Mikroupravljački sustav za otkrivanje požara

Grgić, Matko

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU

FAKULTET ELETROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

MIKROUPRAVLJAČKI SUSTAV ZA OTKRIVANJE POŽARA

Završni rad

Matko Grgić

Osijek, 2023.

SADRŽAJ

1. UVOD

U suvremenom društvu, zaštita ljudi, imovine i okoliša od požara predstavlja izazov od velike važnosti. Upravljanje rizicima vezanim uz požare zahtijeva sve sofisticiranija tehnološka rješenja, a mikroupravljački sustavi postaju ključni elementi u ostvarivanju visoke razine sigurnosti. Mikroupravljački sustavi su integrirani sklopovi temeljeni na mikrokontrolerima ili mikroprocesorima, sposobni za precizno izvođenje niza zadataka u realnom vremenu. Njihova primjena u domenama kao što su otkrivanje požara omogućuje brzu, pouzdanu i inteligentnu reakciju na potencijalno opasne situacije.

Ovaj završni rad usredotočuje se na analizu, dizajn i implementaciju mikroupravljačkog sustava namijenjenog otkrivanju požara. Kroz sustavan pristup, istraživački rad istražuje različite aspekte vezane uz detekciju požara, uključujući različite tipove senzora za detekciju topline i plamena, metode obrade signala te algoritme za donošenje odluka.

U nastavku rada, detaljno je opisan proces projektiranja sustava, od odabira komponenata do implementacije softverskih algoritama. Također, proučeni su rezultati eksperimenata koji demonstriraju učinkovitost i pouzdanost razvijenog mikroupravljačkog sustava u kontekstu otkrivanja požara. Kroz ovu analizu, rad doprinosi sveobuhvatnijem razumijevanju uloge mikroupravljačkih sustava u poboljšanju sustava zaštite od požara te potiče daljnja istraživanja i inovacije u ovom važnom području.

U prvom poglavlju rada predstavljeni si osnovni ciljevi i motivacija za izradu završnog rada na zadanu temu. Drugo poglavlje daje detaljan prikaz svih korištenih alata i tehnologija nužnih za izradu rada dok treće poglavlje pruža pogled u detalje izrade fizičkog modela rada kao i programske podrške za isti. Četvrto poglavlje je opis održanog eksperimenta te rezultati i zaključci izvedeni iz eksperimenta.

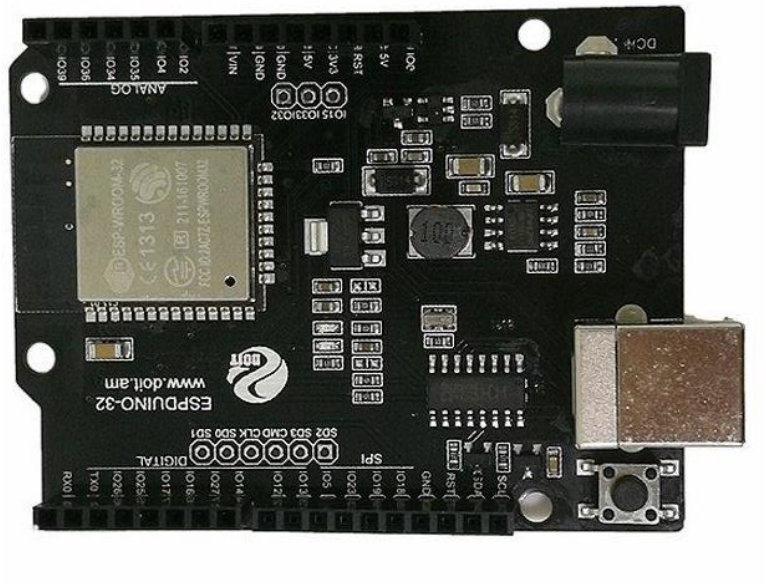
1.1. Zadatak rada

Zadatak rada je napraviti mikroupravljački sustav za otkrivanje požara. Glavni element rada je Melexis MLX90641 infracrveni senzor topline. Potrebno je razumjeti način njegovog djelovanja te ga povezati s mikroupravljačem ESPduino-32 tvrtke DOIT. Potrebno je osigurati i odgovarajuću programsku podršku te periferne uređaje. Na kraju sve zajedno povezati i omogućiti ispis na zaslon.

2. PRIMJENJENE TEHNOLOGIJA I ALATI

2.1. ESPDUINO-32 – mikroupravljačko sklopovlje

DOIT ESPduino-32 (Sl. 2.1.) je popularano mikroupravljačko sklopovlje koji se često koristi u različitim elektroničkim projektima. Njime upravlja Xtensa LX6 mikroprocesor, a uz njega na tiskanoj pločici se nalaze WiFi modul za bežični prijenos podataka i pristup internetu, Bluetooth 4.2 te modul za upravljanjem u stvarnom vremenu. Napaja se preko USB ulaza ili konektora istosmjerne struje na napon između 5 i 12V te strujom od 80mA [1].



Sl. 2.1. DOIT ESPduino-32 pločica s Xtensa LX6 mikrokontrolerom i perifernim uređajima [1]

2.2. MLX90641 – Infracrveni senzor topline sa 16x12 matricom

MLX90641 je industrijski standardiziran senzor topline s 16x12 matričnim prikazom, tj. 192 jedinstvena infracrvena senzora. Zapakiran je u TO-39 pakiranje s digitalnim sučeljem. Radi na 3.3V s jačinom struje od 12mA. Omogućava jednostavnu I2C komunikaciju brzine do 1MHz što ga čini pogodnim za jednostavne, ali i složenije elektroničke projekte. Neke od njegovih upotreba u stvarnom svijetu su: beskontaktno mjerenje temperature, mikrovalne pećnice, prepoznavanje pokreta, klima uređaji s automatskim paljenjem i sl. Senzor ima četiri pina – dva za I2C komunikaciju (SDA i SCL) te dva za spajanje samog uređaja u strujni krug [2].

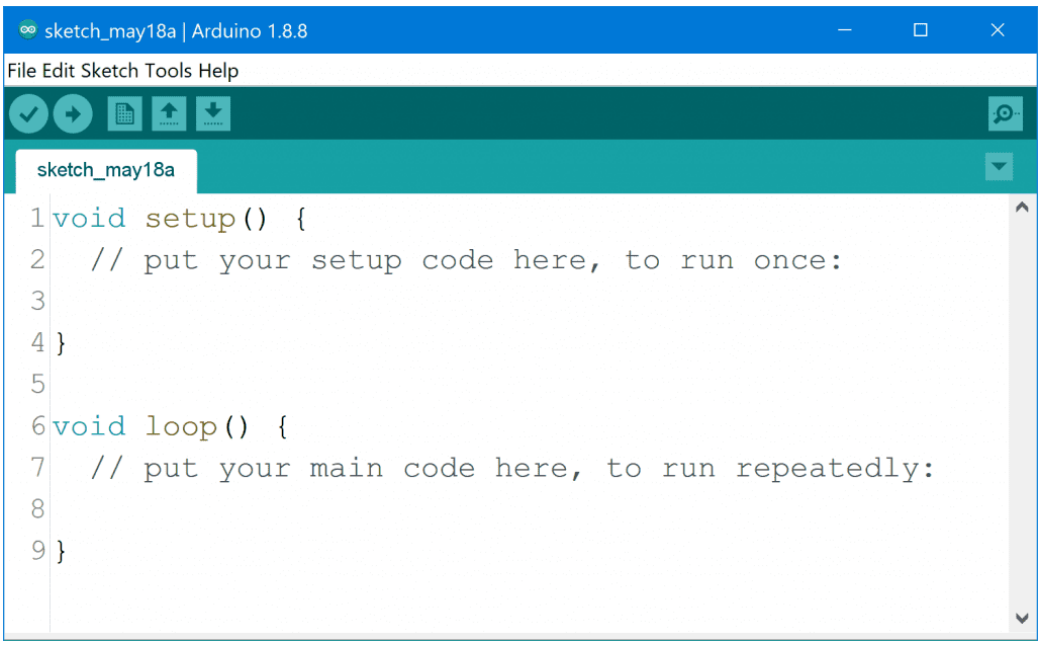
Sl. 2.2. MLX90641 senzor topline sa 16x12 matričnim prikazom [3]

