

Kontrola pristupa korištenjem radiofrekvencijske identifikacije i Arduino platforme

Aldžić, Veldin

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies, Rijeka / Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:024963>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-19**



Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet
University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies

Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Maritime Studies - FMSRI Repository](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

VELDIN ALDŽIĆ

KONTROLA PRISTUPA KORIŠTENJEM RADIOFREKVENCIJSKE
IDENTIFIKACIJE I ARDUINO PLATFORME

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

**KONTROLA PRISTUPA KORIŠTENJEM RADIOFREKVENCIJSKE
IDENTIFIKACIJE I ARDUINO PLATFORME**
**ACCESS CONTROL USING RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION
AND THE ARDUINO PLATFORM**

ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS

Kolegij: Laboratorij i vještine

Mentor: izv. prof. dr. sc. Sanjin Valčić

Student: Veldin Aldžić

Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 011208610

Rijeka, srpanj 2024.

Student: Veldin Aldžić

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112086100

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom KONTROLA PRISTUPA KORIŠTENJEM RADIOFREKVENCIJSKE IDENTIFIKACIJE I ARDUINO PLATFORME izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Sanjina Valčića.

U radu sam primijenio metodologiju izrade stručnog/znanstvenog rada i koristio literaturu koja je navedena na kraju završnog rada. Tuđe spoznaje, stavove, zaključke, teorije i zakonitosti koje sam izravno ili parafrazirajući naveo u završnom radu na uobičajen, standardan način citirao sam i povezao s fusnotama i korištenim bibliografskim jedinicama, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Rad je pisan u duhu hrvatskoga jezika.

Student

Veldin Aldžić

Student: Veldin Aldžić

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112086100

IZJAVA STUDENTA – AUTORA O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG
RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu Sveučilišta u Rijeci da ga trajno javno objavi i besplatno učini dostupnim javnosti u cjelovitom tekstu u mrežnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta.

U svrhu podržavanja otvorenog pristupa završnim radovima trajno objavljenim u javno dostupnom digitalnom repozitoriju Pomorskog fakulteta, ovom izjavom dajem neisključivo imovinsko pravo iskorištavanja bez sadržajnog, vremenskog i prostornog ograničenja mog završnog rada kao autorskog djela pod uvjetima *Creative Commons* licencije CC BY Imenovanje, prema opisu dostupnom na <http://creativecommons.org/licenses/>

Student – autor



SAŽETAK

Rad se bavi primjenom tehnologije radiofrekvencijske identifikacije (engl. Radio Frequency Identification - RFID) u sustavima za kontrolu pristupa koristeći Arduino Uno mikroupravljač. RFID omogućava beskontaktno prepoznavanje i identifikaciju objekata ili osoba putem radio valova. U ovom radu, detaljno je prikazan proces izgradnje sustava za kontrolu pristupa korištenjem Arduino Uno mikroupravljača, RFID čitača i RFID kartica ili privjesaka. Sustav funkcionira tako da RFID čitač očitava podatke s RFID kartice i prenosi ih na Arduino Uno, koji zatim uspoređuje očitane podatke s unaprijed definiranim popisom autoriziranih kartica. Ako je kartica autorizirana, Arduino aktivira servomotor koji omogućava pristup određenom području. Implementacija uključuje hardversku konfiguraciju, gdje su povezani RFID čitač i servomotor s Arduino Uno pločicom, te softversku komponentu, koja se sastoji od programskog koda napisanog u Arduino IDE (engl. Integrated Development Environment) okruženju. Kroz kod su definirani identifikatori autoriziranih RFID kartica, kao i funkcije za očitavanje podataka, usporedbu i upravljanje servomotorom.

Ključne riječi: Arduinio, Bežična komunikacija, Kontrola pristupa, RFID, Sigurnosni sustavi.

SUMMARY

The research explores the application of RFID (Radio Frequency Identification) technology in access control systems using the Arduino Uno microcontroller. RFID enables contactless recognition and identification of objects or persons via radio waves. In this paper, the process of building an access control system using the Arduino Uno microcontroller, an RFID reader, and RFID cards or key fobs is detailed. The system works by having the RFID reader read data from the RFID card and transmit it to the Arduino Uno, which then compares the read data with a predefined list of authorized cards. If the card is authorized, the Arduino activates a servo motor that allows access to a certain area. The implementation includes a hardware configuration where the RFID reader and servo motor are connected to the Arduino Uno board, and a software component, which consists of the code written in the Arduino IDE environment. The code defines the identifiers of authorized RFID cards, as well as functions for reading data, comparison, and servo motor control.

Key words: Acces control, Arduino, RFID, Security system, Wireless communication

SADRŽAJ

SAŽETAK.....	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1 UVOD	1
2 ARDUINO.....	2
2.1 ARUDINO UNO MIKROUPRAVLJAČ.....	2
2.1.1 ATmega328P.....	3
2.1.2 Keramički rezonator	5
2.1.3 Ulazno – izlazni izvodi.....	5
2.1.4 Digitalne ulazno – izlazne jedinice.....	5
2.1.5 Analogne jedinice.....	6
2.1.6 Energetske izlazne jedinice	6
2.1.7 Ostali dijelovi Arduino mikroupravljača.....	7
2.2 ARDUINO IDE.....	8
3 RFID TEHNOLOGIJA	10
3.1 PRINCIP RADA RFID SUSTAVA.....	10
3.1.1 Vrste RFID sustava.....	10
3.2 RFID oznake.....	12
3.2.1 Fizička struktura	12
3.2.2 Prijenos podataka.....	12
3.2.3 Vrste oznake	12
3.3 RFID čitač	13
3.3.1 Emisija radio valova.....	13
3.3.2 Dizajn antene	13
3.3.3 Podatkovna komunikacija	14
3.3.4 Komunikacijski protokol.....	14
3.3.5 Pozadinski sustav.....	14
3.3.6 Obrada podataka.....	14
3.3.7 Integracija.....	14
3.3.8 Pohranjivanje podataka	14
3.4 Primjena RFID sustava.....	15

3.4.1	Prednosti korištenja RFID tehnologije	16
3.4.2	Nedostaci korištenja RFID tehnologije	17
4	IZRADA SUSTAVA ZA KONTROLU PRISTUPA	18
4.1	Inicijalno razmatranje – kapacitivni senzor.....	18
4.1.1	Kapacitivni senzor.....	18
4.1.2	Arduino servomotor.....	19
4.1.3	Ostale komponente	20
4.2	Izrada projekta uz pomoć kapacitivnog senzora.....	23
4.2.1	Princip rada projekta.....	23
4.2.2	Spojna shema i program izvršavanja.....	24
4.2.3	Problematika kapacitivnog senzora.....	27
4.2.4	Inicijalno razmatranje – RFID.....	27
4.3	Arduino RFID tehnologija.....	28
4.3.1	LCD I2C zaslon.....	29
4.3.2	Princip rada i spojna shema	30
4.3.3	Programski kod RFID projekta	31
5	ZAKLJUČAK	42
	LITERATURA.....	43
	POPIS SLIKA	44
	POPIS TABLICA.....	45

1 UVOD

U ovom radu će se prikazati izrada sustava kontrole pristupa koji će se moći otvarati uz pomoć RFID tehnologije i Arduino UNO kontrolera. Cilj rada je bolje upoznavanje sa Arduino platformom te RFID tehnologijama. Tijekom pisanja rada objasniti će se pojam RFID te Arduino kao i njihove primjene u svakodnevnom korištenju.

U današnjem digitalno povezanom svijetu, sigurnost i kontrola pristupa postaju sve važniji aspekti kako u privatnom tako i u poslovnom okruženju. Tehnologija prepoznavanja radiofrekvencijske identifikacije (RFID) postala je ključna komponenta modernih sustava za kontrolu pristupa zbog svoje učinkovitosti, pouzdanosti i jednostavnosti implementacije. RFID omogućuje beskontaktno prepoznavanje i autorizaciju korisnika, što donosi niz prednosti u odnosu na tradicionalne metode kao što su ključevi i mehaničke brave. Arduino, kao jedna od najpopularnijih platformi za razvoj i prototipiranje u području elektronike, pruža fleksibilno i pristupačno rješenje za izgradnju sustava temeljenih na RFID tehnologiji. Kombinacija Arduina i RFID modula omogućuje stvaranje prilagođenih sustava za kontrolu pristupa koji mogu zadovoljiti specifične potrebe korisnika, od jednostavnih kućnih sustava do složenih komercijalnih aplikacija.

Ovaj završni rad istražuje primjenu Arduino platforme u implementaciji RFID tehnologije za kontrolu pristupa. Fokus je na razvoju sustava koji omogućava sigurnu identifikaciju korisnika i kontrolu ulaska u zaštićene prostore. Rad obuhvaća teorijske osnove RFID tehnologije, opis Arduino platforme, detaljan prikaz razvoja sustava te evaluaciju njegove funkcionalnosti i sigurnosti. Kroz ovaj rad nastoji se demonstrirati kako se suvremene tehnologije mogu iskoristiti za poboljšanje sigurnosti i upravljanje pristupom na učinkovit i ekonomičan način.

Prvi dio rada sastojat će se od teorijskog dijela u kojem će se pružiti detaljniji opis Arduino UNO mikroupravljača kao i RFID tehnologije. U drugom poglavlju detaljno će se opisati Arduino platforma, a u trećem RFID tehnologija. U četvrtom i glavnom poglavlju opisat će su pojedine komponente potrebne za izradu sustava za kontrolu pristupa te će se sustavno analizirati njihove tehničke specifikacije.

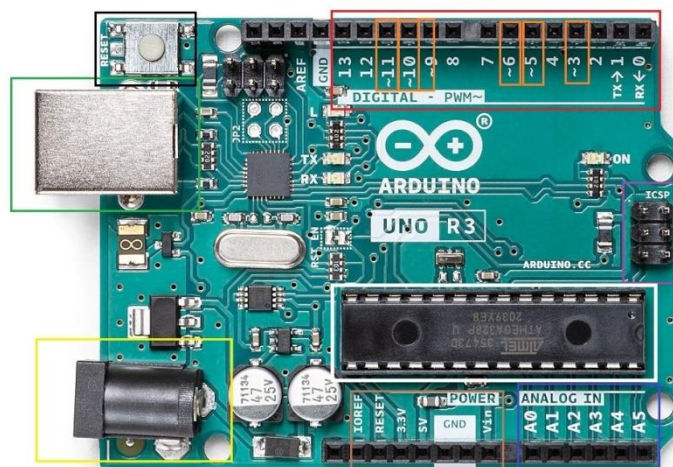
2 ARDUINO

Arduino platforme predstavljaju jednostavna, ali moćna rješenja za razvoj elektroničkih projekata, omogućujući korisnicima da brzo i efikasno kreiraju prototipe zahvaljujući jednostavnom programskom jeziku i velikoj zajednici podrške. Korištenjem raznih Arduino ploča i dodataka, moguće je realizirati širok spektar aplikacija, od jednostavnih LED projekata do složenih IoT (engl. Internet of Things) sistema.

2.1 ARUDINO UNO MIKROUPRAVLJAČ

Arduino UNO je mikroupravljač koji je baziran na ATmega328P integriranom krugu. Arduino UNO ima 14 digitalnih ulazno-izlaznih pinova od koji se 6 može koristiti za širinsko – impulsnu modulaciju (PWM). Osim 14 digitalnih pinova, Arduino Uno ima:

- 6 analognih pinova,
- 16MHz keramički rezonator,
- USB ulaz,
- ulaz za vanjsko napajanje,
- ISCP sučelje (engl. In-Circuit Serial Programming),
- tipkalo za ponovno pokretanje,
- energetske izlaze u kojima Arduino UNO upravljačka pločica služi kao izvor napajanja.



Slika 1. Arudino UNO

Izvor: Arduino Uno Rev3 – website (<https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>) 30.06.2024.

Na slici 1. je crnim pravokutnikom označeno tipkalo za ponovno pokretanje, zelenim pravokutnikom je označen USB ulaz, žuti pravokutnik pokazuje jedinicu za vanjsko napajanje. Digitalne ulazno – izlazne jedinice su označene crvenim pravokutnikom, a jedinice koje se mogu koristiti za pulsno – širinsku modulaciju su označene narančastim pravokutnikom. ICSP sučelje je skup pinova koji omogućavaju direktno programiranje mikroupravljača na ploči, a označeno je ljubičastim pravokutnikom. Analogne jedinice su označene plavim pravokutnikom, dok su energetske izlazi definirani granicama smeđeg pravokutnika. Bijelim pravokutnikom markiran je ATmega328P mikroupravljač.

