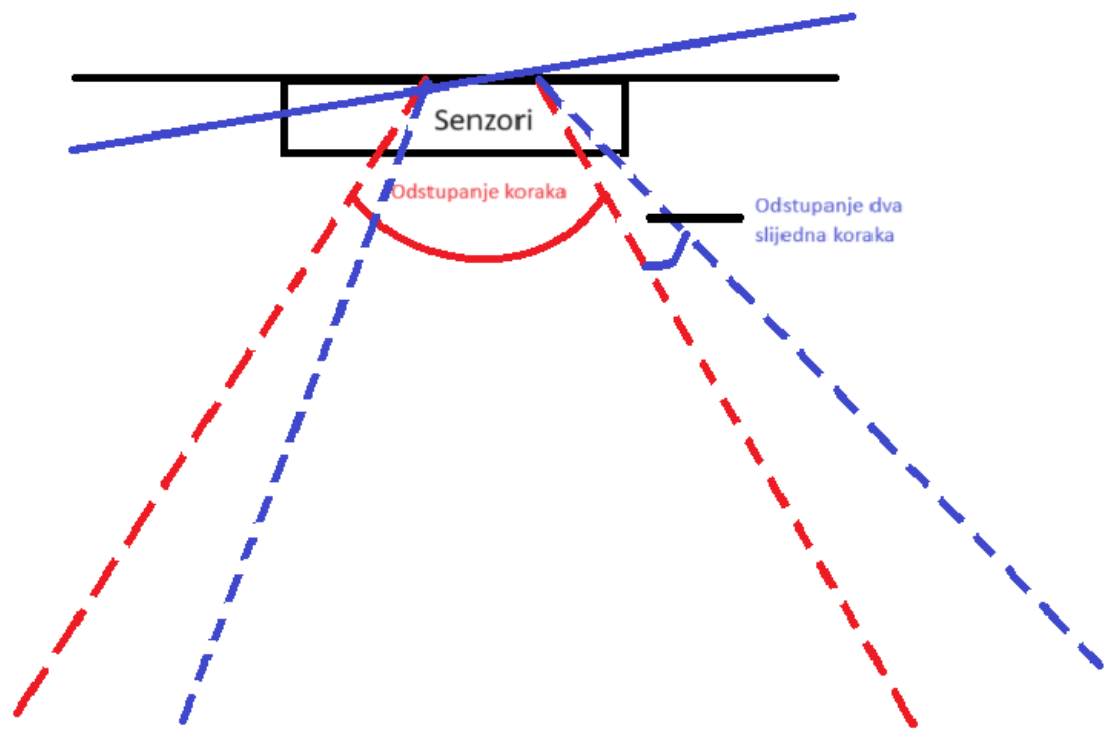
Rezultati testiranja pokazali su visoku preciznost u detekciji i praćenju izvora svjetla. U uvjetima gdje su senzori bili djelomično zaklonjeni ili zaprljani, sustav je i dalje bio sposoban pravilno funkcionirati uz minimalne pogreške. Također, analiza je pokazala da

je optimizacija broja senzora smanjila kompleksnost i troškove bez značajnog utjecaja na performanse.

Tablica 7.1. Rezultati mjerenja

Udaljenost [cm]:	Odstupanje koraka [°]:	Odstupanje dva slijedna koraka [°]:
30	5.92	1.29
50	8.03	1.83
70	12.3	2.36
110	24.24	2.83
130	29.41	3.2

Mjerenja su izvršena u tamnoj prostoriji koristeći bljeskalicu mobitela pri čemu udaljenost predstavlja udaljenost izvora od senzora u centimetrima, a odstupanje koraka je pomak izvora lijevo-desno dok se uređaj ne pomakne za jedan korak izraženo u kutnim stupnjevima. Odstupanje dva slijedna koraka predstavlja potrebni kut pomaka između dva slijedna koraka, odnosno pomicanje izvora u jednom smjeru. Potrebno vrijeme za kalibraciju, gdje je pozicija uređaja prije i poslije kalibracija jednaka, iznosi 10 sekundi, no samo trajanje kalibracije ovisi o početnoj poziciji. Maksimalno potrebno vrijeme okretanja uređaja za 180° po obje osi je 15 sekundi.



Slika 7.2. Prikaz odstupanja mjerenja

8. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu, razvijen je sustav za detekciju izvora svjetla temeljen na mikroupravljačkom sustavu. Rad se fokusirao na nekoliko ključnih dijelova kao što su teorijska osnova svjetlosti te korištenih komponenti, izbor i dizajn komponenti i materijala u mehanički uređaj te razvoj software-skog algoritma.

Sustav je uspješno prošao kroz faze dizajna, implementacije i testiranja, te je pokazao visoku preciznost i pouzdanost u detekciji svjetla. Iz analize rezultata vidljivo je da povećanjem udaljenosti izvora svjetlosti odstupanje se povećava linearno uz djelomična odstupanja. Prilikom provođenja mjerenja rezultati odstupanja se ne mijenjaju prilikom rada 4 ili 3 senzora.