2.3. Periferni uređaji

Niti jedan elektronički projekt nije moguć bez perifernih uređaja kao što su: otpornici, vodiči i diode. Za ovaj projekt korišteni su otpornici od 300 i 2200Ω te LE dioda za označavanje alarmantnog stanja. Otpornici su nužni za održavanje sustava u stabilnom stanju – kada nema I2C komunikacije potrebno je pomoću pull-up otpornika dovesti logičku jedinicu na ulaze I2C komunikacije, a kad se događa prijenos podataka dolazi logička nula koja označava početak. Otpornici također služe za zaštitu ostalih perifernih uređaja, što je u ovom slučaju dioda, od pregrijavanja smanjujući struju koja prolazi kroz uređaj. Za realizaciju sustava korištena je i eksperimentalna pločica (*engl. breadboard*). Ova pločica idealna je za eksperimentalne sustave jer omogućuje spajanje komponenti na glavnu upravljačku jedinicu bez trajnog lemljenja komponenti. Sadrži velik broj „rupa“ (*engl. pins*) koji služe kao mjesto kontakta za vodiče. Redci pločice povezani su u seriju, pa se može gledati svaki redak kao zasebno mjesto kontakta. Ukratko, zbog svoje jednostavnosti eksperimentalne pločice često su korištenje za edukaciju o osnovama rada elektroničkih krugova, ali i za ozbiljnije eksperimentalne radove.

2.4. Arduino IDE

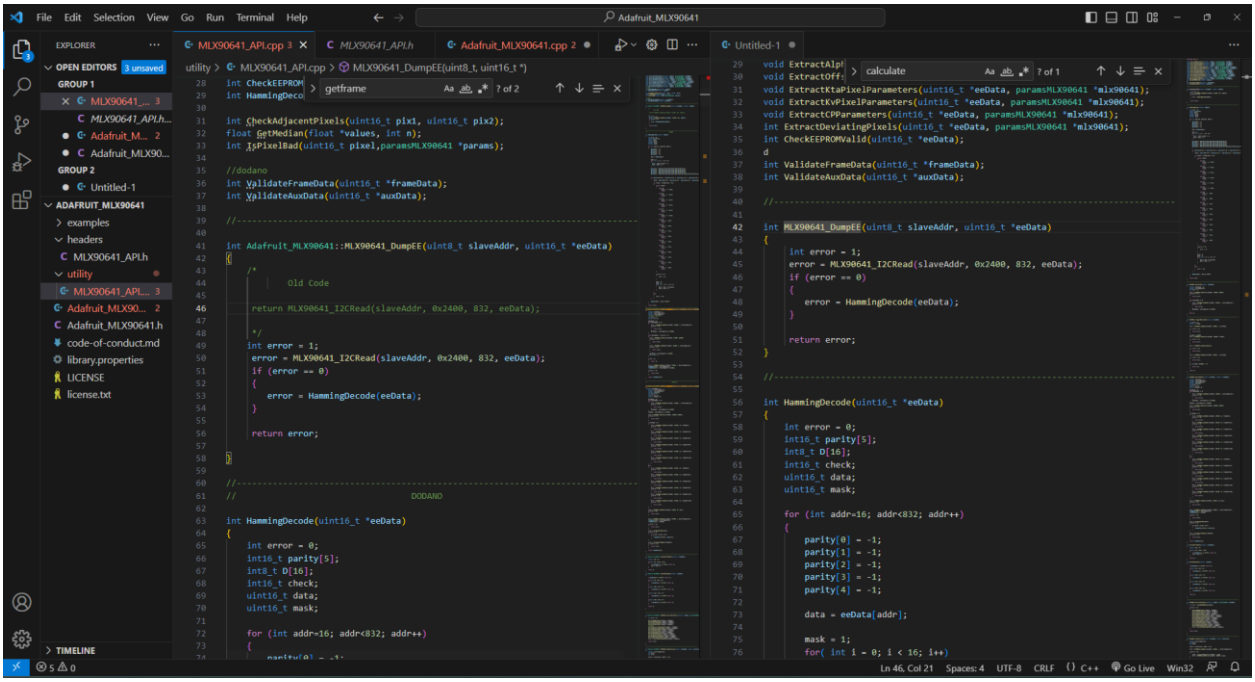
Arduino Integrated Development Environment (engl. *Arduino integrirano razvojno sučelje*) je program tvrtke Arduino poznatoj po svojim brojnim razvojnim pločicama. Ovo sučelje je programski dodatak tim, ali i mnogim drugim pločicama, koje omogućuje komunikaciju s hardverom, programiranje istog te njegovo testiranje. Sadrži uređivač teksta, prozor za izlaz, Serial monitor – korisni alat za provjeru rada koda preko fizičkog mikroupravljača i brojne druge mogućnosti. Budući da je sučelje kroz godine nadograđivano kako bi podržalo brojne uređaje, razvojni inženjeri su morali pisati svoje biblioteke kodova za svoje sklopovlje te je i gotove biblioteke moguće instalirati preko ugrađenog pretraživača. Dvije su glavne funkcije u kodu pisanog u Arduino IDE – setup() i loop(). Setup() (*engl. postavljanje*) je funkcija koja se izvodi samo jednom i poziva se na početku izvođenja programa. U njemu se govori koji izlazi se koristi i u koju svrhu, definiranje biblioteka, inicijalizacija varijabli i serijske komunikacije i sl. Nakon što su određeni početni uvjeti izvodi se loop() (*engl. ponavljaj)* funkcija. Kao što joj ime kaže, sav kod u njoj se ponavlja sve dok ne dođe do prekida programa. Na taj način moguće je čitati nove podatke koje senzor prikuplja, paliti i gasiti LED-icu i dr. Arduino programsko sučelje podržano je na svim većim platformama uključujući Windows, MacOS i Linux. [4]



Sl. 2.4. Arduino integrirano razvojno sučelje [5]

2.5. Visual Studio Code

Visual Studio Code (VS Code) je široko korišteni alat tvrtke Microsoft koji služi za uređivanje teksta, odnosno koda. Uz svoju potporu za brojne programske i opisne jezike, jednostavan je i intuitivan, ali i vrlo brz što ga čini povoljnim za širok spektar korisnika. Sadrži i inteligentna svojstva koja omogućuju samostalno završavanje započetih kodova, ali i predlaže sljedeće korake u pisanju programa. Ono što ga odvaja od ostalih alata slične prirode je njegova tzv. trgovina dodatcima. Slično kao i Arduino, postoje mnoga proširenja uključena u program od strane zajednice programera, kao i samog Microsofta, koja olakšavaju pisanje, uređivanje i razumijevanje koda. Program je besplatan, redovno nadograđivan i pouzdan što ga izdvaja kao jednog od najboljih alata u svojoj kategoriji. [6]



Sl. 2.5. Visual Studio Code uređivač koda

3. REALIZACIJA SUSTAVA

3.1. Načini detekcije požara

Postoji puno načina za detekciju požara, ali četiri su najčešća: ionizacijsko-fotoelektrični, fotoelektrični, ionizacijski i toplinski. Dok su toplinski senzori aktivirani povećanom temperaturom, ostali pale alarmantno stanje detekcijom dima [7]. Za ovaj rad korišten je toplinski senzor koji pomoću infracrvenog zračenja daje matrični prikaz temperatura svoje okoline.

3.2. Infracrveno zračenje

Radi lakšeg razumijevanja rada senzora potrebno je upoznati se s osnovama infracrvenog zračenja. Infracrveno zračenje vrsta je elektromagnetskih valova valne duljine između 0.75 μm i 1 mm. Zasluge za otkriće ove vrste zračenja upisuju se Fredericku Williamu Herschelu, engleskom astronomu, graditelju teleskopa i glazbeniku njemačkog podrijetla [8].