2.1.1 ATmega328P

ATmega328P je CMOS 8-bitni mikroupravljač male snage baziran na RISC (engl. Reduced Instruction Set Computer) arhitekturi. Karakteristike ATmega328P su¹:

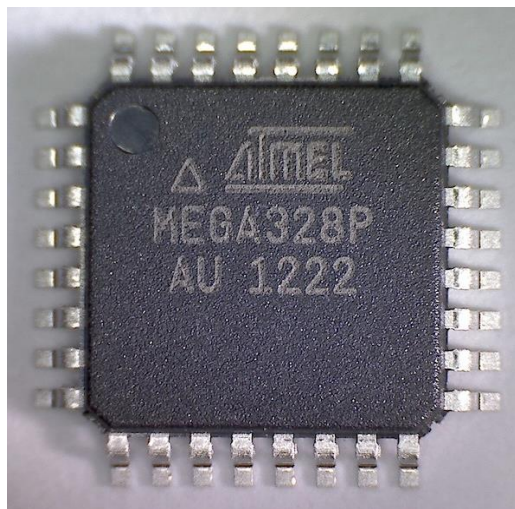
- 32KB flash memorije
- 2Kb SRAM (engl. Static Random Access Memory)
- 1Kb EEPROM (engl. Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory)
- DIP (engl. Dual In-line package) i „Surface Mount“ izvedba
- 23 ulazno-izlazne jedinice
- 32 registra
- 3 brojača
- I2C (engl. Inter-Integrated Circuit) i SPI (engl. Serial Peripheral Interface) sučelje
- 6 (DIP) ili 8 (Surface Mount) 10-bitnih analogno – digitalnih pretvarača.

¹ ATMEGA328P-MU, https://www.ariat-tech.com/parts/micrel-microchip-technology/ATMEGA328P-MU?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw4_K0BhBsEiwAfVVZ_wLgfWzq4AiGkmF44jf4HxRHbfn3ek2G4n-MS-wXfRaP7DHI6eD22hoCEsEQAvD_BwE (21.07.2024.)

DIP izvedba ATmega328P mikroupravljača prikazana je na slici 2, dok je „Surface Mout“ izvedba ATmega328P mikroupravljača prikazana na slici 3.



Slika 2. DIP izvedba ATmega328P mikroupravljača
Izvor: ATmega328P 8-bit Microcontroller (DIP-28) – website
(<https://etusker.com/product/atmega328p-pdip-with-uno-bootloader>) 30.06.2024.



Slika 3. Surface Mout izvedba ATmega328P mikroupravljač
Izvor: Atmel ATmega328P-AU (Surface-Mount)- website
(<https://www.arduitronics.com/product/381/atmel-atmega328p-au-surface-mount>)
25.06.2024.

2.1.2 Keramički rezonator

Keramički rezonator je komponenta za kontrolu frekvencije, a sastoji se od komada piezoelektričnog keramičkog materijala i dvije metalne elektrode koje se nalaze oko piezoelektričnog materijala. Piezoelektrični materijal i elektrode čine oscilatorni krug. Kad se preko elektroda dovede izmjenični napon, piezoelektrični materijal mijenja svoj oblik na istu frekvenciju, stvarajući rezonanciju.

Keramički rezonator se u Arduino UNO platformi koristi kao generator taktnog signala za ATmega328P mikroupravljač. Na slici 4 prikazan je rezonator koji rezonira na frekvenciji od 16 MHz s nazivnom točnošću od $\pm 0,5\%$.



Slika 4. Keramički rezonator od 16MHz

Izvor: How The 16Mhz Crystal Signal Works, <https://www.chinachipsun.com/how-the-16mhz-crystal-signal-works/> 24.06.2024.

2.1.3 Ulazno – izlazni izvodi

Ulazno – izlazne jedinice su dijelovi hardverskog sklopa Arduina preko kojih Arduino mikroupravljač komunicira s ostalim, vanjskim komponentama sustava.

2.1.4 Digitalne ulazno – izlazne jedinice

Digitalne ulazno – izlazne jedinice su jedinice koje se mogu koristiti kao ulaz ili izlaz. Uz digitalne jedinice najčešće se koriste tri funkcije:

- `pinMode()`
- `digitalRead()`
- `digitalWrite()`

PinMode (broj pina, OUTPUT/INPUT) funkcija deklarira pinove kao ulazne ili izlazne. Funkcije digitalWrite() i digitalWrite() služe za generiranje, odnosno očitavanje digitalnog signala.

Ulazno – izlazne jedinice rade na nazivnom naponu od 5V, dok je preporučena radna struja koju I/O jedincu mogu dati ili primiti 20mA. Svaka I/O jedinica ima unutarnji otpornik od 20 do 50 kOhma kao zaštitu od prekomjerne struje. Maksimalna struja, koja se ne smije prekoračiti, je 40mA inače dolazi do oštećenje mikroupravljača.

Određene I/O jedinice imaju i svoje posebne funkcije. Serijske I/O jedinice označene brojem 0 i 1 imaju pokraj sebe dodate oznake RX i TX koje se koriste za primanje (RX) i prijenos (TX) TTL (engl. Transistor – Transistor Logic) serijskih podataka. I/O jedinice označene brojevima 2 i 3 su jedinice koje se mogu postaviti za pokretanje prekida na niskoj vrijednosti, rastućem ili padajućem rubu ili promijeniti vrijednost. Pini 10,11,12,13 podržavaju SPI komunikaciju uz pomoć SPI (engl. Serial Peripheral Interface) biblioteke (SPI Library). Pored pina označenog brojem 13 postoji integrirana LED dioda koja je uključena kada je pin 13 na visokoj naponskoj vrijednosti (HIGH), a kad je pin 13 na niskoj naponskoj razini (LOW) LED dioda je isključena. Pini označeni sa simbolom tilda „~“ imaju mogućnost širinsko – impulsne modulacije. Da bi se širinsko – impulsna modulacija mogla koristiti potrebno je koristiti funkciju analogWrite(pin, vrijednost) gdje je pin broj pina, a vrijednost je vrijednost između 0 (0% radni ciklus, engl. duty cycle) i 255 (100% radni ciklus).

2.1.5 Analogne jedinice

Osim digitalnih ulazno – izlaznih jedinica, Arduino ima i 6 analognih ulaznih jedinica označenih od A0 do A5. Svaka od analognih ulaznih jedinica daje 10 bita rezolucije, odnosno 1024 različite vrijednosti (od 0 do 1023) gdje se vrijednosti mjere od uzemljenja do 5V. Iako se raspon gornje vrijednosti može podesiti pomoću pina AREF i funkcije analogReference().

2.1.6 Energetske izlazne jedinice

Energetske izlazne jedinice su jedinice Arduino mikroupravljača koje služe kao izvor električne energije. Energetski dio se sastoji od ukupno 4 pina od kojih dva služe kao uzemljenje (GND), dok su druga dva na pina na naponskoj razini od 3.3V i 5V (gledano s obzira na GND)

2.1.7 Ostali dijelovi Arduino mikroupravljača

Osim prethodno navedenih dijelova, Arduino mikroupravljačka pločica sadrži još:

1. Tipkalo za ponovno pokretanje (engl. reset button)
2. USB ulaznu jedinicu za komunikaciju s računalom
3. Ulaz za vanjsko napajanje

USB ulazna jedinica - Arduino UNO mikroupravljačka pločica sadrži USB ulaz preko kojeg ostvaruje komunikaciju sa računalom. Na slici 5 je prikazan USB kabel klase A/B standarda USB 2.0, gdje se A ulaz priključuje na računalu, dok se B ulaz priključuje na Arduino upravljačku pločicu.



Slika 5. USB ulazna jedinica Arduino

Izvor: USB 2.0 Cable Type A/B - website (<https://store.arduino.cc/products/usb-2-0-cable-type-a-b>) 20.06.2024.

Ulazna jedinica za vanjsko napajanje - Ulazna jedinica, prikazana na slici 6, koja se koristi za vanjsko napajanje Arduino mikroupravljača je standardni 2,1 mm središnji pozitivni utikač.



Slika 6. Jedinica za vanjsko napajanje

Izvor: Solarbotics- Barrel Power Jack socket, 2.1mm Connection, (<https://www.solarbotics.com/product/17440>) 30.06.2024.

Arduino UNO upravljačka pločica radi na vanjskom napajanju od 6 do 20VDC, poput AC/DC pretvarača ili baterija. Doduše, napajanje Arduino UNO mikroupravljača sa izvorom manjim od 7V može dovesti do toga da energetski izlaz koji daje inače daje 5V izlazno, stvori manji napon i Arduino UNO pločica postane nestabilna. Također, napajanje s izvorom većim od 12V može oštetiti regulator napona i tako opet oštetiti Arduino. Zbog toga je preporučeni raspon napajanja od 7 do 12VDC.

Tipkalo za ponovno pokretanje - Tipkalo za ponovno pokretanje nalazi se na vrhu Arduino UNO upravljačke pločice. Nakon pritiska Arduino će pričekati da se učita novi program (engl. sketch) iz memorije mikroupravljača, a zatim će početi izvršavati sve naredbe iz programa. Pritiskom na tipkalo čisti se RAM memorija, tako da se vrijednosti koju su dodijeljene varijablama ne čuvaju.

2.2 ARDUINO IDE

Arduino IDE je softverska podrška za Arduino upravljačke pločice. Arduino IDE sadrži:

- uređivač teksta za pisanje koda,
- područje za poruke,
- tekstualnu konzolu,
- alatnu traku s gumbima za uobičajene funkcije,
- niz izbornika².

Arduino IDE je baziran na C++ programskom jeziku. Programi napisani u Arduino IDE softveru nazivaju se skice (engl. sketch). Datoteke napisane u tom uređivaču tekst spremaju se s ekstenzijom datoteke .ino. Tipičan Arduino kod sastoji se od dvije glavne funkcije – void setup() i void loop(). „void setup()“ je funkcija koja se izvršava jednom kada se Arduino pokrene, dok je „void loop()“ funkcija koja se stalno ponavlja dok je Arduino uključen. Arduino IDE ima ugrađen serijski monitor koji omogućava komunikaciju s Arduinoom preko serijskog porta. Također, jedan bitan faktor Arduino IDE softvera su Arduino biblioteke. Arduino biblioteke su unaprijed napisani kodovi koji omogućavaju lakše korištenje određenih funkcionalnosti i hardverskih komponenti bez detaljnog razumijevanja operacija.

² Listeš, L., Robotski crtač za ispis fotografija u vertikalnoj ravnini, Diplomski rad, UNIZG, FSB, Zagreb, 2022.

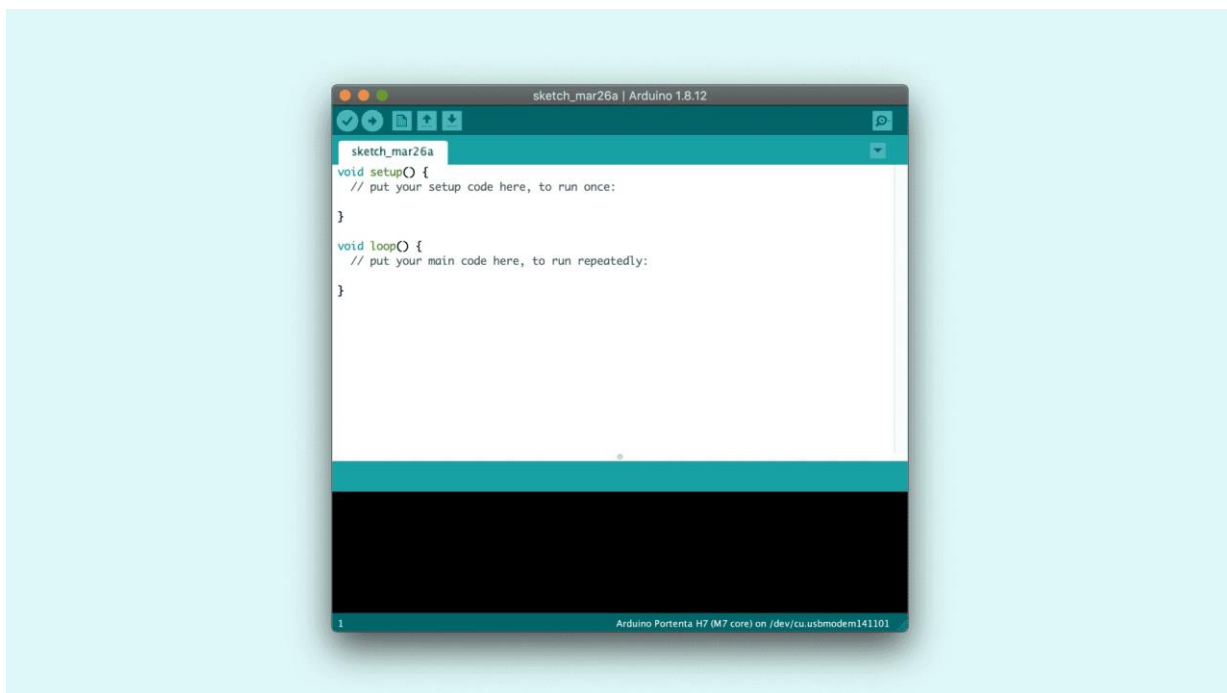
Biblioteke olakšavaju rad sa senzorima, motorima, zaslonima, komunikacijskim protokolima i slično. Za uključivanje biblioteke u kod potrebno ih je prvo instalirati (neke od biblioteka su već integrirane u Arduino IDE dok se neke moraju instalirati).

