

Primjena Arduino platforme za mjerenje brzine cestovnih vozila

Miloš, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:068764>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-27**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Josip Miloš

**PRIMJENA ARDUINO PLATFORME ZA MJERENJE
BRZINE CESTOVNIH VOZILA**
ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2020.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 31. ožujka 2020.

Zavod: Zavod za inteligentne transportne sustave
Predmet: **Računalstvo**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5621

Pristupnik: **Josip Miloš (0135251609)**
Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika
Smjer: Inteligentni transportni sustavi

Zadatak: **Primjena Arduino platforme za mjerenje brzine cestovnih vozila**

Opis zadatka:

Obzirom na kompleksnost i skupoću sustava za mjerenje i nadzor brzine cestovnih vozila koji se danas koriste, ispitati će se mogućnost uporabe sustava temeljenog na financijski dostupnoj razvojnoj platformi Arduino i pripadnih osjetila u svrhu mjerenja brzine cestovnih vozila. Odrediti će se i prikazati točnost i pouzdanost sustava u usporedbi sa certificiranim radarskim sustavom, a sa ciljem prikupljanja i daljnje analize izmjerenih podataka.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Dino Čakija, dipl.ing.el.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVRŠNI RAD

**PRIMJENA ARDUINO PLATFORME ZA MJERENJE
BRZINE CESTOVNIH VOZILA**

**APPLICATION OF ARDUINO PLATFORM FOR
MEASURING THE ROAD VEHICLES SPEED**

Student: Josip Miloš

Mentor: Dino Čakija, dipl. ing. el.

JMBAG: 0135251609

Zagreb, 2020.

SAŽETAK

PRIMJENA ARDUINO PLATFORME ZA MJERENJE BRZINE CESTOVNIH VOZILA

Unutar ovog rada navedeni su i objašnjeni sustavi nadzora vozila i najčešće primijenjeni sustavi za mjerenje brzine. Prikazan je način izrade elektroničkog sklopa za mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom Arduino platforme. Primjenom LIDAR-Lite v3HP i MicroSD Transflash Breakout modula prikupili su se podaci vozila u gibanju. Prikupljeni podaci su obrađeni te je pokazano kako osjetilo LIDAR Lite-v3hp nije dovoljno pouzdano za mjerenje brzine cestovnih vozila.

Ključne riječi: Sustavi detekcije vozila, mjerenje brzine, Arduino platforma, LIDAR-Lite v3HP, MicroSD Transflash Breakout, prikupljanje podataka.

SUMMARY

APPLICATION OF ARDUINO PLATFORM FOR MEASURING THE ROAD VEHICLES SPEED

In this thesis, the most frequently used systems for road vehicles detection and speed measurement are listed and explained. A method of making an electronic circuit for measuring road vehicle speed using the Arduino platform is shown. LIDAR-Lite v3HP sensor and MicroSD Transflash Breakout module were used for collecting data of moving vehicle. Collected data were further processed and it has been shown that LIDAR-Lite v3HP sensor is not reliable enough for measuring the speed of road vehicles.

Key words: Road Vehicles detection systems, speed measurement, Arduino platform, LIDAR-Lite v3HP, MicroSD Transflash Breakout, data collecting.

Sadržaj

1	UVOD.....	1
2	SUSTAVI NADZORA VOZILA U CESTOVNOM PROMETU	3
2.1	Induktivne petlje.....	3
2.2	Radarski sustavi.....	4
2.2.1	Mikrovalni radarski sustavi.....	5
2.2.2	Ultrazvučni radarski sustavi.....	5
2.3	Infracrveni sustavi	6
2.3.1	Aktivni infracrveni sustavi.....	6
2.3.2	Pasivni infracrveni sustavi	7
2.4	Akustični sustavi	8
2.5	Magnetski sustavi.....	9
2.6	Sustavi video detekcije.....	10
3	MJERENJE BRZINE CESTOVNIH VOZILA.....	11
3.1	Mjerenje brzine primjenom radar tehnologije.....	12
3.1.1	Prijenosni radarski sustavi	12
3.1.2	Stacionirani foto radar.....	13
3.2	Mjerenje brzine primjenom LIDAR tehnologije.....	14
4	RAZVOJNA PLATFORMA ARDUINO	16
4.1	Arduino UNO razvojna pločica.....	17
4.2	Arduino UNO programska podrška	18
5	MJERENJE BRZINE CESTOVNIH VOZILA PRIMJENOM RAZVOJNE PLATFORME ARDUINO.....	20
5.1	Mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom osjetila prisutnosti	20
5.1.1	Arduino sklopovska podrška sustava mjerenja primjenom osjetila prisutnosti.....	21
5.1.2	Arduino programska podrška sustava mjerenja primjenom osjetila prisutnosti.....	21
5.2	Mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom LIDAR osjetila.....	24
5.2.1	Arduino sklopovska podrška sustava mjerenja primjenom LIDAR osjetila	25
5.2.2	Arduino programska podrška sustava mjerenja primjenom LIDAR osjetila.....	28
6	REZULTATI MJERENJA	32