Promatrajući disperziju sunčeve svjetlosti na optičkoj prizmi primijetio je kako se više temperature nalaze na području crvenog dijela vidljivog spektra. Ta se vrsta zračenja ne može vidjeti, kao ni veći dio spektra elektromagnetskih valova, ali može ga se osjetiti na koži kao osjećaj topline. Infracrveno zračenje nastaje kao posljedica sudaranja čestica prilikom gibanja u prostoru, pri vibracijama kristalne rešetke čvrstih tijela te rotaciji kemijskih veza atomskih skupina u molekulama organskih tvari i plinova na svim temperaturama višim od apsolutne nule na kojoj svako gibanje staje [9]. Infracrveno zračenje, stoga, može se pojednostaviti i kao prikaz temperature nekog tijela ili plina.

Sl. 3.1. Toplinska (termalna) fotografija dviju osoba [10]

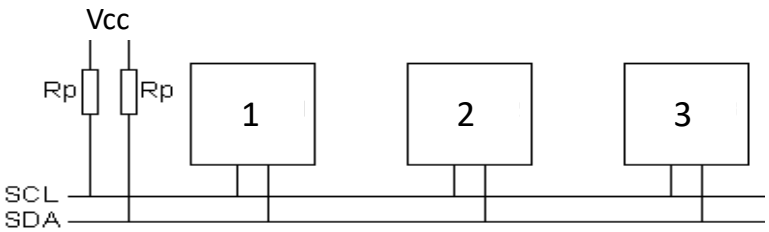
Na sl. 3.1. prikazana je toplinska fotografija. Koristeći srednje i duže vrijednosti valne duljine u infracrvenom spektru senzor „osjeti“ razliku topline. Tako je osoba, koja daje više topline od npr.

betonskog zida, prikazana svjetlijim (toplijim) bojama. Ova tehnologija često se koristi u sigurnosnim sustavima koji osiguravaju područje bez svijetla, primjerice vanjske prostore noću te područje s preprekama (šuma, polja s visokim raslinjem).

3.3. Razumijevanje i spajanje senzora

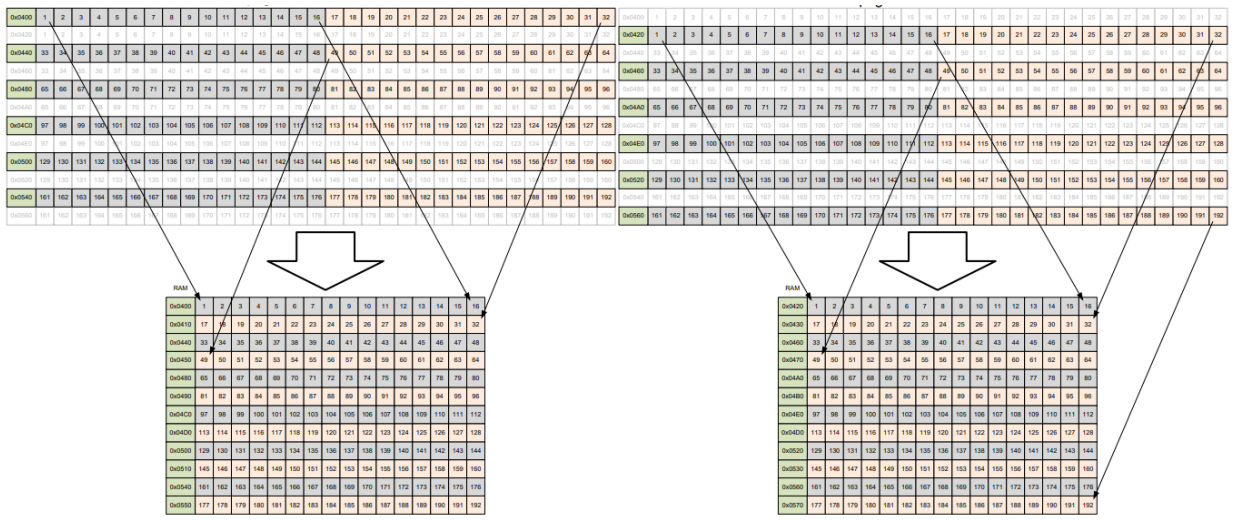
Prvi korak u izradi ovog rada je dobro se upoznati s glavnom komponentom. MLX90641 infracrveni senzor sa 16x12 matričnim prikazom okoline odabran je zbog svog jednostavnog izgleda i mogućnosti lakog rukovanja. Nalazi se u industrijski standardiziranom TO39 pakiranju – kućište napravljeno u obliku metalne kape, hermetički zatvoreno kako bi se mikročip zaštitio od okolnih utjecaja kao što su vlaga i zagađenje [11]. MLX90641 sadrži ambijentalni temperaturni senzor koji očitava vrijednosti temperature okoline spremajući vrijednosti u integriranu RAM memoriju, a kojoj pristupamo preko I2C protokola. Senzor ima 4 pina (nožice) preko kojih ga se napaja i komunicira s mikroupravljačkim sučeljem. Dvije nožice služe za napajanje dok druge dvije omogućavaju komunikaciju preko I2C protokola [2].

I2C protokol omogućuje mikrokontroleru komunikaciju s više različitih uređaja preko samo dvije žice – SDA i SCL. SCL (Serial Clock Line) stvara signal takta. Pri velikim brzinama koje se ostvaruju u svijetu elektronike svaka milisekunda je bitna. SCL sinkronizira, tj. ujednačuje, prijenos svih podataka u I2C kanalu kako bi signal istovremeno dolazio do svakog uređaja spojenog u taj kanal. SDA (Serial Data Line) služi za prijenos podatka od mikrokontrolera do uređaja i obratno – moguća je komunikacija u oba smjera, ali samo u jednom istovremeno. Uređaj koji šalje zahtjev nazivamo master, a onaj koji mu je podređen slave. Master šalje adresu uređaja s kojim želi komunicirati, uređaj koji ima tu adresu šalje/prima podatke dok ostali uređaji ostaju u stanju u kojem su prethodno bili. Za pravilnu I2C komunikaciju potrebno je na SCL i SDA linije postaviti pull-up otpornike. Oni spriječavaju da se u kanalu pojavi neodređeno stanje ukoliko se komunikacija trenutno ne odvija tako što spajaju linije s logičkom jedinicom („visokom“ naponskom razinom). Potrebno je razumjeti da prilikom spajanja elektroničkih potrebno je točno odrediti koje stanje se nalazi na izlazu (logička jedinica ili nula) kako bi se izbjegle pogreške [12].



Sl. 3.2. I2C komunikacija preko SCL i SDA linije i pripadajućim pull-up otpornicima [13]

MLX90641 senzoru potrebno je dovesti napon iznosa 3-3.6V i struju 10-14mA. I2C komunikacija radi na signalu taktu do 1MHz. Tvornička I2C adresa je 0x33 i potrebno ju je zapamtiti kako bi mogli programirati senzor. Sadrži 192 infracrvena senzora, tj. 192 vrijednosti temperature koje se prikazuju u matrici 16x12. Svaki piksel identificiran je svojim redom i stupcem kao Pix(i,j). Senzor sadrži i dvije stranice (*engl. subpage*) s kojih naizmjenično čita podatke.



Sl. 3.3. Stranice podataka unutar MLX90641 senzora [2]

Na Sl.3.3. prikazano je naizmjenično osvježavanje podataka po redcima – budući da se radi s 32 bitnim adresama potrebno je 32x6 prikaz transformirati u 16x12 koji je puno lakši za razumjeti i vizualizirati.