Nakon toga potrebno je željenu biblioteku uključiti korištenjem naredbe „#include<NazivBiblioteke.h>“.

Primjeri popularnih biblioteka su:

- Servo – za kontrolu servomotora
- SPI – za SPI komunikaciju
- Wire – za I2C komunikaciju
- LiquidCrystal – za rad s LCD zaslonima

Na slici 7. je prikazano Arduino IDE sučelje. U ovom uređivaču teksta pisat će se programski kod potreban za pravilan rad sustava.



Slika 7. Prikaz Arduino IDE sučelja

Izvor: Overview of the Arduino IDE 1 (<https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/Environment>) 26.06.2024

3 RFID TEHNOLOGIJA

RFID je oblik bežične komunikacije koji uključuje korištenje elektromagnetskog ili elektrostatičkog povezivanja u radiofrekvencijskom dijelu elektromagnetskog spektra za jedinstvenu identifikaciju predmeta poput osobe, životinje i slično³.

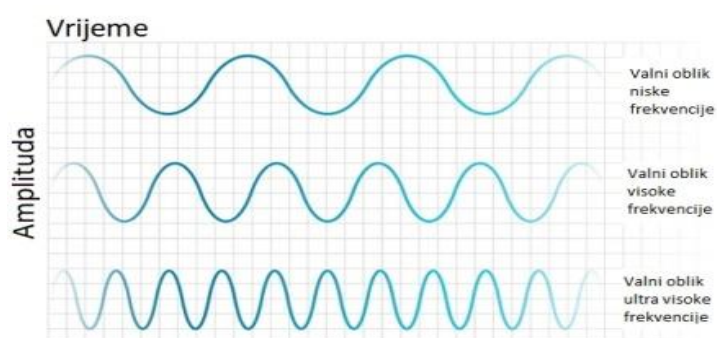
3.1 PRINCIP RADA RFID SUSTAVA

RFID sustav sastoji se od tri elementa: skenirajuće antene, odašiljača i prijemnika te transpondera. Kada se antena za skeniranje i odašiljač-prijemnik kombiniraju, nazivaju se RFID čitač. Postoje dvije vrste RFID čitača – stacionarni čitač i prijenosni čitač. RFID čitač— je mrežni uređaj koji može biti mobilan ili stalno povezan. Za prijenos signala koriste se radio valovi koji aktiviraju oznaku.

Nakon aktivacije, oznaka šalje signal natrag anteni, gdje se pretvara u informacije. Transponder se nalazi unutar RFID oznake (eng. tag). Domet očitavanja RFID oznaka varira ovisno o faktorima poput vrste oznake, tipa skenera, RFID frekvencije te smetnji u okolnom prostoru ili od drugih RFID oznaka i skenera. Oznake s većim izvorom energije imaju i veći domet očitavanja.

3.1.1 Vrste RFID sustava

Postoje tri vrste RFID sustava: sustav s niskom frekvencijom (LF), sustav s visokom frekvencijom (HF) i sustav s ultravisokom frekvencijom (UHF). Također postoji i mikrovalni RFID, a frekvencije se znatno razlikuju ovisno o državi i regiji. Na slici 8. prikazani su valni oblici različitih frekvencija.



Slika 8. Valni oblici različitih frekvencija

Izvor: Types of RFID Systems, (<https://www.impinj.com/products/technology/how-can-rfid-systems-be-categorized>) 26.06.2024.

³ Kačavenda, P., Analiza sustava prikupljanja otpada u gradu Zagrebu, Diplomski rad, UNIZG, FPZ, Zagreb, 2023.

3.1.1.1 RFID sustav niske frekvencije

U niskofrekventnom RFID sustavu, frekvencijski raspon se kreće od 30kHz do 500kHz, iako je tipična frekvencija 125kHz. Niskofrekventni RFID sustav ima domete prijenosa od nekih 10 centimetara te manju brzinu očitavanja od viših frekvencija, ali nije jako osjetljiv na smetanje radiovalova. Niskofrekventni RFID sustav ima primjenu najčešće u: sustavima za kontrolu pristupa i sustavima za praćenje stoke.

3.1.1.2 RFID sustav visoke frekvencije

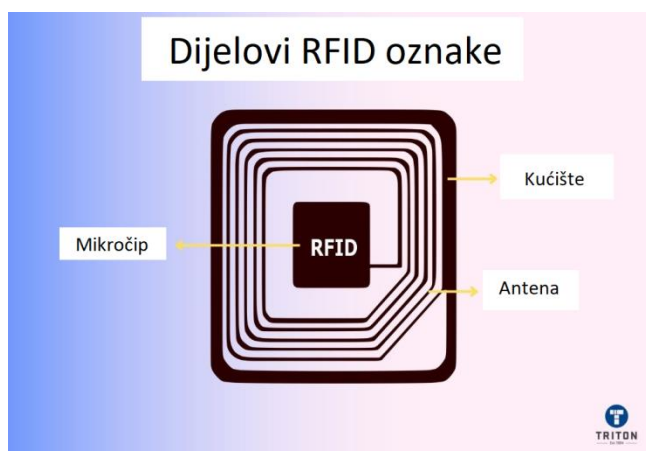
Visokofrekventni RFID sustav ima raspon frekvencije od 3MHz do 30MHz. Tipična frekvencija koja se koristi na visokofrekventnim je 13,56MHz. Domet ovog sustav je između deset centimetara i jednog metar. Umjereno su osjetljivi na smetnje, a svoju primjenu nalaze u sustavima za izdavanje karata, plaćanje i prijenos podataka.

3.1.1.3 RFID sustav ultravisoke frekvencije

RFID sustav ultravisoke frekvencije koristi frekvencijski raspon od 300MHz do 960MHz. Najčešće korištena frekvencija iznosi 433MHz, a domet ovog sustava je do nekih dvanaest metara. Od tri navedena sustava, UHF RFID ima najveću brzinu prijenosa, ali je također najosjetljiviji na smetnje.

3.2 RFID oznake

RFID oznaka je maleni uređaji koji pohranjuju podatke. Dijelovi RFID oznake prikazani na slici 9.



Slika 9. Dijelovi RFID oznake

Izvor: What are RFID tags?, 11.08.2023., (<https://tritonstore.com.au/what-are-rfid-tags/>) 26.06.2024.

3.2.1 Fizička struktura

RFID oznake sastoje se od integriranog kruga (IC) ili mikročipa i antene. IC sadrži trajnu memoriju koja pohranjuje podatke i jedinstveni identifikacijski broj.

3.2.2 Prijenos podataka

Kada se napaja radio valovima RFID čitača, antena oznake prima napajanje i aktivira IC. IC zatim modulira radio valove i raspršuje ih unazad do čitača, odašiljajući pohranjene podatke (engl. UID - Unique Identifier i dodatne informacije).

3.2.3 Vrste oznake

RFID oznake mogu se kategorizirati kao pasivne, aktivne ili polu-pasivne (pasivne na baterije). Pasivne oznake oslanjaju se na energiju čitača za napajanje, dok aktivne oznake imaju vlastiti izvor napajanja (bateriju) za aktivni prijenos signala. Polupasivne oznake koriste energiju čitača za napajanje IC-a, ali imaju bateriju za prijenos signala⁴.

⁴ Waterproof RFID reader in hermetic IP65 housing, (<https://inveo.com.pl/rfid-readers/industrial-readers/rfid-ind-led-en/>) 26.06.2024.

3.3 RFID čitač

RFID čitač je uređaj koji bežično komunicira s oznakama, prikazan na slici 10.



Slika 10. RFID čitač

Izvor: Waterproof RFID reader in hermetic IP65 housing, ([https://inveo.com.pl/rfid-readers/industrial-readers/rfid-ind-led-e n /](https://inveo.com.pl/rfid-readers/industrial-readers/rfid-ind-led-e n/)) 26.06.2024.

3.3.1 Emisija radio valova

RFID čitači emitiraju radio valove u određenom frekvencijskom pojasu. Emitirani valovi služe kao izvori energije i prijenosnici komunikacije.

3.3.2 Dizajn antene

RFID antene mogu se klasificirati u linearno polarizirane, kružno polarizirane i antene bliskog polja. Veličina i oblik antene ovise o korištenom frekvencijskom pojasu i željenom rasponu očitavanja. RFID sustavi viših frekvencija obično imaju manje veličine antena u usporedbi sa sustavima nižih frekvencija⁵. Antene mogu biti dizajnirane kao dipoli, petlje, mikrotrakaste ili prilagođeni oblici, ovisno o zahtjevima primjene.

⁵ Analog Input Pins, 01/25/2022, <https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-input/> (25.06.2024.)

3.3.3 Podatkovna komunikacija

RFID čitači komuniciraju s oznakama putem elektromagnetske veze. Emitiraju kontinuirane ili pulsirajuće radiovalove kako bi napajali obližnje oznake i primali njihove odgovore. Primopredajnik čitača demodulira i dekodira odgovor oznake, izvlačeći poslano podatke.

3.3.4 Komunikacijski protokol

RFID čitači koriste različite komunikacijske protokole, kao što su EPCglobal Gen2 za UHF RFID, ISO/IEC 15693 za HF RFID i ISO/IEC 14443 za aplikacije bliskog polja komunikacije (engl. Near Field Communication - NFC).

3.3.5 Pozadinski sustav

Pozadinski sustav koji upravlja i obrađuje prikupljene informacije.

3.3.6 Obrada podataka

Pozadinski sustav prima podatke snimljene RFID čitačem i obrađuje ih. To uključuje dekodiranje i provjeru valjanosti primljenih podataka, usklađivanje UID - a oznake s relevantnim informacijama u bazi podataka i izvođenje potrebnih radnji na temelju aplikacije.

3.3.7 Integracija

Pozadinski sustav može se integrirati s drugim softverskim sustavima, kao što je upravljanje zalihama, upravljanje opskrbnim lancem ili sustavi kontrole pristupa, kako bi se omogućilo ažuriranje podataka u stvarnom vremenu i omogućili automatizirani procesi.

3.3.8 Pohranjivanje podataka

Pozadinski sustav pohranjuje prikupljene RFID podatke u bazu podataka za buduću referencu, analizu i svrhe izvješćivanja. Ovi se podaci mogu koristiti za upravljanje inventarom, praćenje, analitiku ili druge zahtjeve specifične za aplikaciju.

3.4 Primjena RFID sustava

RFID sustav se prvi put pojavio u četrdesetim godinama prošlog stoljeća, a danas je pronašao svoj primjenu u raznim situacijama i sustavima. RFID sustav se primjenjuje u⁶:

1. Upravljanju zalihama - RFID oznake mogu se pričvrstiti na proizvode ili ambalažu kako bi se pratila njihova lokacija i kretanje kroz opskrbni lanac.

2. Kontroli pristupa - RFID oznake mogu se koristiti kao elektronički ključevi za dopuštanje pristupa sigurnim područjima ili za praćenje kretanja zaposlenika.

3. Praćenju imovine - RFID oznake mogu se koristiti za praćenje vrijedne imovine, kao što su oprema, vozila ili alati, kako bi se spriječila krađa ili gubitak.

4. Praćenju životinja - RFID oznake mogu se koristiti za praćenje životinja za potrebe istraživanja, upravljanja divljim životinjama ili uzgoja.

5. Sustavima plaćanja - RFID oznake mogu se koristiti u sustavima beskontaktnog plaćanja, kao što su kartice za plaćanje prijevoza ili elektronička naplata cestarine.

6. Zdravstvenoj skrbi - RFID oznake mogu se koristiti za praćenje medicinske opreme, praćenje vitalnih znakova pacijenata i osiguravanje pravilne primjene lijekova.

⁶ Arduino Uno Rev3, <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> (25.06.2024.)

Općenito, RFID tehnologija omogućuje automatizirano prikupljanje podataka i može poboljšati učinkovitost, točnost i sigurnost u raznim industrijama i aplikacijama, kao što je prikazano na slici 11. Općenito, korištenje RFID tehnologije može pružiti brojne prednosti za tvrtke i organizacije koje žele poboljšati kontrolu pristupa.



Slika 11. Primjene RFID tehnologije

Izvor: What are RFID tags?, How do RFID tag work?, Chris Kaczor, June 12th, 2024, (<https://www.camcode.com/blog/what-are-rfid-tags/>) 30.06.2024.