6.1	Mjerenje brzine prilazećeg vozila	33
6.2	Mjerenje brzine udaljavajućeg vozila	35
6.3	Lateralno mjerenje brzine vozila na osnovu poznavanja duljine vozila.	37
7	ZAKLJUČAK.....	39
	POPIS LITERATURE	41
	POPIS ILUSTRACIJA	45
	POPIS PRILOGA	47

1 UVOD

Svakodnevnim rastom i razvojem prometne industrije javljaju se sve veći problemi nadzora i upravljanja prometom. Kako bi se postigla maksimalna sigurnost i korisnost prometa razvijeni su različiti sustavi detekcije vozila, prepoznavanja vozila i sustavi mjerenja brzine vozila.

Sustavi detekcije vozila i sustavi prepoznavanja vozila imaju važnu ulogu u svakodnevnom životu. Takovi sustavi mogu se pronaći na semaforiziranim raskrižjima, brzim cestama, naplatnim kućicama itd. Prikupljanjem podatka pomoću ovakvih sustava omogućeno je predviđanje prometa, definiranje signalnih planova i druge mogućnosti koje su uvelike pomogle u nadzoru i upravljanju prometom.

Sustavi mjerenja brzine jedni su od najvažnijih sustava koji se primjenjuju za upravljanje ograničenja brzine cestovnog prometa. Danas najuvrženiji sustavi su sustavi zasnovani na primjeni induktivnih petlji, sustavi zasnovani na svjetlosnom zamjećivanju i klasifikaciji (engl. *Light Detection and Ranging – LIDAR*) i radar sustavi, a video kamere se sve više uvode. Rad radarskih sustava zasniva se na Dopplerovom efektu odnosno mjerenju razlike između odaslanog vala i reflektiranog vala. LIDAR sustavi za razliku od radar sustava pamte vrijeme potrebno svjetlosnom signalnu da dođe do promatranog objekta te se reflektira i vrati nazad u početnu točku. Izmjereno vrijeme množi se s brzinom svjetlosti te se dobije udaljenost od gledanog objekta. Učestalim mjerenjem udaljenosti moguće je izračunati pomak gibajućeg vozila u jedinici vremena odnosno brzinu vozila.

Cilj ovog rada je izraditi jeftino rješenje za mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom Arduino platforme i ispitati njegovu točnost i pouzdanost. Arduino predstavlja platformu otvorenog kôda zasnovanu na primjeni lako korištene programske i sklopovske potpore u svrhu programiranja i upravljanja mikroupravljačem. Arduino svojom dostupnošću i osobinama pruža niz mogućnosti u unapređenju postojećih i razvoju novih sustava koji bi uvelike doprinijeli nadzoru i upravljanju prometom. Rad je podijeljen na sedam poglavlja:

1. Uvod;
2. Sustavi nadzora vozila u cestovnom prometu;
3. Mjerenje brzine cestovnih vozila;
4. Razvojna platforma Arduino;
5. Mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom razvojne platforme Arduino;
6. Rezultati mjerenja;
7. Zaključak.

U prvom poglavlju definiran je problem istraživanja. Ukratko je opisana primjena sustava detekcije i prepoznavanja cestovnih vozila i sustava za mjerenje brzine. Određena je svrha i ciljevi

mjerenja brzine cestovnih vozila primjenom Arduino platforme. U drugom poglavlju navedeni su sustavi nadzora cestovnih vozila. Svakom sustavu pojedinačno je ukratko opisan osnovni princip rada te su dane njegove značajke. U trećem poglavlju navedeni su najčešće korišteni radar i LIDAR sustavi. Navedene su njihove inačice te opisan njihov način rada. Nadalje su opisane njihove značajke. U četvrtom poglavlju detaljno je opisana Arduino platforma. Navedene su dosadašnje inačice platforme i razlike među njima. Opisana je Arduino pločica i Arduino programska podrška. U petom poglavlju navedena je programska i sklopovska podrška razvijenog rješenja. Navedena su korištena osjetila i njihove značajke. Objasnjeni su najvažniji dijelovi programske podrške. U šestom poglavlju navedena je usporedba rezultata mjerenja primjenom Arduino platforme i rezultati mjerenja certificiranim radarom. Navedene su relativne pogreške prilikom mjerenja. U posljednjem poglavlju dan je zaključak rada na osnovu dobivenih rezultata mjerenja.