3.4. Izrada biblioteke

Biblioteka predstavlja kolekciju unaprijed napisanih kodova. Njihova svrha je ponuditi korisniku široku lepezu funkcija i mogućnosti koje može koristiti bez da ih osobno piše. Često se radi o kompliciranim funkcijama koje komuniciraju s operacijskim sustavom ili harverom, a razumijevanje istih nije nužno za daljnji rad programa. Kao što je ranije rečeno, Arduino IDE podržava biblioteke za velik broj senzora koji imaju sebi specifičan način rada. Često korišteni senzori i mikroupravljači imaju bolju podršku i unaprijed izrađene biblioteke od strane programera koji se time bave [14]. MLX90641 jedan je od onih koji nemaju svoju vlastitu biblioteku te je potrebno izraditi je iznova.

Tvrtka Melexis bavi se proizvodnjom elektroničkih komponenti među kojima je i MLX90641, ali i brojni drugi. Jedan od njihovih senzora, MLX90640, vrlo je sličan MLX90641

senzoru koji koristimo u projektu, a za njega postoje već unaprijed definirane biblioteke u Arduino IDE. U ovom slučaju, one su poslužile kao baza za izradu nove biblioteke.

Prvo je potrebno pomno proučiti razlike između dva senzora. Imaju gotovo istu namjenu, oba su matrični infracrveni senzori topline, ali različitih rezolucija – MLX90640 sadrži matricu dimenzija 32x24. Zbog toga je prvo potrebno ući u svaku datoteku biblioteke i promijeniti dimenzije, uvjete petlji, adrese i sl. Za to je korišten VS Code uređivač koda koji može otvoriti cijele mape i omogućiti vrlo pregledan prikaz datoteka u njima. Zatim, potrebno je dodati Hammingov dekoder koji je nepotreban za rad MLX90640 senzora, ali iznimno potreban za rad MLX90641 senzora. Hammingov kod koristi se kao alat za pronalaženje i ispravljanje grešaka prilikom prijenosa podataka. Zahtjeva dodavanje paritetnih bitova čija se vrijednost određuje prema već postojećim bitovima informacije koja se prenosi. U ovom slučaju koristimo Hamming(15,11) kodiranje gdje od 11 podatkovnih bita dobivamo 4 paritetna bita. Peti paritetni bit dobiva se kao kombinacija svih podatkovnih bitova i svih paritetnih bitova dobivenim Hamming kodiranjem.

$$P0 = D0 + D1 + D3 + D4 + D6 + D8 + D10$$

$$P1 = D0 + D2 + D3 + D5 + D6 + D9 + D10$$

$$P2 = D1 + D2 + D3 + D7 + D8 + D9 + D10$$

$$P3 = D4 + D5 + D6 + D7 + D8 + D9 + D10$$

$$P4 = D0 + D1 + D2 + D3 + D4 + D5 + D6 + D7 + D8 + D9 + D10 + P0 + P1 + P2 + P3$$

Formule 3.1. Računanje vrijednosti paritetnih bitova [2]

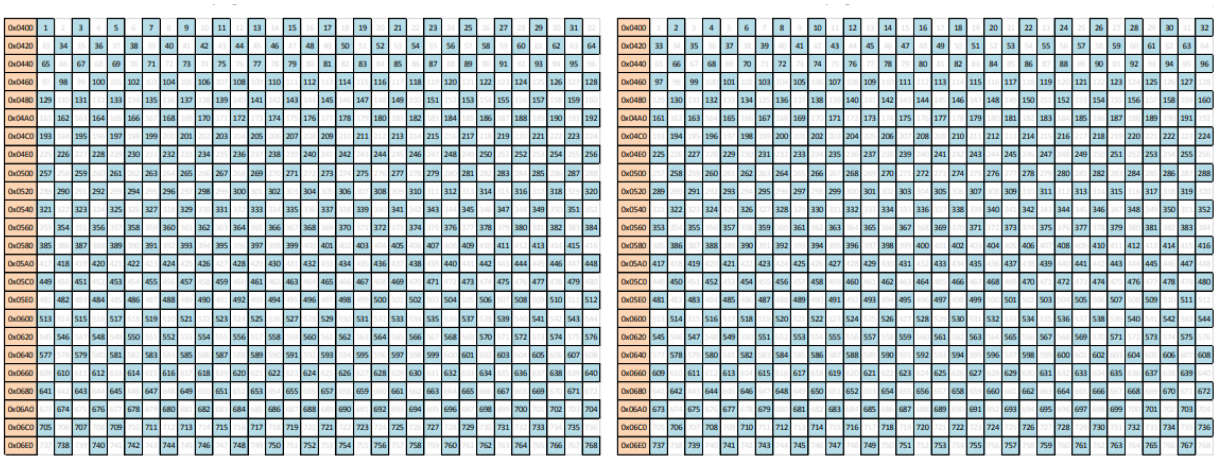
B15	B14	B13	B12	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0
P4	P3	P2	P1	P0	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

Sl. 3.4. Raspored podatkovnih i paritetnih bitova dobivenih Hamming kodiranjem te način kodiranja [2]

Izostavljanjem Hammingovog kodiranja, odnosno dekodiranja podataka, dobivaju se nasumične pozitivne i negativne vrijednosti, a često dolazi i do podataka koji nisu brojčani (NaN *engl. Not a Number*).

Nadalje, MLX90640 sadrži dva moda rada. Učitavanje podataka moguće je na jednak način kao i kod MLX90641 – čitanje svih vrijednosti iz „parnih“ heksadecimalnih adresa u jednom signalu takta, te čitanje svih vrijednosti iz „neparnih“ adresa u drugom taktu. To je

takozvani TV mod ili interleave mod rada. MLX90640 može raditi i na način da u svakoj stranici osvježava istovremeno sve adrese, ali i ne sve podatke u njima u obliku šahovnice (šah mod – *engl. Chess mode)*.



Sl. 3.5. Šah način rada senzora MLX90640 [15]

U oba moda rada potrebni su potpuni podaci (podaci s obje stranice) kako bi se mogla izračunati potpuna vrijednost svakog piksela matrice. Kako bi prilagodili kod svojem senzoru briše se sav kod koji u sebi sadrži šahovski način rada.

Na taj način kompletira se biblioteka prilagođena MLX90641 senzoru i njegovim specifikacijama. Ona na kraju sadrži: C++ datoteku s pomoćnim funkcijama koje se koriste u Arduino IDE programskom sučelju, MLX90641_API C++ datoteku koja sadrži funkcije za komunikaciju s hardverom samog senzora, u njemu se preko adresa dohvaćaju i obrađuju podaci, MLX90641_API.h datoteka koja u sebi sadrži strukturu s parametrima koji se popunjavaju u API C++ datoteci te druga .h datoteka s definicijom svih funkcija iz C++ datoteka, definira frekvencije osvježavanja samog senzora i okolnosti njegovog rada i klasu koja se popunjena podacima vraća u Arduino programsko sučelje kako bi se mogli vidjeti rezultati. Biblioteke je potrebno raditi u točno određenom formatu kako bi Arduino IDE prihvatio biblioteku kao važeću.

3.5. Programsko rješenje sustava

Nakon završene biblioteke potrebno je napisati kod u Arduino IDE sučelju. U njemu su korištene unaprijed definirane funkcije iz biblioteke. Stoga ju je potrebno uključiti u naš projekt:

```
#include <Adafruit_MLX90641.h>
```

Programski kod 3.1. Uključivanje biblioteke u program

Nadalje, potrebno je definirati senzor kao varijablu. U biblioteci je definirana klasu **Adafruit_MLX90641** i u njoj se nalaze sve funkcije koje se koriste s istom klasom. Korišten je operator izravnog odabira člana ili popularnije točkasti (engl. *dot*) operator kako bi se preko varijable pristupalo funkcijama. Za spremanje podataka prikupljenih sa senzora potrebno je polje decimalnih vrijednosti od 192 mjesta. Kasnije se iz tog polja slaže matrični prikaz 16x12 koji je mnogo jednostavniji za čitanje i razumijevanje od jednodimenzionalnog polja.