3.4.1 Prednosti korištenja RFID tehnologije

Neke od glavnih prednosti korištenja RFID tehnologije u kontroli pristupa:

1. Brza i jednostavna autentifikacija – RFID tehnologija omogućava brzo očitavanje informacija bez potrebe za fizičkim kontaktom.
2. Sigurnost – RFID tehnologiju je teško lažirati te ih je moguće enkriptirati, što povećava sigurnost.
3. Trajnost i otpornost – RFID oznake su izdržljive komponente koje mogu raditi u teškim uvjetima, poput prašine, vlage i ekstremnih temperatura.
4. Automatizacija i praćenje – RFID tehnologija omogućava automatizirano praćenje prisutnosti i aktivnosti.
5. Svestranost – RFID oznake se mogu integrirati u različite formate, poput kartica, privjesaka ili narukvica.

3.4.2 Nedostaci korištenja RFID tehnologije

RFID metoda nije idealna u odnosu na druge metode kontrole pristupa, poput sustava koji traži da korisnik unese osobni autorizacijski broj (engl. PIN – personal identification number), biometrijskog sustava ili NFC kontrole pristupa.

3.4.2.1 Usporedba RFID tehnologije i PIN metode

U usporedbi s PIN metodom, RFID oznake se mogu presresti ili klonirati, dok su PIN kodovi manje podložni takvim napadima. PIN kodovi mogu biti ukradeni i/ili zaboravljeni ali ne emitiraju signal koji se može presresti za razliku od RFID tehnologije.

Troškovi implementacije RFID sustava zahtijevaju veću početnu investiciju za hardver i instalaciju u usporedbi sa jednostavnim tipkovnicama za unos PIN koda.

3.4.2.2 Usporedba RFID tehnologije i biometrije

Biometrijski podaci poput otiska prstiju, prepoznavanja lica, skeniranja oka su jedinstveni za svakog pojedinca i teško ih je kopirati ili lažirati. Ovakav sustav je mnogo teže kompromitirati u odnosu na RFID sustav kontrole pristupa.

Iako ovakav sustav daje puno veću sigurnost nego RFID, problematika biometrijskog sustava je moguća zabrinutost zbog privatnosti i potencijalne zloupotrebe biometrijskih podataka.

3.4.2.3 Usporedba RFID tehnologije i NFC metode

NFC uređaji imaju vrlo kratak domet, što može biti sigurnosna prednost jer zahtijeva vrlo blizak kontakt za komunikaciju. RFID ima veći domet, što povećava rizik od presretanje signala. Također, NFC je široko prihvaćen standard u mobilnim uređajima, što olakšava njegovu integraciju u sustavima kontrole pristupa (primjer: korisnik koristi svoj mobilni uređaj kao autorizacijsku karticu koja omogućava pristup). RFID sustav često zahtijeva i dodatne, specifične infrastrukture koje poskupljuju sustav.

4 IZRADA SUSTAVA ZA KONTROLU PRISTUPA

U ovom dijelu rada, objasnit će se princip izrada sustava za kontrolu pristupa pomoću Arduino UNO mikroupravljača i RFID tehnologije, ali i drugi, mogući načini izrade.

4.1 Inicijalno razmatranje – kapacitivni senzor

Ideja za izradu ovog projekta krenula je izradom sustava koji omogućava pristup korištenjem kapacitivnog senzora i Arduino servomotora. Kapacitivni senzor koji je korišten je Velleman VMA 305 kapacitivni senzor, a servomotor koji je korišten je Arduino SM-S2309S servomotor. Osim senzora i servomotora korištene su i dvije LED diode, jedna zelene a druga crvene boje. Također, korišten je i računalni program koji će davati instrukcije Arduino, potrebne za izvršavanje zadatka.

4.1.1 Kapacitivni senzor

Kapacitivni senzor je senzor za dodir koji zahtijeva malo ili nimalo sile za aktiviranje. Detektira kapacitivni dodir tijela, emitirajući analogni napon.

Tehnički podaci Velleman VMA 305 senzora⁷:

- priključak: 3 pina, VCC – Signal – GND
- napon: 3 do 5 VDC
- dimenzije: 30 x 16 x 6 mm
- težina: 5 g

Kapacitivni senzor prikazan je na slici 12.



⁷ Kapacitivni senzor dodira VELLEMAN, prekidač, <https://www.chipoteka.hr/kapacitivni-senzor-dodira-velleman-prekidac-8090229132> (21.07.2024.)

Slika 12. Kapacitivni senzor

Izvor: Velleman VMA305 - module with capacitive button, (<https://botland.store/touch-buttons/13021-velleman-vma305-module-with-capacitive-button-5410329730031.html>)30.06.2024.

4.1.2 Arduino servomotor

Arduino servomotor SM-S2309S je kompaktni precizni aktuator dizajniran za razne elektroničke projekte koji zahtijevaju kontrolu položaja. Servomotor koristi se za upravljanje pokretima u aplikacijama kao što su robotika, automatizacija i modelarstvo. Servomotor je prikazan na slici 13.



Slika 13. Servomotor

Izvor: AL-HEKMA ELECTRONICS, <https://alhekmh.com/sm-s2309s-micro-analog-servo-motor-1-2-kg-cm-180/> (30.06.2024.)

Arduino kontrolira servomotor pomoću Servo knjižnice. Elektronika unutar servomotora pretvara širinu impulsa u položaj. Kada se servomotoru uputi naredba da se okreće, motor se pokreće sve dok potenciometar ne dosegne vrijednost koja odgovara krajnjem položaju. Konektor je ulaz koji mora biti spojen na jedan od izlaznih konektora na TinkerKit štitu. U tablici 1. prikazani podaci SM-S2309S servomotora.

Klasa	Mikro
Tip	Analogni
Zupčanici	1 metalni + 4 plastična
Rotacija	0° do 180°
Brzina na 4.8V	0,11 s/60 stupnjeva
Zakretni moment na 4.8V	1,1 kg*cm
Brzina na 6V	0,09 s/60 stupnjeva
Zakretni moment na 6V	1,3 kg*cm

Radni napon	4,8 - 6 V
Veličina	22,9x12,3x22,2 mm
Težina	9,9 g

Tablica 1. Tehnički podaci SM-S2309S servomotora
Izvor: Banana Robotics, <https://www.bananarobotics.com/shop/Banana-Robotics?sort=p.model&order=DESC&page=5> (21.07.2024.)

4.1.3 Ostale komponente

Osim senzora i servomotora za izradu sustava potrebne su i ostale komponente poput:

- LED diode
- Eksperimentalna pločica
- Vodiči za povezivanje
- Otpornici od 220 Ohma

LED diode su poluvodiči koje se sastoje se od dvije elektrode – anode i katode a u ovom sustavu se diode koriste kao signalizacija. Diode su prikazane na slici 14.



Slika 14. . LED diode

Izvor: 5mm Red Green LED Diode Lights, (<https://www.ubuy.co.it/en/product/1J19L10VC-uxcell-40pcs-2-colors-x-20pcs-5mm-red-green-led-diode-lights-colored-lens-diffused-round-20ma-lighting-bulb-lamp-electronic-components-light-emitting>) 30.06.2024.

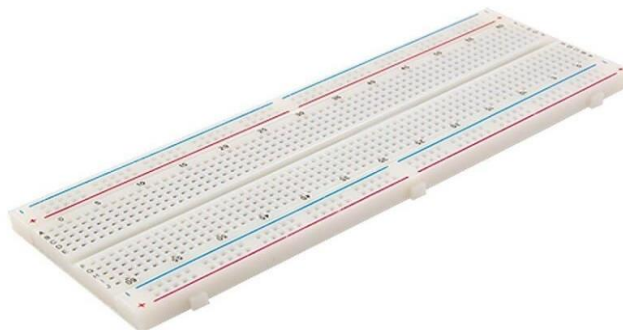
Specifikacije za crvenu LED diodu su⁸:

- Promjer: 5mm
- Napon praga: max 2,5V (tipično 2V)
- Struja kroz diodu : 20mA
- Snaga: 80mW

Specifikacije za zelenu LED diodu su:

- Promjer: 5mm⁹
- Napon praga: 1.7 – 2.26 V (tipično 2,1V)
- Struja kroz diodu : 20mA
- Snaga: max 85mW

Ekperimentalne pločice su pločice koje se u elektronici koriste za sastavljanje strujnih krugova a izgled ekperimentalne pločice je prikazan na slici 15.



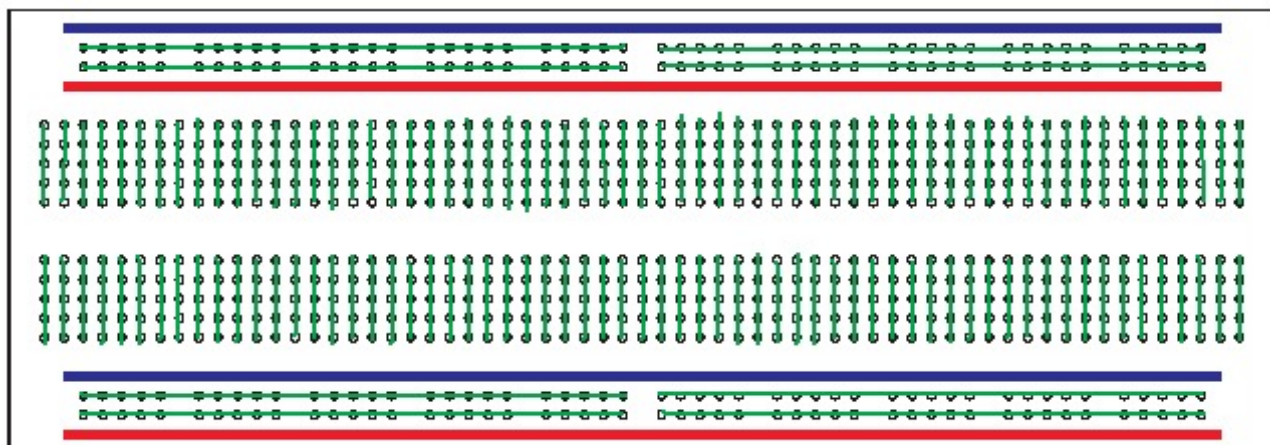
Slika 15. Ekperimentalna pločica

Izvor: Breadboard 16.5x5.5cm (830 Holes), (<https://www.cytron.io/p-breadboard-16.5x5.5cm-830-holes>) 30.06.2024.

⁸ Standard LED Red Emitting Colour, 18/10/11, <https://www.farnell.com/datasheets/1498852.pdf> (21.07.2024.)

⁹ LED Yellow / Green, 5mm, 10/10/12, <https://www.farnell.com/datasheets/1671521.pdf> (21.07.2024.)

Kontakti na pločici su međusobno povezani po određenom rasporedu. Spojna shema kontakata eksperimentalne pločice prikazana je na slici 16.



Slika 16. Spojna shema kontakata eksperimentalne pločice

Izvor: Breadboard Internal Connections (https://www.researchgate.net/figure/Breadboard-Internal-Connections_fig3_265932780) 25.06.2024.

Osim eksperimentalne pločice za izradu sustava potrebne su i spojne žice kako bi se električne komponente mogle povezati jedna s drugom. U izradi se koriste Velleman C000036 spojne žice. Tehničke specifikacije su sljedeće¹⁰:

Tip	muški
Napon	Max. 30V
Struja	Max. 3A
Duljina	15cm
Promjer	0.34 mm ²
Izolacijski materijal	PVC
Materijal vodiča	bakar

Tablica 2. Tehničke specifikacije spojnih žica

Izvor: Chipoteka, Spojne žice Velleman C000036, 150mm, muški kontakti, <https://www.chipoteka.hr/index.php?route=product/search&search=velleman> (21.07.2024.)

¹⁰ Chipoteka, Spojne žice Velleman C000036, 150mm, muški kontakti, <https://www.chipoteka.hr/index.php?route=product/search&search=velleman> (21.07.2024.)

Spojne žice Velleman C000036 150mm prikazane su na slici 17.



Slika 17. Spojne žice

Izvor: Spojne žice VELLEMAN C000036, 150mm, muški kontakti, paket (<https://www.chipoteka.hr/spojne-zice-velleman-c000036-150mm-muski-kontakti-paket-8203000036>) 25.06.2024.

4.2 Izrada projekta uz pomoć kapacitivnog senzora

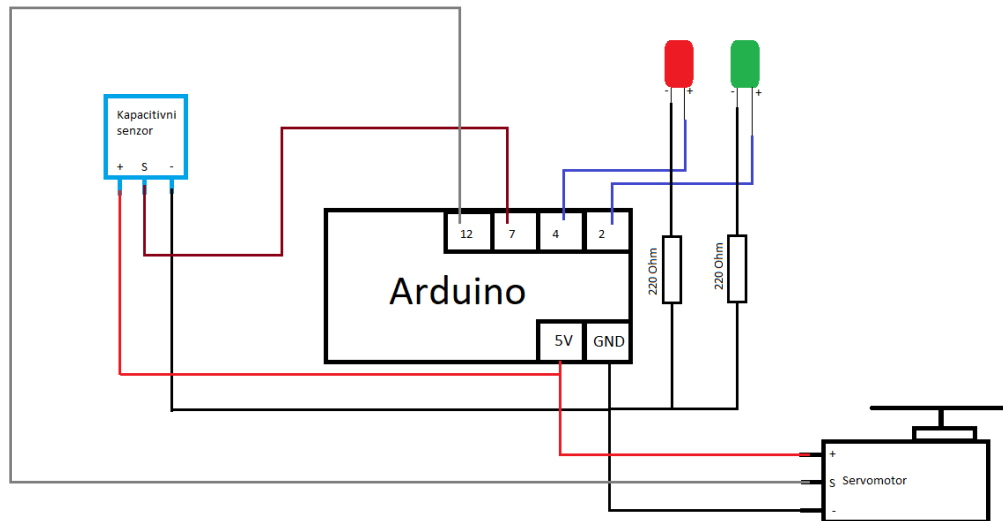
U ovom dijelu prikazat će se praktična izvedba projekta uz pomoć kapacitivnog senzora te objasniti potreban kod za izvršenje zadatka.