2 SUSTAVI NADZORA VOZILA U CESTOVNOM PROMETU

Pojmom cestovnog prometnog sustava opisujemo složen sustav pri kojemu različiti prometni entiteti (pješaci, osobna vozila, javni gradski prijevoz itd.) međusobno djeluju prilikom korištenja zajedničke infrastrukture. Zbog ograničenja infrastrukture i sve većeg broja vozila, upravljanje i kontrola prometa vozila svakim danom postaje sve složeniji zadatak koji zahtijeva primjenu složenih algoritama koji koriste precizne povijesne i stvarno-vremenske podatke [1].

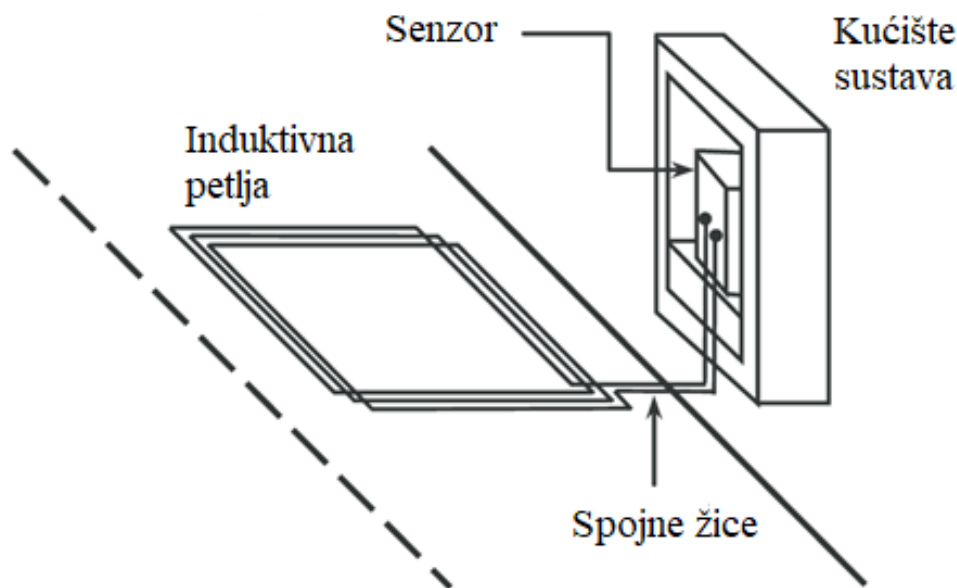
Takovi podaci pomažu u:

- smanjenju vremena putovanja;
- smanjenju emisiji štetnih plinova;
- smanjenju prometnih nesreća;
- povećanju učinkovitosti kontrole prometa;
- predviđanju prometnih zagušenja.

Točne podatke o stanju cestovnog prometa najčešće mogu pružiti sustavi za nadzor vozila koji su uobičajeno integrirani s cestovnom infrastrukturom. Sustavi za nadzor vozila u cestovnom prometu na određenim područjima omogućuju otkrivanje i razvrstavanje vozila prema klasi primjenjujući pripadajuća osjetila. Jedan od glavni nedostataka rješenja integriranih u infrastrukturu je mala fleksibilnost i značajni troškovi održavanja. Svakodnevnim razvojem tehnologije počinju se razmatrati primjene novih tehnologija u nadzoru prometa (bežična osjetila). Primjena novih osjetila doprinijeti će lakšoj implementaciji i konfiguraciji sustava [1].

2.1 Induktivne petlje

Induktivne petlje (slika 2.1-1), uz mikrovalne radarske detektore, trenutno su najčešće korišteni sustavi za otkrivanje vozila. Najčešća primjena sustava induktivnih petlji pronalazi se na raskrižjima uz već postojeće sustave upravljanja prometnim signalnom i na autocestama za potrebe praćenja prometa i otkrivanje prometnih nesreća. Induktivne petlje obično imaju oblik jednog ili više zavoja izoliranih žica ugrađenih u kolnik. Petlja je spojena pomoću ulaznog kabela na detektorsku jedinicu koja otkriva promjene u induktivnosti petlje odnosno promjene u magnetskom polju osjetila prilikom prelaska vozila. Induktivne petlje mogu se koristiti za otkrivanje prisutnosti ili prolaska vozila. Također se mogu koristiti za mjerenje brzine vozila te razvrstavanje tipova vozila [2].



Slika 2.1-1. Induktivna petlja.
Izvor: [3]

Glavni nedostatak induktivnih petlji jest njihova pouzdanost. Budući da su induktivne petlje izložene prometnim opterećenjima učestalo dolazi do njihova kvara. Implementacija sustava induktivnih petlji i njihovo održavanje zahtijevaju zatvaranje prometnice te modifikaciju kolnika [2].