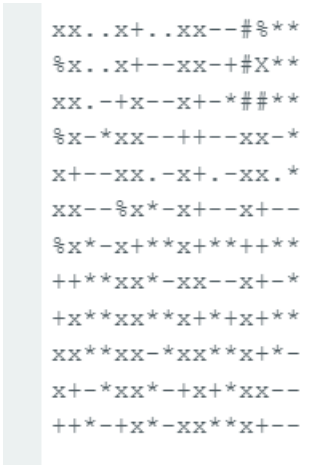
```
Adafruit_MLX90641 mlx;
float frame[12*16]; // buffer for full frame of temperatures
```

Programski kod 3.2. Deklariranje klase varijablom i polja za spremanje temperatura

MLX90641 pomoću svoja 192 infracrvena senzora omogućava određivanje temperature iz okoline, ali češća je praksa prikazivanje podataka bojama ili simbolima, nego brojčano. U ovom slučaju programski je omogućen prikaz pomoću ASCII simbola. Svaka vrijednost temperature koja pripada određenom intervalu zamijenjena je i prikazana odgovarajućim simbolom. Vrlo visoke temperature koje daje plamen postavljaju sustav u alarmantno stanje koje naizmjenično pali i gasi LE diodu označavajući uzbunu. Kako bi mikroupravljač mogao komunicirati s LE diodom potrebno je unaprijed definirati pin preko kojeg se komunicira. Također, korišten je i brojač visokih temperatura kao osigurač. Moguće je zbog nepravilnosti ili greške da vrijednost skoči (engl. *spike value*) i prebaci sustav u alarmantno stanje. Brojač broji koliko se visokih temperatura nalazi u polju te, ako taj broj prelazi unaprijed određenu graničnu vrijednost, postavlja sustav u alarmantno stanje.

```
// uncomment *one* of the below
//#define PRINT_TEMPERATURES
#define PRINT_ASCIIART
const int pinToControl = 26;
int count = 0;
```

Programski kod 3.3. Definicija načina rada, definiranje komunikacijskog pina za LE diodu te deklaracija i inicijalizacija brojača



Sl. 3.6. Ispis termalne slike prilikom PRINT_ASCIIART načina rada

```
26.2, 26.3, 26.3, 26.4, 26.3, 26.4, 26.3, 26.2, 25.9, 26.0, 26.0, 26.1, 26.0, 25.8, 25.7, 25.8,
26.2, 26.3, 26.5, 26.6, 27.0, 27.1, 26.5, 26.3, 26.1, 26.0, 25.9, 26.0, 26.1, 26.0, 26.0, 26.1,
26.3, 26.6, 27.0, 28.4, 29.8, 29.8, 28.6, 27.1, 26.6, 26.3, 26.1, 26.0, 26.2, 26.0, 26.2, 26.1,
26.1, 26.2, 26.4, 27.7, 28.8, 30.0, 30.0, 29.1, 28.6, 27.2, 26.2, 26.3, 26.3, 26.0, 26.1, 26.2,
26.2, 26.4, 26.8, 28.3, 29.7, 31.0, 31.1, 30.9, 30.0, 29.3, 28.6, 27.2, 26.4, 26.1, 26.1, 26.2,
26.0, 26.2, 26.3, 26.8, 28.6, 30.0, 31.2, 31.4, 31.3, 29.7, 28.6, 26.9, 26.5, 26.2, 26.0, 26.1,
25.8, 26.0, 26.2, 26.9, 28.2, 30.1, 31.2, 31.4, 31.5, 31.2, 31.1, 29.9, 27.3, 26.3, 26.2, 26.3,
25.8, 25.7, 26.0, 26.3, 27.3, 28.4, 30.1, 31.4, 31.4, 31.4, 31.4, 31.2, 28.5, 26.8, 26.1, 26.2,
25.7, 25.7, 26.3, 27.3, 28.3, 28.7, 30.4, 31.2, 31.5, 31.6, 31.5, 31.4, 29.9, 27.0, 26.3, 26.1,
25.8, 26.0, 26.3, 27.0, 27.1, 27.9, 28.1, 30.1, 31.4, 31.4, 31.5, 31.6, 31.4, 31.1, 26.0, 27.3,
26.2, 25.8, 26.2, 26.0, 26.5, 27.0, 27.9, 28.7, 30.0, 31.8, 31.9, 32.0, 32.0, 32.1, 31.9, 31.8,
25.8, 25.9, 25.8, 26.1, 26.1, 26.0, 27.1, 27.6, 28.9, 30.2, 31.8, 31.7, 32.1, 31.8, 32.0, 31.9,
```

Sl. 3.7. Ispis brojčanih vrijednosti temperatura prilikom PRINT_TEMPERATURES načinu rada

Nakon svih potrebnih deklaracija kreće startup() funkcija Arduino programa. U njoj je prvo definiran pin LE diode alarmantnog stanja kao izlaz – na njega se signal šalje, tj. ne očekuju se podaci natrag prema mikroupravljaču s tog pina. Zatim se pokreće serijska komunikaciju. Pomoću nje i Arduino Serial Monitor-a prikazuju se temperature, odnosno ASCII simboli na zaslonu. Bitna stavka kod serijske komunikacije je baud rate – količina informacija koja prolazi kroz komunikacijski kanal. U kontekstu serijske komunikacije „115200 baud“ znači da kroz kanal serijske komunikacije prolazi maksimalno 115.200 bita po sekundi. Na brzinama većim od 76.800 bit/s potrebno je obratiti pažnju i na dužinu kabla za programiranje – veća brzina zahtjeva manji put u istom vremenu prijenosa podataka. [16] Nadalje, nakon uspostavljanja serijske komunikacije ispisuju se osnovni podaci o senzoru i postavljaju inicijalne vrijednosti, odabire se „interleaved“ način rada podržan od strane senzora i rezolucija ulaza. Rezolucija označava broj bitova koji se šalje prema i od mikroupravljača. Tako primjerice tvornička vrijednost od 18 bita rezolucije

označava 2^{18} bajta podataka u toku. Potrebno je postaviti i stopu osvježavanja (engl. *refresh rate*), tj. koliko puta u sekundi senzor prikuplja nove podatke. U slučaju MLX90641 senzora vrijednosti stope osvježavanja kreću se od 2^{-1} (0,5) Hz do 2^{6} (64) Hz.

```
void setup() {
  pinMode(pinToControl, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  delay(100);
```

Programski kod 3.4. Inicijalizacija serijske komunikacije

```
  Serial.print("Serial number: ");
  Serial.print(mlx.serialNumber[0], HEX);
  Serial.print(mlx.serialNumber[1], HEX);
  Serial.println(mlx.serialNumber[2], HEX);

  mlx.setMode(MLX90641_INTERLEAVED);
  //mlx.setMode(MLX90641_CHESS);
  Serial.print("Current mode: Interleave ");
/* if (mlx.getMode() == MLX90641_CHESS) {
    Serial.println("Chess");
  } else {
    Serial.println("Interleave");
    */
  }
```

Programski kod 3.5. Ispis osnovnih podataka senzora i postavljanje radnom načina

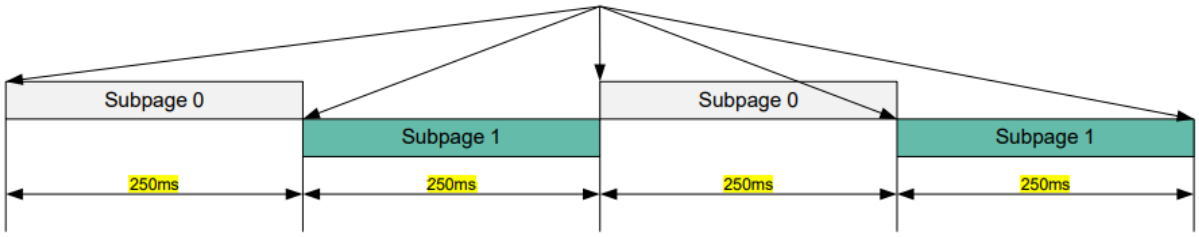
```
mlx.setResolution(MLX90641_ADC_18BIT);
Serial.print("Current resolution: ");
mlx90641_resolution_t res = mlx.getResolution();
switch (res) {
  case MLX90641_ADC_16BIT: Serial.println("16 bit"); break;
  case MLX90641_ADC_17BIT: Serial.println("17 bit"); break;
  case MLX90641_ADC_18BIT: Serial.println("18 bit"); break;
  case MLX90641_ADC_19BIT: Serial.println("19 bit"); break;
}
```