4.2.1 Princip rada projekta

Princip ovog projekta je takav da čovjek svojim dodiranjem aktivira kapacitivni senzor, koji će nakon toga poslati Arduino informaciju da je došlo do aktivacije senzora. Nakon toga, Arduino mikroupravljač će poslati naredbu servomotoru da promijeni svoju poziciju rotora s početne pozicije na drugu, krajnju poziciju.

S obzirom da je osočina servomotora povezana uz mehaničku bravu komadom aluminijske žice, za posljedicu će servomotor pomaknuti bravu u stanje otključano i tako omogućiti pristup korisniku. U svrhu indikacije stanja (otključano ili zaključano) koriste se dvije LED diode, crvena – zaključano stanje i zelena – otključano stanje.

4.2.2 Spojna shema i program izvršavanja



Slika 18. Spojna shema projekta - kapacitivni sustav
Izvor: Izradio autor

Na slici 18. prikazana je spojna shema projekta s kapacitivnim senzorom. Vidljivo je da je pozitivan pin servomotora (na slici označen simbolom „+“) spojen na napajanje Arduina od 5V dok je negativan pin (na slici označen simbolom „-“) spojen na Arduinov pin označen oznakom „GND“. Srednji pin servomotora, odnosno signalni pin je spojen na digitalni pin 12 Arduino mikroupravljačke pločice. Kapacitivni senzor se napaja također preko Arduinovog 5V napajanja, a na slici je vidljivo da je pozitivna nožica senzora (označena sa „+“) spojena na 5V, dok je negativna (označena sa „-“) spojena na pin GND. Signalni pin senzora je spojen na Arduinov digitalni pin označen brojem sedam. Katode (negativne nožice) LED dioda su spojen na pin GND preko otpornika od 220Ω , a anode (pozitivne nožice) su spojene na digitalne ulaze Arduino mikroupravljača – zelena LED dioda je spojena na pin 2, a crvena je spojena na pin 4.

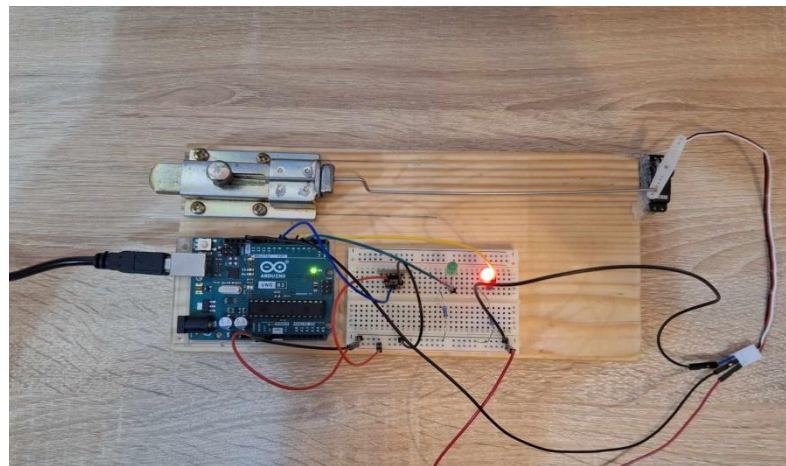
1	<code>#include <Servo.h>.</code>
2	
3	<code>Servo myServo;</code>
4	<code>int touchPin = 7;</code>
5	<code>int GreenLED = 2;</code>
6	<code>int RedLED = 4;</code>

7	
8	
9	<code>int angle = 120;</code>
10	<code>int secAngle = 0;</code>
11	
12	<code>void setup() {</code>
13	<code>pinMode(touchPin, INPUT);</code>
14	<code>pinMode(GreenLED, OUTPUT);</code>
15	<code>pinMode(RedLED, OUTPUT);</code>
16	<code>myServo.attach(12);</code>
17	<code>}</code>
18	
19	<code>void loop() {</code>
20	<code>int state = digitalRead(touchPin);</code>
21	
22	<code>if(state == 1){</code>
23	<code>myServo.write(secAngle);</code>
24	<code>digitalWrite(GreenLED, HIGH);</code>
25	<code>digitalWrite(RedLED, LOW);</code>
26	<code>}</code>
27	<code>else{</code>
28	<code>digitalWrite(GreenLED, LOW);</code>
29	<code>digitalWrite(RedLED, HIGH);</code>
30	<code>myServo.write(angle);</code>
31	<code>}</code>
32	<code>}</code>

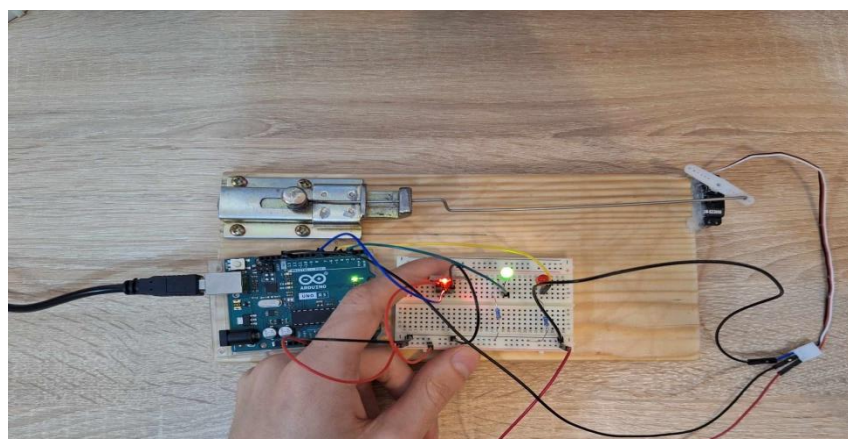
Tablica 3. Programski kod za kapacitivni senzor
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

U tablici 3. prikazan je programski kod koji je potreban za rad projekta u prethodno opisanom načinu. Za pravilan rad računalnog programa potrebno je prethodno uključiti biblioteku „servo.h“ – prva linija koda. Nakon toga potrebno je definirati imena varijabli i njihove pinove na Arduino pločici – linije koda od 3 do 6. Napomena – u trećoj liniji kod definiran je samo objekt klase Servo naziva „myServo“, ali ne i njegov digitalni pin.

Njegov signalni pin se definira u „setup“ dijelu programa metodom `.attach(12) – 16.` linija koda. U devetoj i desetoj liniji koda definirani su stupnjevi rotacije servomotora (120 i 0 stupnjeva). U takozvanom „void setup“ dijelu programa deklariraju se digitalni izvodi kao ulazni ili izlazni. U „void loop“ dijelu imamo varijablu „state“ koja služi za očitavanje senzora – logično stanje 1 znači da kapacitivni senzor očitava neku vrijednost dok logička nula znači da nema nikakve vrijednosti. Ako je vrijednost varijable „state“ jednaka stanju logičke 1 tada će servomotor s pozicije 120 stupnjeva rotirati na 0 stupnjeva, zelena LED dioda će zasvijetliti, a crvena LED dioda će se ugasi – linije koda od 22 do 26. Ako je logičko stanje 0 onda će se motor vratiti u početni položaj (0 stupnjeva), crvena LED dioda će zasvijetliti a zelena će se ugasi – linije koda od 27 do 31. Na slikama 19. i 20. prikazana je fizička izvedba sustava za kontrolu pristupa korištenjem kapacitivnog senzora.



Slika 19. Kapacitivni senzor (fizička izvedba) – brava zatvorena
Izvor: izradio autor (24.06.2024.)



Slika 20. Kapacitivni senzor (fizička izvedba) – brava otvorena
Izvor: izradio autor (24.06.2024.)

4.2.3 Problematika kapacitivnog senzora

Kapacitivni senzor je senzor kojem je potreban mali dodir kako bi se aktivirao, a pritom nema nikakve sigurnosti. Iako je izvođenje i implementacija vrlo jednostavna postoji veliki problem, a to je manjak sigurnosti. Drugim riječima, kada bi se kapacitivni senzor koristio unutar sustava za kontrolu pristupa bilo tko bi mogao pristupiti i tako ugroziti čovjeka ili njegovu imovinu. Kapacitivni senzor ima razne primjene, ali u kontroli pristupa i nije najbolja opcija. Zbog toga su puno bolje rješenje RFID senzori ili senzori otiska prsta koji pružaju puno veću sigurnost od kapacitivnog senzora.

4.2.4 Inicijalno razmatranje – RFID

U ovom dijelu rada, razmatrat će se korištenje RFID čitača i oznake za kontrolu pristupa umjesto kapacitivnog senzora. Sve ostale komponente ostaju nepromijenjene. Također, u ovaj sustav će se implementirati i LCD zaslon na kojem će se prikazivati informacije koje će biti bitne korisniku. Ovakav sustav pruža veću sigurnost, ali porastom sigurnosti raste i cijena sustava, što znači da je RFID sustav skuplji nego prethodno razmatrani sustav. Na slici 21 prikazana je brava sa otključavanjem putem RFID kartice.



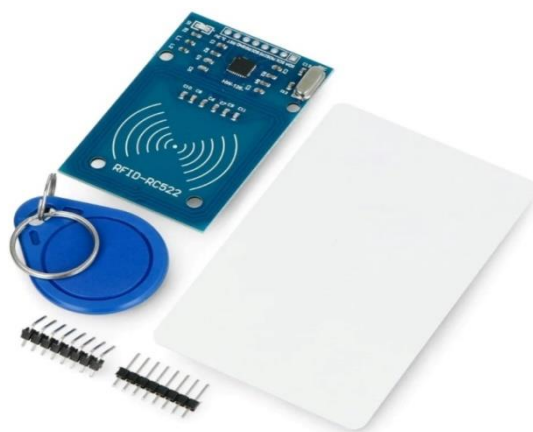
Slika 21. Primjer RFID brave

Izvor: RFID card lock door, (<https://www.szfoxtech.com/products/hotel-rf-card-lock/fl-0109s-rfid-card-door-lock>) 25.06.2024..

4.3 Arduino RFID tehnologija

U ovom radu korišten je RFID čitač MFRC522 - integrirani krug koji služi za beskontaktnu komunikaciju na visokofrekventnom području (13,56 MHz). Mikro čip upravlja antenom koja je dizajnirana za čitanje i slanje informacija. RFID čitač se sastoji od antene, RF modula i upravljačke jedinice dok se RFID oznaka sastoji samo od antene i mikročipa. RFID oznaka nema aktivnih komponenti odnosno komponenata koje imaju napajanje. Komunikacija između RFID oznake i čitača se odvija tako da antena konstantno emitira elektromagnetske valove.

Kada se RFID oznaka približi anteni na udaljenosti otprilike 10cm, napon na prijemnoj anteni, koji služi kao napajanje za ugrađeni mikročip, inducirat će se zbog utjecaja elektromagnetskog polja. Arduino RFID čitač i oznake prikazani su na slici 22.



Slika 22. Arduino RFID čitač i oznake (MFRC5)

Izvor: Makerlab-electronics, RFID key card reader, (<https://www.makerlab-electronics.com/products/rc522-mfrc-52213-56mhz-13-56-mhz-rfid-key-card-reader-module-set-for-arduino>) 25.06.2024.

Dijelovi RFID Arduino čitača prikazani su na slici 23.



Slika 23. Dijelovi RFID Arduino čitača

Izvor: Makerlab-electronics, RFID key card reader, (<https://www.makerlab-electronics.com/products/rc522-mfrc-52213-56mhz-13-56-mhz-rfid-key-card-reader-module-set-for-arduino>) 25.06.2024.

4.3.1 LCD I2C zaslon

LCD (engl. liquid crystal display) je zaslon čiji se princip rad temelji na tehnologiji tekućih kristala, dok je I2C (engl. Inter – Integrated Circuit) komunikacijski protokol za znakovne i grafičke segmente LCD zaslona. I2C protokol omogućuje lakše povezivanje i integraciju. LCD zaslon unutar Arduino platforme prikazan je na slici 24.



Slika 24. LCD I2C zaslon

Izvor: LCD Display Screen Blue + IIC I2C Module Interface Adapter for Raspberry pi 2 Pack (<https://www.amazon.com/JANSANE-Arduino-Display-Interface-Raspberry/dp/B07D83DY17>) 30.06.2024.