U nastavku dizajniranja uređaja mogao bi se dodati kotačić za podešavanje osjetljivosti te kotačić za podešavanje regulacije brzine okretanja motora.

9. LITERATURA

- [1] Svjetlost, Wikipedija, dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Svjetlost> [16.05.2024.]
- [2] Razlaganje svjetlosti, Edutorij, dostupno na: <https://edutorij-admin-api.carnet.hr/storage/extracted/2251664/razlaganje-svjetlosti.html> [19.06.2024.]
- [3] Fotooptornik, Hrvatska enciklopedija, dostupno na : <https://enciklopedija.hr/clanak/fotooptornik> [17.05.2024.]
- [4] Mikrokontroler, Wikipedia, dostupno na: <https://bs.wikipedia.org/wiki/Mikrokontroler> [17.05.2024.]
- [5] Arduino Nano, Arduino store, dostupno na: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> [16.05.2024.]
- [6] Arduino Nano, Arduino store, dostupno na: <https://store.arduino.cc/products/arduino-nano> [16.05.2024.]
- [7] Aktuator, Hrvatska enciklopedija, dostupno na: <https://www.enciklopedija.hr/clanak/aktuator> [17.05.2024.]
- [8] Tranzistor, Wikipedija, dostupno na: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Tranzistor#Fototranzistor> [17.05.2024.]
- [9] Perinaks, Termoplast, dostupno na: <https://www.termoplast.rs/tehnicki-laminat/pertinaks/> [18.05.2024.]

10. POPIS SLIKA

Slika 2.1. Prikaz raspona frekvencije svjetlosti	2
Slika 2.2. Prikaz fototranzistora, fotootpornika i fotodiode	3
Slika 2.3. Mikroupravljač Arduino Nano	4
Slika 3.1. Fotootpornik koji se koristi u izradi	6
Slika 3.2. Shema elektroničkog sklopa	7
Slika 4.1. Dizajn i raspored komponenti	9
Slika 5.1. Funkcija očitavanja senzora	11
Slika 5.2. Kalibracija, resetiranje položaja te funkcija pokretanja motora	12
Slika 5.3. Kôd rotacije oko X i Z osi	13
Slika 5.4. Prikaz funkcije loop	14
Slika 6.1. Provjera i ispravak pogreške senzora	16
Slika 6.2. Dijagram toka	16
Slika 6.3. Prikaz moguće pozicije izvora (crveno) s obzirom na broj senzora (plavo) ...	18
Slika 7.1. Fotografije izrađenog uređaja.....	19
Slika 7.2. Prikaz odstupanja mjerenja	21

11. POPIS TABLICA

Tablica 7.1. Rezultati mjerenja	20
--	----

12. SAŽETAK

Ovaj završni rad bavi se razvojem sustava za detekciju izvora svjetla temeljenog na mikroupravljačkom sustavu. Kroz rad su detaljno opisane sve faze razvoja sustava, uključujući teorijsku podlogu, dizajn, implementaciju i testiranje. Sustav koristi fotootpornike i mikroupravljač Arduino Nano za detekciju i praćenje izvora svjetla. Provedeno je eksperimentalno testiranje kako bi se provjerila točnost i pouzdanost sustava. Rad također pruža pregled mogućih poboljšanja i budućih primjena razvijenog sustava.

Ključne riječi: detekcija svjetla, mikroupravljač, Arduino Nano, fotootpornici, eksperimentalno testiranje, točnost detekcije

13. ABSTRACT

Title: Light source detection

This thesis focuses on the development of a light source detection system based on a microcontroller. The work details all phases of the system development, including theoretical background, design, implementation, and testing. The system utilizes photodiodes and an Arduino Nano microcontroller to detect and track light sources. Experimental testing was conducted to verify the system's accuracy and reliability. The thesis also provides an overview of potential improvements and future applications of the developed system.

Keywords: light source detection, microcontroller, Arduino Nano, photoresistors, experimental testing, detection accuracy

14. ŽIVOTOPIS

Patrik Godanj rođen je u Vinkovcima 15. siječnja 2003. godine. Živi u selu Cerna nedaleko Vinkovaca i ondje je završio Osnovnu školu Matije Antuna Reljkovića. Nakon završene Osnovne škole upisuje Tehničku gimnaziju Josipa Ruđera Boškovića u Vinkovcima. Školujući se ondje stekao je različita znanja o mnogim tehničkim smjerovima, a posebno elektrotehnika i računarstvo. Na kraju je presudila ljubav prema elektrotehnici te je upisao Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija i to upravo na smjeru elektrotehnike. Na drugoj i trećoj godini prijediplomskog studija radio je kao demonstrator na laboratorijskim vježbama iz kolegija Elektronika. Trenutno završava prijediplomski studij završnim radom na temu Detekcija izvora svjetlosti i planira upisati diplomski studij na smjeru Održiva energetika.

15. PRILOZI

Prilog 1. Završni rad „Detekcija izvora svjetla“ u .pdf formatu

Prilog 2. Programski kod mikroupravljača