Programski kod 3.6. Postavljanje i ispisivanje korištene rezolucije

```
mlx.setRefreshRate(MLX90641_64_HZ);
Serial.print("Current frame rate: ");
mlx90641_refreshrate_t rate = mlx.getRefreshRate();
switch (rate) {
  case MLX90641_0_5_HZ: Serial.println("0.5 Hz"); break;
  case MLX90641_1_HZ: Serial.println("1 Hz"); break;
  case MLX90641_2_HZ: Serial.println("2 Hz"); break;
  case MLX90641_4_HZ: Serial.println("4 Hz"); break;
  case MLX90641_8_HZ: Serial.println("8 Hz"); break;
  case MLX90641_16_HZ: Serial.println("16 Hz"); break;
  case MLX90641_32_HZ: Serial.println("32 Hz"); break;
  case MLX90641_64_HZ: Serial.println("64 Hz"); break;
}
```

Programski kod 3.7. Postavljanje stope osvježavanja senzora te ispis

Nakon postavljanja početnih uvjeta, kreće radni dio programa, tj. loop() funkcija koja iznova izvodi isti programski kod i svakim prolaskom kroz kod dobiva nove podatke od senzora. U svrhu pravilnog dohvaćanja podataka sa senzora učitavaju se obje stranice podataka sa senzora nad kojima se vrše kalkulacije. Željena stopa osvježavanja je 64 Hz što znači da je za osvježavanje jedne stranice potrebno $\frac{1}{64}$ sekundi. Taj broj pomnožen s dvije stranice daje približno 32 ms – iznos čekanja prije ponovnog dohvaćanja podataka s MLX90641 senzora.



Sl. 3.8. Osvježavanje stranica prilikom 4 Hz stope osvježavanja [2]

```
void loop() {
  count = 0;
  delay(32);
  if (mlx.getFrame(frame) != 0) {
    Serial.println("Failed");
    return;
  }
```

Programski kod 3.8. Postavljanje čekanja u funkciji loop() i dohvaćanje podataka

Korištenjem **.getFrame()** funkcije definirane unutar biblioteke dohvaćaju se podaci sa senzora i spremaju u lokalnu varijablu frame. Dopisana je i pripadajuća poruka u slučaju neuspješnog dohvaćanja podataka. U programskom kodu 3.8. spomenuta count varijabla koristi se za izbjegavanje pokretanja alarmantnog stanja prilikom pojave stršećih vrijednosti.

U drugom dijelu loop() funkcije formatira se ispis podataka. Pomoću dvije petlje jednodimenzionalno polje sa 192 mjesta ispisuje se u formatu dvodimenzionalnog polja sa 16 stupaca i 12 redaka. Varijabla float t predstavlja očitanu temperaturu pojedinog piksela.

```
for (uint8_t h=0; h<12; h++) {
  for (uint8_t w=0; w<16; w++) {
    float t = frame[h*16 + w];
```

Programski kod 3.9. Formatiranje ispisa

Zadnji dio radne funkcije grana se pomoću direktiva. One predstavljaju uputu predprocesoru koji dio koda se uvažava, odnosno zanemaruje prilikom prevođenja programa. U ovom slučaju, provjerava se ranije definiran način rada – PRINT_ASCIIART ili PRINT_TEMPERATURES. Ispisivanje temperatura je jednostavnije budući da je to ono što senzor i daje. Koristi se funkcija Serial.print() koja preko Serial Monitora ispisuje brojčane vrijednosti na zaslon.

```
#ifdef PRINT_TEMPERATURES
    Serial.print(t, 1);
    Serial.print(", ");
#endif
#ifdef PRINT_ASCIIART
    char c = '&';
    if (t < 15) c = ' ';
    else if (t < 20) c = '.';
    else if (t < 25) c = '-';
    else if (t < 30) c = '*';
    else if (t < 35) c = '+';
    else if (t < 40) c = 'x';
    else if (t < 45) c = '%';
    else if (t < 50) c = '#';
    else if (t < 55) c = 'X';
    else c = 'O';
    Serial.print(c);

    if(t > 90) count = count + 1;

#endif
```

Programski kod 3.10. Predprocesorske naredbe i ispisivanje vrijednosti

Drugi način rada zahtjeva uvjetno grananje. Korištenjem **if**/**else** vrijednost temperature zamijenjuje ASCII simbol radi lakše vizualizacije toplinske slike koju senzor daje. Ukoliko više piksela prepozna vrlo visoku temperaturu pali se alarmantno stanje.

Posljednji dio koda je alarmantno stanje. Sastoji se od jednog uvjetnog grananja koje glasi: ako više od 5 piksela prepozna vrlo visoku temperaturu, naizmjenično pali/gasi LE diodu – u suprotnom ju drži ugašenom. Dodana je i pauza u slučaju paljenja/gašenja LE diode kako bi ljudsko oko moglo prepoznati promjenu – zbog tromosti oka potrebno je imati pauzu programa dužu od 40 ms kako bi oko prepoznalo da se dioda ugasila, odnosno upalila [17].

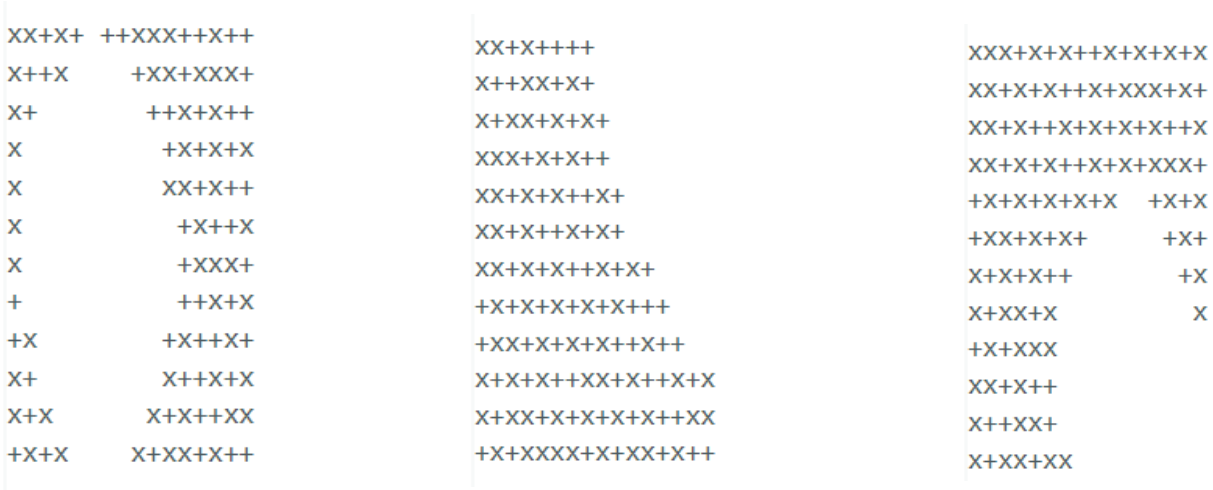
```
  if(count>5){
  digitalWrite(pinToControl, HIGH);
  delay(50);
  digitalWrite(pinToControl, LOW);
  }
  else
  digitalWrite(pinToControl, LOW);

  Serial.println();
}
```