Ovakva vrsta protokola omogućuje lakše povezivanje i integraciju, jer se koriste samo dvije linije za komunikaciju: SCL (engl. Serial Clock Line) koja prenosi taktni signal koji sinkronizira prijem i slanje poruka te SDA (engl. Serial Data Line) koji prenosi podatke između uređaja. Svaki uređaj ima jedinstvenu adresu u I2C protokolu kako bi se omogućila pravilna komunikacija te izbjegle kolizije podataka.

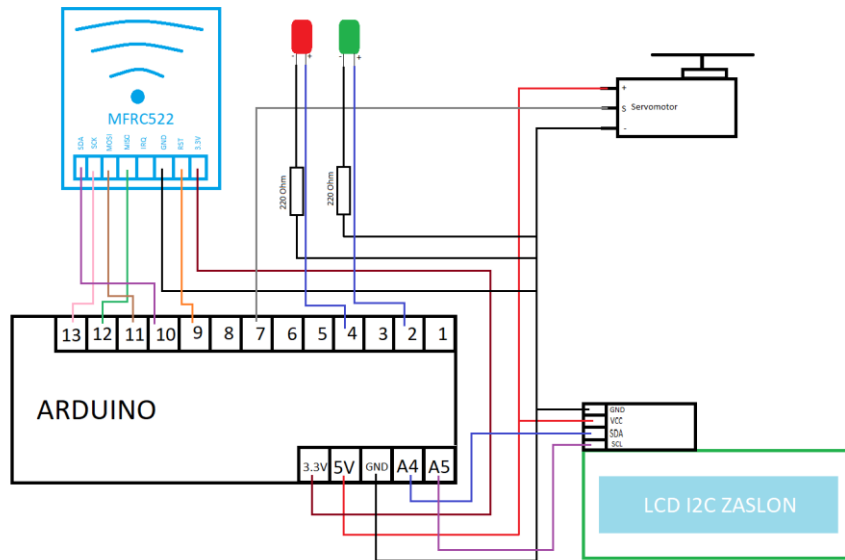
4.3.2 Princip rada i spojna shema

Princip rada sličan je prethodnom projektu, jedina razlika je u tome da se u ovom projektu koristi RFID čitač i oznaka za kontrolu pristupa. Dakle, korisnik će prisloniti svoju RFID oznaku na čitač koji će skenirati podatke oznake i proslijediti ih Arduino mikroupravljaču. Arduino će nakon toga usporediti podatke koje je dobio od čitača s onim podacima koji omogućuju pristup.

Ako se podatci podudaraju Arduino će poslati naredbu za zakretanje osovine servomotora koja je povezana s bravom preko komada žice. Zakretanje osovine će otvoriti bravu i tako omogućiti korisniku kontrolu pristupa. Kako bi korisnik shvatio da je njegova RFID oznaka omogućila pristup, zelena LED dioda će zasvijetliti, crvena LED dioda će se ugasiti, a na LCD zaslonu će se prikazati poruka „Dobrodošao!“. Međutim, ako je skenirana oznaka kriva elektromotor se neće zarotirati, crvena LED dioda će nastaviti svijetliti, a na LCD zaslonu će se prikazati poruka „Kriva oznaka. Pokušaj ponovno za 5s“. Nakon 5 sekundi korisnik će moći ponovo prisloniti oznaku. Prethodno opisani proces pokazuje stanje kad je brava inicijalno zaključana te nakon prislanjanja oznake omogućuje korisniku pristup.

No, što ako želimo bravu dovesti iz stanja otključano u zaključano? Tada će korisnik prisloniti svoju oznaku, s kojom je prvobitno omogućio pristup, na čitač koji će poslati Arduino podatke, Arduino će ih analizirati i usporediti s unaprijed definiranim i ako se podudaraju pokrenut će proces zaključavanja – proces zaključavanja znači da će se servomotor vratiti iz krajnje pozicije u početnu (brava također), LED diode će promijeniti radna stanja, a na LCD zaslonu će se prikazati poruka „Doviđenja!“.

U slučaju da je brava otključana te je korisnik želi zaključati krivom oznakom na LCD zaslonu će se prikazati poruka „Krivna oznaka“. Dakle, bitno je razmotriti stanja u kojima se brava nalazi kako bi Arduino znao koju sekvencu programa izvršiti (otključavanja ili zaključavanja). Spojna shema prikazana je na slici 25.



Slika 25. Spojna shema projekta –RFID sustav
Izvor: izradio autor

4.3.3 Programski kod RFID projekta

U ovom dijelu opisat će se programski kod potreban za pravilan rad RFID projekta kontrole pristupa. S obzirom da je ovaj kod kompliciraniji od prethodnog sustava, opisivanje će biti podijeljeno u dva dijela. Prvi dio će opisivati inicijalne korake koje je potrebno poduzeti kako bi se osiguralo pravilo izvođenje programa, dok će se u drugom dijelu opisivati naredbe potrebne za rad RFID projekta.

4.3.3.1 Programski kod – prvi dio

Programski kod prikazan u tablici ispod.

1	<code>#include <SPI.h></code>
2	<code>#include <MFRC522.h></code>
3	<code>#include <Servo.h></code>
4	<code>#include <Wire.h></code>
5	<code>#include <LiquidCrystal_I2C.h></code>
6	
7	<code>LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);</code>

8	
9	<code>#define SS_PIN 10</code>
10	<code>#define RST_PIN 9</code>
11	
12	<code>MFRC522 rfid(SS_PIN, RST_PIN);</code>
13	
14	<code>byte authorizedUID[4] = {0xF3, 0x24, 0x94, 0xC9};</code>
15	<code>int GreenLed = 2;</code>
16	<code>int RedLed = 4;</code>
17	<code>int angle = 120;</code>
18	<code>int pos;</code>
19	<code>Servo myServo;</code>
20	
21	<code>void setup() {</code>
22	<code> SPI.begin();</code>
23	<code> rfid.PCD_Init();</code>
24	<code> lcd.init();</code>
25	<code> lcd.backlight();</code>
26	<code> pinMode(GreenLed, OUTPUT);</code>
27	<code> pinMode(RedLed, OUTPUT);</code>
28	<code> myServo.attach(7);</code>
29	<code> Setup();</code>
30	<code>}</code>

Tablica 4. RFID programski kod
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

Za pravilan rad programa potrebno je na početku dodati potrebne biblioteke – linije od 1 do 5. Nakon toga potrebno je definirati adresu I2C, broj redova i broj stupaca LCD zaslona – linija 7. U linijama 9 i 10 definiraju se SS_pin i RST_pin kao pin 10 i pin 9. Nakon toga potrebno je inicijalizirati RFID čitač – linija 12, također potrebno je i definirati parametre (SS pin i RST pin – SS pin se koristi za odabir RFID čitača kao aktivnog uređaja na SPI sabirnici, dok se RST pin koristi za ponovno pokretanja RFID čitača). U četrnaestoj liniji koda definira se polje (engl. array) koji sadrži 4 bajta.

Podaci u polju su spremljeni u obliku niza koji sadržava četiri elementa. Vrijednosti „{0xF3, 0x24, 0x94, 0xC9}“ su početne vrijednosti elemenata niza, a svaka vrijednost je zapisana u heksadecimalnom obliku. Polje se koristi kao bi se u njega pohranio autorizacijski kod RFID oznake koja omogućuje kontrolu pristupa. Od linije 15 do 19, definiraju se varijable neophodne za pravilan rad.

U „void setup()“ dijelu programskog koda na početku inicijalizira se SPI (engl. Serial Peripheral Interface) komunikacija – linija koda 22. Nakon toga, u liniji koda 23, RFID čitač postavlja se u radno operativno stanje, odnosno omogućeno mu je čitanje RFID oznaka. Linija koda 24 radi isto što i linija 23 samo što se sad LCD zaslon postavlja u radno operativno stanje, a linija 25 se poziva kako bi se uključilo pozadinsko osvjetljenje na LCD zaslonu. Sljedeće linije su 26 i 27 u kojima se LED diode postavljaju kao „output“. U liniji 28 postavljamo servomotor na pin 7, koji će služiti kao njegov signalni pin. Linija 29 nam prikazuje pozivanje funkcije „Setup()“. Setup() funkcija prikazana u tablici 5.

110	<code>int Setup(){</code>
111	<code>pos = myServo.read();</code>
112	<code>if(pos != 120){</code>
113	<code>myServo.write(120);</code>
114	<code>}</code>
115	<code>digitalWrite(RedLed, HIGH);</code>
116	<code>digitalWrite(GreenLed, LOW);</code>
117	<code>lcd.clear();</code>
118	<code>lcd.setCursor(1, 0);</code>
119	<code>lcd.print("Prisloni karticu");</code>
120	
121	<code>}</code>

Tablica 5. Setup() funkcija
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

Setup() funkcija je funkcija koja se poziva na početku, odnosno kad RFID kartica nije prislonjena na RFID čitač. Prve četiri linije koda unutar funkcije služe kako bi se na početku odredila pozicija servomotora, također ako je pozicija na početku različita od 120°, ova funkcija će servomotor postaviti u poziciju 120°.

Nakon toga, Setup() funkcija, postavlja crvenu LED diodu u visoku logičku razinu, dok zelenu postavlja u nisku logičku razinu. Zadnje tri linije koda u funkciji služe kako bi se ispisala željena poruka na LCD zaslonu.

4.3.3.2 Programski kod – drugi dio

Programski dio koda – drugi dio – prikazan na tablici 6.

34	<code>void loop() {</code>
35	<code> if (rfid.PICC_IsNewCardPresent()) {</code>
36	<code> if (rfid.PICC_ReadCardSerial()) {</code>
37	<code> MFRC522::PICC_Type piccType =</code> <code> rfid.PICC_GetType(rfid.uid.sak);</code>
38	
39	<code> if (rfid.uid.uidByte[0] == authorizedUID[0] &&</code>
40	<code> rfid.uid.uidByte[1] == authorizedUID[1] &&</code>
41	<code> rfid.uid.uidByte[2] == authorizedUID[2] &&</code>
42	<code> rfid.uid.uidByte[3] == authorizedUID[3]) {</code>
43	<code> if(angle == 120){</code>
44	<code> Access_granted_opening();</code>
45	<code> }</code>
46	<code> else{</code>
47	<code> Access_granted_closing();</code>
48	<code> Setup();</code>
49	<code> }</code>
50	<code> myServo.write(angle);</code>
51	<code> }</code>
52	<code> else if (rfid.uid.uidByte[0] != authorizedUID[0] &&</code>
53	<code> rfid.uid.uidByte[1] != authorizedUID[1] &&</code>
54	<code> rfid.uid.uidByte[2] != authorizedUID[2] &&</code>
55	<code> rfid.uid.uidByte[3] != authorizedUID[3]) {</code>
56	<code> if(angle == 120){</code>
57	<code> Access_denied();</code>
58	<code> Counter();</code>
59	<code> Setup();</code>
60	<code> }</code>
61	<code> else{</code>
62	<code> Wrong_key_access_granted();</code>

63	<code>Access_granted_opening();</code>
64	<code>}</code>
65	<code>}</code>
66	<code>rfid.PICC_HaltA();</code>
67	<code>rfid.PCD_StopCrypto1();</code>
68	<code>}</code>
69	<code>}</code>
70	
71	<code>}</code>

Tablica 6. RFID programski kod
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

Ovaj dio sadržava opis void loop() funkcije, odnosno sami princip rada sustava. Na početku, u liniji 35, provjerava se da li je korisnik prislonio svoju karticu. Nakon što je korisnik prislonio svoju oznaku na čitač, provjerava se da li je serijski broj kartice očitana. „MFRC522::PICC_Type piccType = rfid.PICC_GetType(rfid.uid.sak);“ poziva metodu „PICC_GetType()“ sa „sak“ vrijednošću trenutno učitane RFID oznake i vraća odgovarajući tip oznake. Kao rezultat, ova naredba identificira tip oznake koja je trenutno učitana u RFID čitač i taj tip oznake čuva u varijabli „piccType“. Nakon toga, uz pomoć if petlje provjerava se da li prislonjena kartica ima isti UID kao autorizacijska oznaka. Ako prislonjena kartica ima isti UID kao i autorizacijska oznaka, ovisno o poziciji servomotora, pozvat će se dvije različite funkcije. Za otkrivanje pozicije servomotora koristi se if else petlja.

Bitno je znati poziciju servomotora kako bi se moglo odrediti da li korisnik otključava ili zaključava sustav. Ako korisnik otključava sustav, pozvat će se Access_granted_opening() funkcija. Access_granted_opening() funkcija pomaknut će servomotor u krajnju poziciju, zamijeniti raspored stanja LED dioda i na LCD zaslonu će ispisati odgovarajuću poruku, kao što je prikazano u tablici 7.

73	<code>int Access_granted_opening(){</code>
74	<code>angle = 0;</code>
75	<code>lcd.clear();</code>
76	<code>lcd.setCursor(1,0);</code>
77	<code>lcd.print("Dobrodošli!");</code>

78	<code>lcd.setCursor(1,1);</code>
79	<code>lcd.print("Pristup odobren!");</code>
80	<code>digitalWrite(RedLed, LOW);</code>
81	<code>digitalWrite(GreenLed, HIGH);</code>
82	<code>}</code>

Tablica 7. Access_granted_opening() funkcija
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

U slučaju da je pozicija servomotora drugačija od početne (120 stupnjeva), pozvat će se funkcija Access_granted_closing() kao što je prikazano u tablici 8. Ova funkcija slična je prethodnoj (Access_granted_opening) samo što ova funkcija pomiče servomotor iz krajnje u početnu poziciju te je tekst na LCD zaslonu drugačiji.

84	<code>int Access_granted_closing(){</code>
85	<code>angle = 120;</code>
86	<code>lcd.clear();</code>
87	<code>lcd.setCursor(1,0);</code>
88	<code>lcd.print("Zaključavam...");</code>
89	<code>lcd.setCursor(1,1);</code>
90	<code>lcd.print("Dovidjena!");</code>
91	<code>delay(5000);</code>
92	<code>}</code>

Tablica 8. Access_granted_closing() funkcija
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

Nakon što se pozove Access_granted_closing() funkcija pozvat će se SetUp() kako bi se program vratio u prvobitno stanje. Rad SetUp() je već prethodno opisan, stoga se u ovom dijelu neće opisivati. U slučaju da je korisnik prislonio oznaku s krivim UID-em (oznaka koja onemogućava pristup) izvršit će se druge dvije funkcije. Ovisno opet o tome da li korisnik otključava ili zaključava sustav. Ako korisnik prisloni krivu oznaku dok je sustav zaključan pozvat će se tri funkcije:

- Access_denied()
- Counter()
- SetUp()

Access_denied() je funkcija koja će dati informaciju korisniku da je prislonio krivu oznaku tako što će na LCD zaslonu ispisati odgovarajuću poruku. U tablici 9 navedena je Access_denied funkcija().

102	<code>int Access_denied(){</code>
103	<code>lcd.clear();</code>
104	<code>lcd.setCursor(1, 0);</code>
105	<code>lcd.print("Kriva oznaka");</code>
106	<code>lcd.setCursor(1, 1);</code>
107	<code>lcd.print("Probajte opet za: ");</code>
108	<code>}</code>

Tablica 9. . Access_denied() funkcija
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

Nakon Access_denied() funkcije izvršit će se funkcija Counter() koja korisniku prikazuje kada će ponovno prisloniti svoju oznaku koja je prikazana u tablici 10.

123	<code>int Counter () {</code>
124	<code>int i;</code>
125	<code>for(i = 5; i >= 1; i--){</code>
126	<code>lcd.setCursor(1,2);</code>
127	<code>lcd.print(i);</code>
128	<code>delay(1000);</code>
129	<code>}</code>

Tablica 10. Counter() funkcija
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

Nakon što se izvrši ova funkcija, izvršit će se opet SetUp funkcija koja će opet vratiti sustav u prvobitno stanje. U slučaju da korisnik želi sustav zaključati krivom oznakom pozvat će se funkcija „Wrong_key_access_granted()“; „Wrong_key_access_granted()“ je funkcija koja će na LCD zaslonu ispisati poruku „Kriva oznaka“ i tako informirati korisnika o njegovoj pogrešci, kako je prikazano u tablici 11.

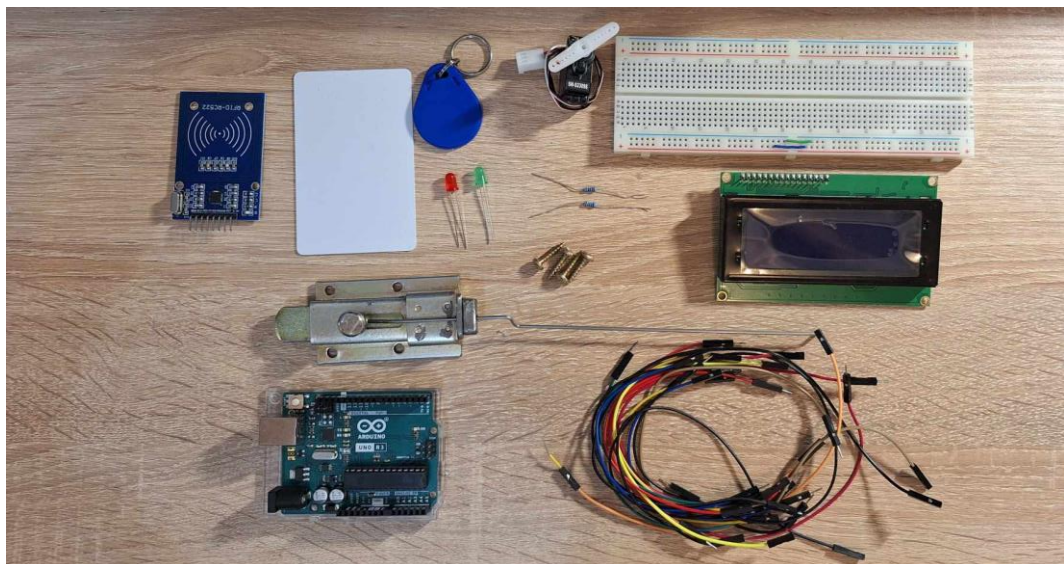
94	<code>int Wrong_key_access_granted(){</code>
95	<code>angle = 0;</code>
96	<code>lcd.clear();</code>
97	<code>lcd.setCursor(1,0);</code>
98	<code>lcd.print("Kriva oznaka...");</code>
99	<code>delay(5000);</code>
100	<code>}</code>

Tablica 11. Wrong_key_access_granted() funkcija
Izvor: Izradio autor u Arduino IDE programskom okruženju

Nakon toga, pozvat će se funkcija „Access_granted_opening()“ kako bi sustav ostao nepromjenjiv. „rfid.PICC_HaltA()“ se koristi kako bi se zaustavila komunikacija s trenutno učitanim oznakom, dok se „rfid.PCD_StopCrypto1()“ koristi za zaustavljanje kriptirane komunikacije između RFID oznake i čitača.

4.3.3.3 Fizička izvedba RFID kontrole pristupa

Za fizičku izradu RFID kontrole pristupa potrebni su sljedeći elementi prikazani na slici 26.



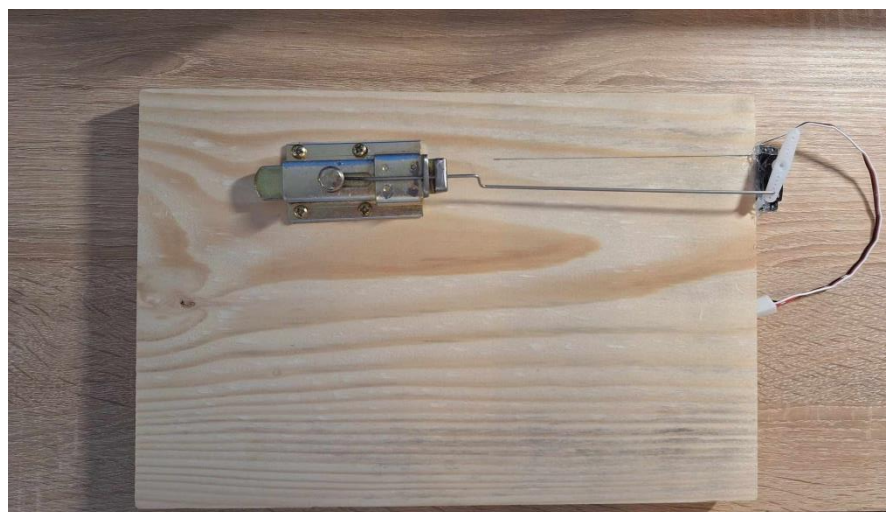
Slika 26. Potrebni dijelovi za fizičku izvedbu RFID kontrole sustava
Izvor: Izradio autor(01.07.2024.)

Prikazane komponente bit će sastavljene na drvenoj podlozi dimenzija 30cm x 20cm (d x š). Iako dimenzije podloge nisu pretjerano bitne, s obzirom da je ovo višekomponentni sustav bilo bi dobro da podloga bude što je veća moguća. Podloga za komponente RFID sustava prikazana je na slici 27.



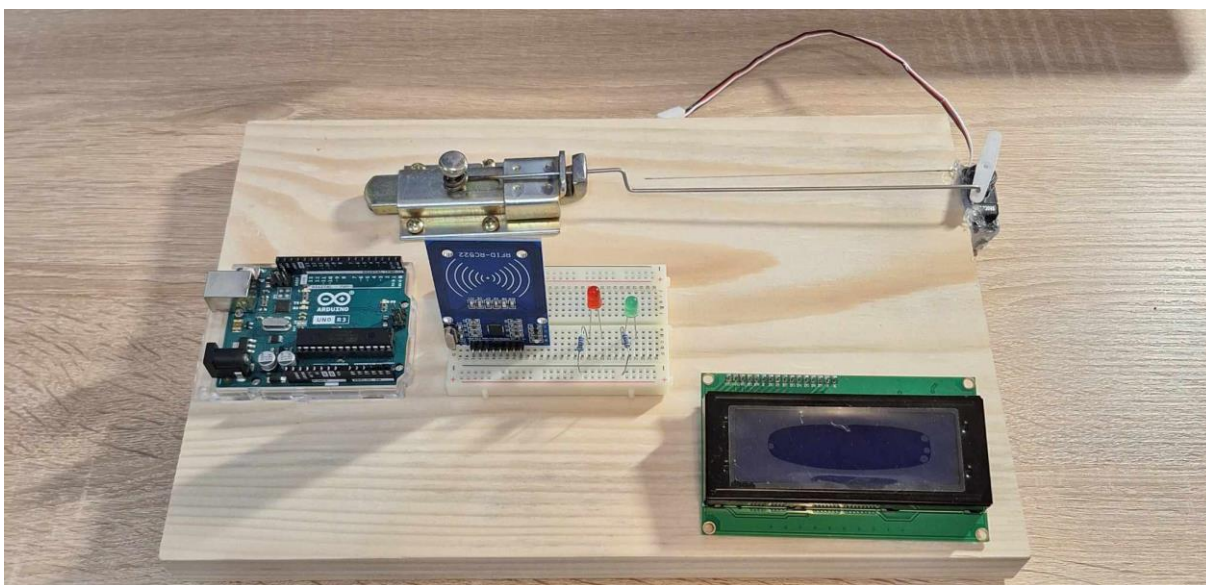
Slika 27. Podloga za komponente RFID sustava
Izvor: Izradio autor (01.07.2024.)

Brava za zaključavanje se pričvršćuje uz podlogu korištenjem četiri vijka dimenzija 3,5 x 16 mm a spaja se na motor korištenjem tanke žice dužine cca 6cm. Servomotor je pričvršćen sa strane podloge korištenjem vrućeg ljepila. Prikaz spajanja servomotora i mehaničke brave je prikazan na slici 28.



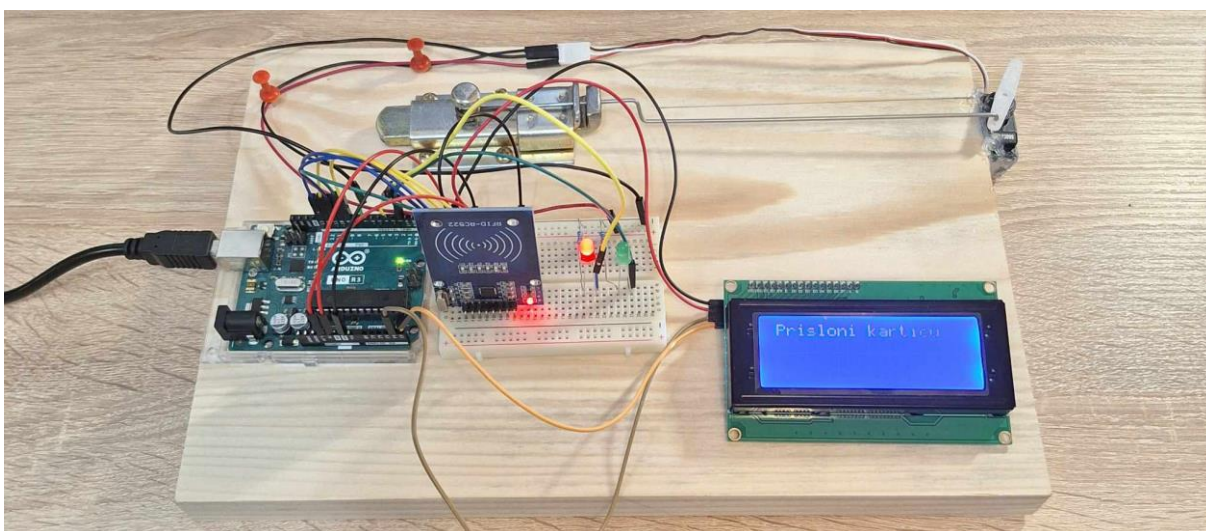
Slika 28. Prikaz spajanja servomotora i mehaničke brave
Izvor: Izradio autor (01.07.2024.)