Programski kod 3.11. Upravljanje LE diodom u alarmantnom stanju

4. EKSPERIMENT

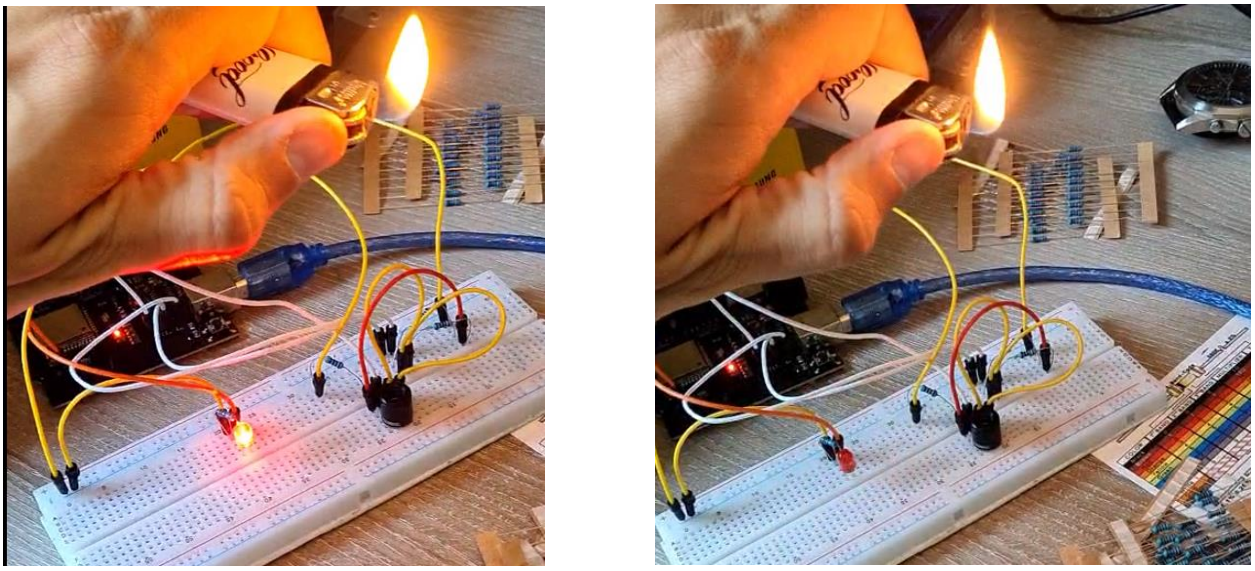
Kako bi se dokazala ispravnost mikroupravljačkog sustava odrađen je eksperiment. U prvom dijelu eksperimenta iznad senzora je postavljen hladan predmet. Za temperature niže od 15°C senzor šalje brojčanu vrijednost, a program na zaslon ispisuje prazan prostor.

Sl. 4.1. Hladni predmet



Sl. 4.2. Pomicanje hladnog predmeta po vidokrugu senzora i pomicanje prostora niske temperature na ispisu

U drugom dijelu eksperimenta korišten je upaljač kao izvor plamena te simulacija požara. Nakon što je plamen doveden u senzoru vidljivo područje, pali se „blicanje“ LE diode koja označava alarmantno stanje.



Sl. 4.3. Paljenje i gašenje LE diode tokom alarmantnog stanja

```
0000++++xxx++x++
0000x+x+x+xx+xxx
00000x+x+xxx+x+x
0000000++x+x+x+x
0000000+x+xx+x++
00000000x+x+x++x
00000000x+x+xxx+
000000+x+x++xx+x
000000+x++xx+xx+
00000++xx+xx+++x
000x+x+x+x+x++xx
0x+xxxx+x+xx+x++
```

Sl. 4.4. Izlaz prilikom prilaska plamena senzoru s lijeve strane – simboli O označavaju visoke temperature

Cijeli video eksperimenta dostupan je na linku [18].

5. ZAKLJUČAK

Mikroupravljački sustav za prepoznavanje požara uspješno je napravljen. Omogućena je prevencija potencijalno opasnih situacija za čovjeka i za imovinu. MLX90641 senzor nalazi se u kompaktnom pakiranju te je cijelim sustavom lako rukovati i prenijeti ga. Moguća je i njegova ugradnja na mjesta bez pristupa internetu budući da se sva komunikacija događa interno – unutar samog senzora. Spajanjem uređaja na računalo moguće je bilježiti svaku sliku koja nastaje te ih spremati radi dokumentacije unutar Serial Monitora ugrađenog u Arduino IDE. Ovakvim mikroupravljačkim sustavima lako je rukovati te ih nadograditi, a uz pomoć strojnog učenja i osamostaliti. ESPduino-32 platforma za testiranje pokazala se kao odličan alat kako za početničke elektroničke projekte, tako i za napredne mikroupravljačke sustave. Prednost nad ostalim razvojnim platformama je velika količina dostupne memorije bez koje ovaj rad ne bi bio moguć – kroz rad otkriveno je da Arduino UNO nema dostatnu memoriju za izvođenje zadatka.

Moguća unaprjeđenja ovog mikroupravljačkog sučelja su spajanje senzora na mrežu te, ako mreža postoji, automatski pozvati u pomoć u slučaju otkrivanja požara. Spajanje mlaznice protupožarnog aparata bilo bi privremeno rješenje problema budući da mala rezolucija samog senzora neće biti dovoljna za precizne akcije gašenja.

LITERATURA

[1] Shedboy71, ESP32learning, A LOOK AT THE ESPDUINO-32 BORD, 12th November 2017, dostupno na [http://www.esp32learning.com/hardware/a-look-at-the-espduino-32-board.php] Pristupljeno dana 28.8.2023.

[2] Mauser Electronics, MLX90641ESF-BCB-000-SP službena dokumentacija, dostupno na: https://www.mouser.co.uk/ProductDetail/Melexis/MLX90641ESF-BCB-000-SP?qs=l7cgNqFNU1j9Pjwrdu1MIg%3D%3D Pristupljeno dana 1.6.2023.

[3] electronics-lab, MLX90641 – FAR INFRARED THERMAL SENSOR ARRAY WITH 16X12PX RESOLUTION, dostupno na: https://www.electronics-lab.com/mlx90641-far-infrared-thermal-sensor-array-16x12px-resolution/ Pristupljeno dana 1.6.2023.

[4] Arduino Docs, Arduino službena web-stranica, dostupno na: https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics Pristupljeno dana 23.8.2023.

[5] Scott Campbell , Circuit Basics, HOW TO INSTALL AND CONFIGURE THE ARDUINO IDE, dostupno na [https://www.circuitbasics.com/wp-content/uploads/2020/05/Arduino-IDE-1-1024x878.png] Pristupljeno dana 28.8.2023.

[6] Visual Studio Code, 8.3.2023. dostupno na: URL [https://code.visualstudio.com/docs/editor/whyvscode] Pristupljeno dana 28.8.2023.

[7] Barry, A Total Solution, Inc., FIRE PROTECTION: THE FOUR TYPES OF FIRE DETECTORS, 21.12.2017. dostupno na: URL [https://www.atotalsolution.com/blog/fire-protection-the-four-types-of-fire-detectors/] pristupljeno dana 31.8.2023.

[8] Herschel, Frederick William. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. dostupno na: https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=25231 Pristupljeno dana 25.8.2023.

[9] infracrveno zračenje. Hrvatska enciklopedija, mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2021. dostupno na: https://enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=27417 Pristupljeno dana 25.8.2023.

[10] Wikipedia, Infrared, dostupno na: URL [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/cf/Ir_girl.png] Pristupljeno dana 31.8.2023.

[11] EESemi, dostupno na: URL [https://www.eesemi.com/to39.htm] Pristupljeno dana 25.8.2023.

[12]] Scott Campbell , Circuit Basics, BASICS OF THE I2C COMMUNICATION PROTOCOL, dostupno na: URL [https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/] pristupljeno dana 31.8.2023.

[13] Robot Electronics, dostupno na: URL [https://www.robot-electronics.co.uk/images/i2ca.GIF] pristupljeno dana 31.8.2023.

[14] Goodness Woke, Redgate Hub, The difference between libraries and frameworks, 24.3.2023. dostupno na: URL [https://www.red-gate.com/simple-talk/development/other-development/the-difference-between-libraries-and-frameworks/#:~:text=A%20library%20is%20a%20collection,be%20called%20upon%20as%20needed.] Pristupljeno dana 26.8.2023

[15] Mauser Electronics, MLX90640 službena dokumentacija, dostupno na: https://hr.mouser.com/c/ds/?marcom=145139989 Pristupljeno dana 28.8.2023.

[16] Nikko Phongchit, Setra, What is Baud Rate & Why is it important?, 4.1.2016. dostupno na: URL [https://www.setra.com/blog/what-is-baud-rate-and-what-cable-length-is-required-1] Pristupljeno dana 26.8.2023

[17] John V. Forrester,Andrew D. Dick,Paul G. McMenamin,Fiona Roberts,Eric Pearlman, The Eye, Chapter 5 Physiology of vision and the visual system, Elsevier, 2016

[18]https://drive.google.com/file/d/1F7ZPYqR_jst2oBAkMNuwqWG_Uy85IsBh/view?usp=drive_link

SAŽETAK

Tema ovog rada bila je upoznati se s tehnikama te skupiti alate, dizajnirati i programirati mikroupravljački sustav za otkrivanje požara. Potrebno je pomoću infracrvenog zračenja zapisati temperaturu okoline te u slučaju pojavljivanje visokih vrijednosti temperature obavijestiti korisnika. Za bilježenje temperatura korišten je MLX90641, infracrveni senzor topline a 16x12 matričnim prikazom. Sa 192 infracrvena senzora (piksela) u sebi može zabilježiti temperaturu od -40°C do 300°C čineći ga pogodnim za prikaz toplinskih snimaka. Pomoću Arduino IDE sučelja korisnik komunicira sa senzorom prikupljajući s njega podatke, a može svoj kod prepustiti zajednici programera u obliku gotovih biblioteka. Komunikacija se odvija preko I2C protokola, vrlo jednostavnog i materijalno nezahtjevnog načina. Koriste se dvije žice za napajanje te dvije za samu komunikaciju. Dostupne su velike brzine prijenosa što u prijevodu znači rad senzora u stvarnom vremenu.

Ključne riječi: ESPduino-32, MLX90641, Melexis, otkrivanje plamena, I2C, mikroupravljački sustav

ABSTRACT

The topic of this work was to learn about the techniques and collect tools, design and program a microcontroller system for fire detection. It is necessary to record the ambient temperature using infrared radiation and inform the user if high temperature values appear. MLX90641, an infrared heat sensor with a 16x12 matrix display, was used to record said temperatures. With 192 infrared sensors (pixels), it can record temperatures from -40°C to 300°C, making it suitable for displaying thermal infrared images. Using the Arduino IDE interface, the user communicates with the sensor, collecting data from it, and can leave his code to the community in the form of ready-made libraries. Communication takes place via the I2C protocol, a very simple and materially undemanding method. Two wires are used for power and two for communication. High transfer rates are available, which translates into real-time sensor operation.

Keywords: ESPduino-32, MLX90641, Melexis, flame detection, I2C, microcontroller

ŽIVOTOPIS

Matko Grgić rođen je 17.10.2001. u Osijeku. Pohađao je Osnovnu školu Jagode Truhelke u Osijeku i završio ju 2016. godine. Te godine upisao je III. gimnaziju Osijek po prirodoslovno-matematičkom programu. Za vrijeme pohađanja srednje škole nastupio je na brojnim školskim i županijskim natjecanjima iz područja Informatike. Nakon ispita državne mature, 2020. godine, upisuje Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku (FERIT) gdje odabire preddiplomski smjer računarstva i blok računalnog inženjerstva. Od 2022. godine član je IEEE inženjerske organizacije, a od 2023. je i član studentskog zbora istog fakulteta. Uz fakultetske obaveze, član je i odbojkaškog kluba MOK Marsonia iz Slavonskog Broda za koji profesionalno igra hrvatsku Superligu.

PRILOZI

Kompletan programski kod mikroupravljačkog sustava za otkrivanje požara u Arduino IDE sučelju

```
#include <Adafruit_MLX90641.h>

Adafruit_MLX90641 mlx;
float frame[12*16]; // buffer for full frame of temperatures

// uncomment *one* of the below
//#define PRINT_TEMPERATURES
#define PRINT_ASCIIART
const int pinToControl = 26;
int count = 0;

void setup() {
  pinMode(pinToControl, OUTPUT);
  Serial.begin(115200);
  delay(100);

  Serial.println("MLX90641 Simple Test");
  if (! mlx.begin(MLX90641_I2CADDR_DEFAULT, &Wire)) {
    Serial.println("MLX90641 not found!");
    while (1) delay(10);
  }
  Serial.println("Found Adafruit MLX90641");

  Serial.print("Serial number: ");
  Serial.print(mlx.serialNumber[0], HEX);
  Serial.print(mlx.serialNumber[1], HEX);
  Serial.println(mlx.serialNumber[2], HEX);

  mlx.setMode(MLX90641_INTERLEAVED);
  //mlx.setMode(MLX90641_CHESS);
  Serial.print("Current mode: Interleave ");
  if (mlx.getMode() == MLX90641_CHESS) {
    Serial.println("Chess");
  } else {
    Serial.println("Interleave");

  }

  mlx.setResolution(MLX90641_ADC_18BIT);
  Serial.print("Current resolution: ");
  mlx90641_resolution_t res = mlx.getResolution();
  switch (res) {
    case MLX90641_ADC_16BIT: Serial.println("16 bit"); break;
    case MLX90641_ADC_17BIT: Serial.println("17 bit"); break;
```

```
    case MLX90641_ADC_18BIT: Serial.println("18 bit"); break;
    case MLX90641_ADC_19BIT: Serial.println("19 bit"); break;
  }

  mlx.setRefreshRate(MLX90641_64_HZ);
  Serial.print("Current frame rate: ");
  mlx90641_refreshrate_t rate = mlx.getRefreshRate();
  switch (rate) {
    case MLX90641_0_5_HZ: Serial.println("0.5 Hz"); break;
    case MLX90641_1_HZ: Serial.println("1 Hz"); break;
    case MLX90641_2_HZ: Serial.println("2 Hz"); break;
    case MLX90641_4_HZ: Serial.println("4 Hz"); break;
    case MLX90641_8_HZ: Serial.println("8 Hz"); break;
    case MLX90641_16_HZ: Serial.println("16 Hz"); break;
    case MLX90641_32_HZ: Serial.println("32 Hz"); break;
    case MLX90641_64_HZ: Serial.println("64 Hz"); break;
  }
}

void loop() {
  count = 0;
  delay(32);
  if (mlx.getFrame(frame) != 0) {
    Serial.println("Failed");
    return;
  }
  Serial.println();
  Serial.println();

  for (uint8_t h=0; h<12; h++) {
    for (uint8_t w=0; w<16; w++) {
      float t = frame[h*16 + w];
  #ifdef PRINT_TEMPERATURES
      Serial.print(t, 1);
      Serial.print(", ");
  #endif
  #ifdef PRINT_ASCIIART
      char c = '&';
      if (t < 15) c = ' ';
      else if (t < 20) c = '.';
      else if (t < 25) c = '-';
      else if (t < 30) c = '*';
      else if (t < 35) c = '+';
      else if (t < 40) c = 'x';
      else if (t < 45) c = '%';
      else if (t < 50) c = '#';
      else if (t < 55) c = 'X';
      else c = 'O';
      Serial.print(c);
```

```
      if(t > 90) count = count + 1;

  #endif
    }

    if(count>5){
    digitalWrite(pinToControl, HIGH);
    delay(50);
    digitalWrite(pinToControl, LOW);
    }
    else
    digitalWrite(pinToControl, LOW);

    Serial.println();
  }
}
```