Raspored ostalih komponenti na podlozi prikazan na slici 29.



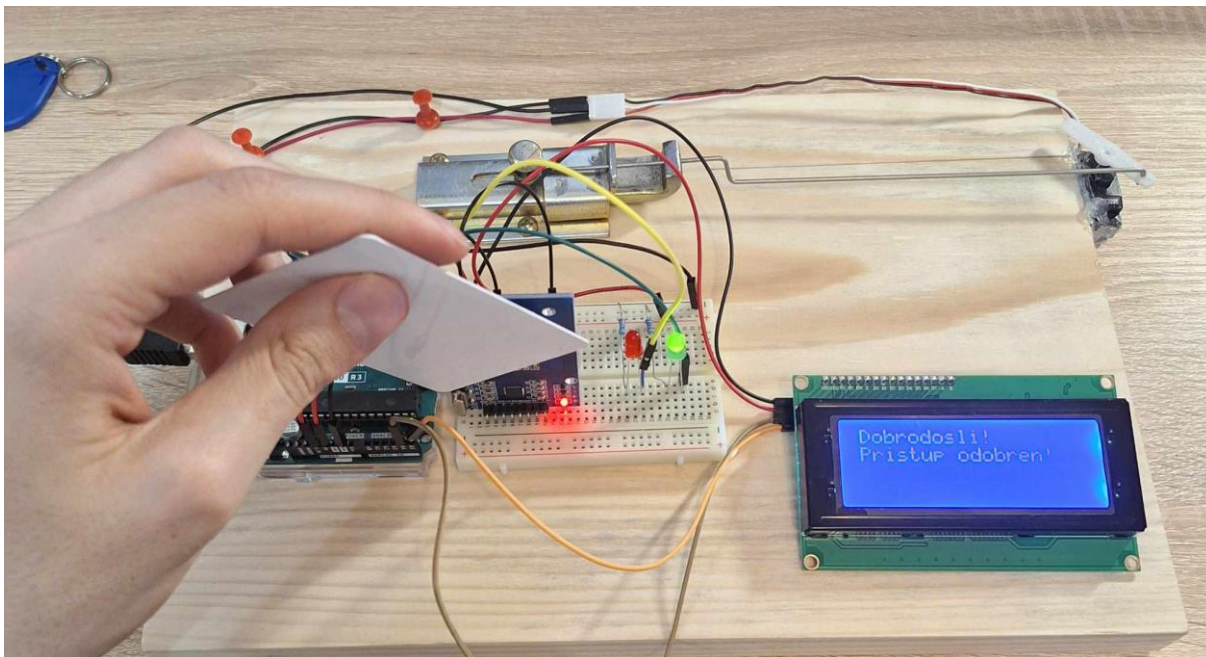
Slika 29. Raspored ostalih komponenti na podlozi
Izvor: Izradio autor (01.07.2024.)

Komponente je potrebno spojiti po već prikazanoj shemi (Slika broj 25). Fizička izvedba spajanja je prikazana na slici 30.



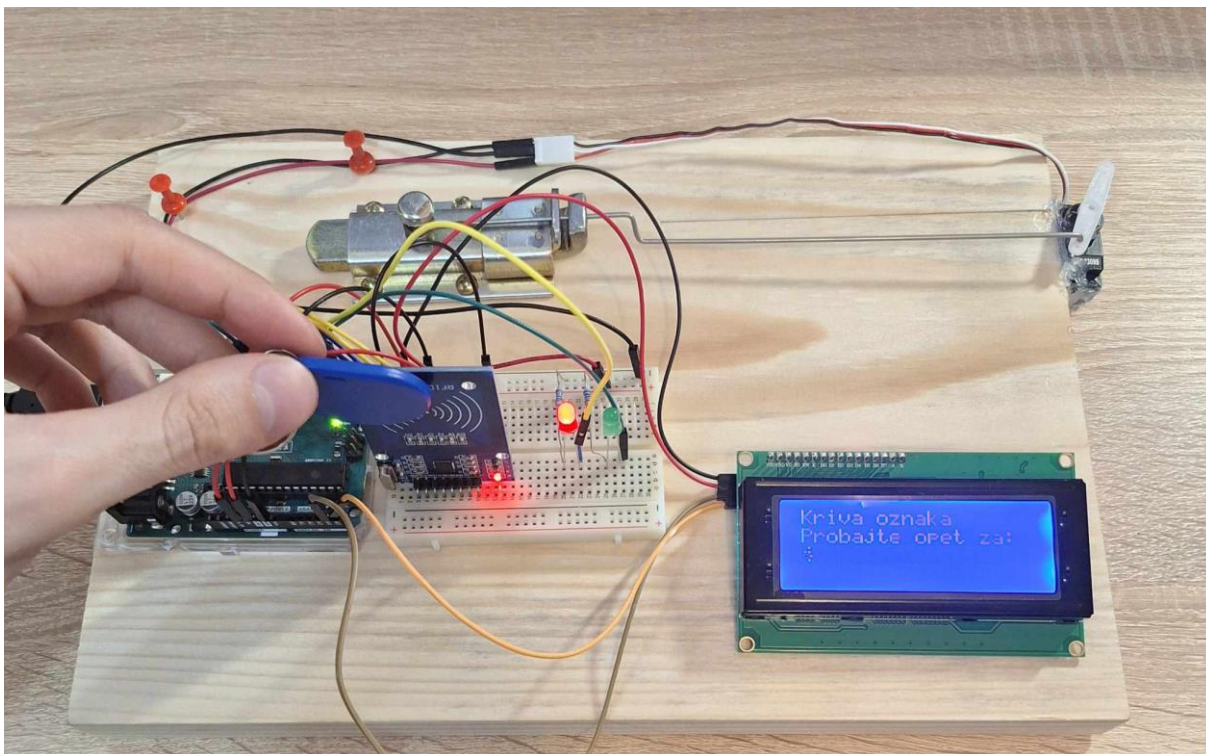
Slika 30. Fizička izvedba spojena
Izvor: Izradio autor (01.07.2024.)

Na slici 31. prikazano je prislanjanje ispravne oznake te odgovor sustava.



Slika 31. Korisnik prislonio ispravnu oznaku
Izvor: Izradio autor (01.07.2024.)

Na slici 32. je prikazano prislanjanje krive oznake i odgovor sustava



Slika 32. Korisnik prislonio krivu oznaku
Izvor: Izradio autor (01.07.2024.)

5 ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je prikazati izradu sustava za kontrolu pristupa uz pomoć korištenja Arduino mikroupravljača i RFID sustava. Temeljem provedenih eksperimenata i analiza može se ustvrditi da je RFID kontrola pristupa sustava sa visokom preciznošću i efikasnošću gdje se takva tehnologija pokazala kao izuzetno učinkovito u prepoznavanju i očitavanju oznaka. Sustav je uspješno prepoznao oznake u realnom vremenu s visokom točnošću.

Arduino platforma zajedno sa RFID čitačem se pokazala kao izvanredan alat za izradu sustava, gdje se zbog jednostavne implementacije omogućilo brzo i učinkovito postavljanje sustava. Kombinacija Arduina i RFID čitača predstavlja i troškovnu efikasnost jer u usporedbi s drugim tehnologijama za automatsko prepoznavanje, nudi povoljnu cijenu uz zadržavanje visoke funkcionalnosti. Iako RFID sustav ima mnoge prednosti, bitno je uzeti u obzir najbitniju stavku ovih sustava – aspekti zaštite i sigurnosti. Implementacija određenih sigurnosni protokola i mjera zaštite podataka ključan je faktor za sprječavanje neovlaštenog pristupa i zloupotrebe podataka.

Sigurnost je jedan od velikih potencijala za daljnji razvoj RFID tehnologija u kombinaciji s Arduino platformom. Osim sigurnosti, tu se još mogu razvijati aspekti poput: smanjivanje potrošnje energije ako se sustav napaja iz izvora sa ograničenom električnom energijom poput baterija, može se poboljšati raspon čitanja ili primjerice integracija s drugim tehnologijama.

Sve u svemu, korištenje RFID tehnologije i Arduina pruža robusno, fleksibilno i ekonomično rješenje za različite autorizacijske potrebe. Kombinacija ovih alata pruža širok spektar mogućnosti za primjenu u raznim industrijskim i/ili svakodnevnim situacijama te tako čini proces autorizacije bržim, pouzdanijim i sigurnijim.

LITERATURA

1. Arduino Uno Rev3, <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3> (21.07.2024.)
2. Microchip ATMEGA328, https://hr.mouser.com/new/microchip/atmelatmega328/?utm_id=231477809&gad_source=1&gclid=CjwKCAjwp4m0BhBAEiwAsdc4aBTYojQILEwUVAgjLmLnKQcK9Q3aQBCuvkUVrBbhNtAjeJKCJBwQRoCNIgQAvD_BwE (21.07.2024)
3. Arduino Documentation, <https://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/digital-pins/> (21.07.2024)
4. Arduino Uno Rev3 SMD, <https://shop.evihttps://docs.arduino.cc/learn/microcontrollers/analog-input/lmadscientist.com/productsmenu/> (21.07.2024)
5. USB 2.0 Cable Type A/B, <https://store.arduino.cc/products/usb-2-0-cable-type-a-b> (21.07.2024)
6. Arduino Integrated Development Environment (IDE), 17.01.2024., <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics/> (21.07.2024)
7. How does a UHF RFID System Work?, <https://www.dipolerfid.com/rfid-blog/How-UHF-RFID-System-Works> (21.07.2024.)
8. RFID (radio frequency identification), <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/RFID-radio-frequency-identification> (21.07.2024.)
9. RFID OEM MODULS, <https://www.impinj.com/products/technology/how-can-rfid-systems-be-categorized> (21.07.2024.)
10. What Is Radio Frequency Identification (RFID)? Meaning, Working, and Use Cases, Vijay Kanade, October 30, 2023, <https://www.spiceworks.com/tech/tech-general/articles/what-is-rfid/> (21.07.2024.)

POPIS SLIKA

Slika 1. Arudino UNO.....	2
Slika 2. DIP izvedba ATmega328P mikroupravljača	4
Slika 3. Surface Mout izvedba ATmega328P mikroupravljač.....	4
Slika 4. Keramički rezonator od 16MHz	5
Slika 5. USB ulazna jedinica Arduino	7
Slika 6. Jedinica za vanjsko napajanje	7
Slika 7. Prikaz Arduino IDE sučelja	9
Slika 8. Valni oblici različitih frekvencija.....	10
Slika 9. Dijelovi RFID oznake	12
Slika 10. RFID čitač.....	13
Slika 11. Primjene RFID tehnologije	16
Slika 12. Kapacitivni senzor.....	19
Slika 13. Servomotor.....	19
Slika 14. . LED diode.....	20
Slika 15. Eksperimentalna pločica	21
Slika 16. Spojna shema kontakata eksperimentalne pločice	22
Slika 17. Spojne žice.....	23
Slika 18. Spojna shema projekta - kapacitivni sustav	24
Slika 19. Kapacitivni senzor (fizička izvedba) – brava zatvorena	26
Slika 20. Kapacitivni senzor (fizička izvedba) – brava otvorena.....	26
Slika 21. Primjer RFID brave.....	27
Slika 22. Arduino RFID čitač i oznake (MFRC5).....	28
Slika 23. Dijelovi RFID Arduino čitača.....	29
Slika 24. LCD I2C zaslon	29
Slika 25. Spojna shema projekta –RFID sustav	31
Slika 26. Potrebni dijelovi za fizičku izvedbu RFID kontrole sustava.....	38
Slika 27. Podloga za komponente RFID sustava	39
Slika 28. Prikaz spajanja servomotora i mehaničke brave	39
Slika 29. Raspored ostalih komponenti na podlozi	40
Slika 30. Fizička izvedba spojena	40
Slika 31. Korisnik prislonio ispravnu oznaku	41
Slika 32. Korisnik prislonio krivu oznaku	41

POPIS TABLICA

Tablica 1. Tehnički podaci SM-S2309S servomotora.....	20
Tablica 2. Tehničke specifikacije spojnih žica.....	22
Tablica 3. Programski kod za kapacitivni senzor.....	25
Tablica 4. RFID programski kod.....	32
Tablica 5. SetUp() funkcija.....	33
Tablica 6. RFID programski kod.....	35
Tablica 7. Access_granted_opening() funkcija.....	36
Tablica 8. Access_granted_closing() funkcija.....	36
Tablica 9. . Access_denied() funkcija.....	37
Tablica 10. Counter() funkcija.....	37
Tablica 11. Wrong_key_access_granted() funkcija.....	38