2.2 Radarski sustavi

U cestovnom prometu radarska tehnologija posjeduje široku primjenu. Radarski sustavi predodređeni su za nadzor prometa, te su se pokazali kao izvanredno tehnološko rješenje u prometnom sektoru. Jednostavan primjer primjene radarske tehnologije jest primjena policijskog detektora brzine, međutim, radarska tehnologija koristi se i za složenije zahtjeve poput procjene količine prometa i statistike za upravljanje raskrižjem [4].

U ovom radu obradit će se dvije vrste radarskih sustava:

- mikrovalni radarski sustavi;
- ultrazvučni radarski sustavi.

2.2.1 Mikrovalni radarski sustavi

Mikrovalni radarski sustavi primjeri su sustava čija implementacija i održavanje ne zahtijevaju zatvaranje prometnice ili izmjenu kolnika (slika 2.2-1). Mikrovalni detektori najčešće se postavljaju na konstrukcijama iznad ili uz cestu. Ovisno o vrsti elektromagnetskog vala koji se koristi, mikrovalni radarski detektori mogu mjeriti prisustvo vozila ili brzinu vozila, a često se koriste i za otkrivanje pješaka koji čekaju na pješačkim prijelazima. Glavna prednost mikrovalnih radarskih detektora jest sposobnost djelovanja u svim vremenskim uvjetima. Izuzeci mogu biti ekstremno vrijeme poput pješčanih oluja [2].



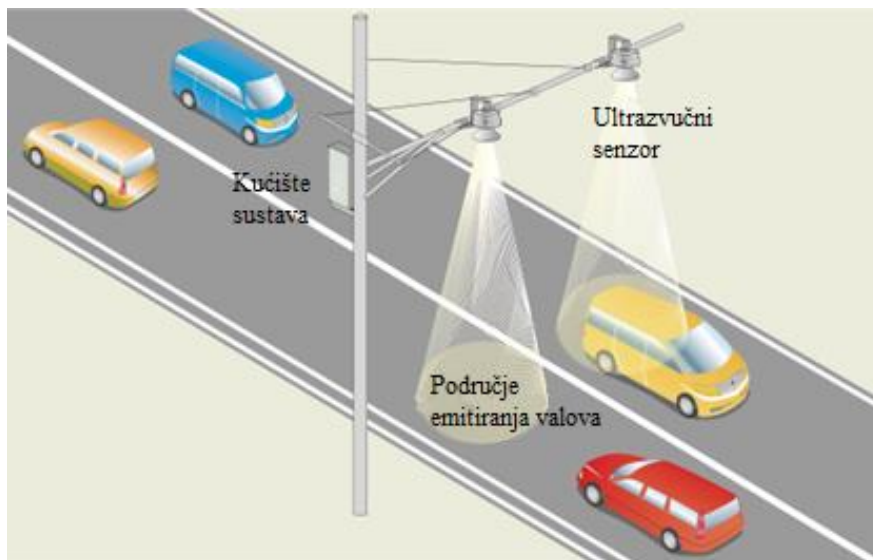
Slika 2.2-1. Mikrovalni radarski detektor, [5]

Uzimajući u obzir da su mikrovalni radarski sustavi ugrađeni iznad kolničke ploče, smetnje poput leda im ne mogu naškoditi. Testiranjem sustava pokazalo se da mikrovalna osjetila pravilno funkcioniraju u uvjetima kiše, magle, snijega i vjetra. Glavni nedostatak ovakvih uređaja je u tome što ih mogu zasjeniti visoka vozila s jedne strane što uzrokuje smanjenje točnosti. Ovakvi problemi se pojavljuju kada su sustavi implementirani na bočnoj strani kolnika [2].

2.2.2 Ultrazvučni radarski sustavi

Rad ultrazvučnih sustava detekcije vozila zasniva se na sličnom principu kao i kod mikrovalnih radarskih sustava. Detekcija vozila obavlja se pomoću refleksije ultrazvučnih valova koje prenose ultrazvučni odašiljači i prijamnici instalirani neposredno iznad ceste (slika 2.2-2) [6]. Točnost mjerenja određena je udaljenošću mjerenog objekta i nagibu površine. Ultrazvučna osjetila prikladna su za ciljni razmak od 20 mm do 10 m. Uzmemo li utjecaj nagiba već prilikom

nagiba od 12 % valovi osjetila se odbijaju te osjetilo neće odgovoriti [7]. Sustavi svojim aktivnim odašiljanjem tlačnih valova, na frekvencijama iznad raspona ljudskog sluha, mogu izmjeriti volumen prometa, zauzeće kolnika, brzinu prometa i mogu klasificirat vozila prema skupinama [2].



Slika 2.2-2. Sustav detekcije primjenom ultrazvučnih osjetila.
Izvor: [6]

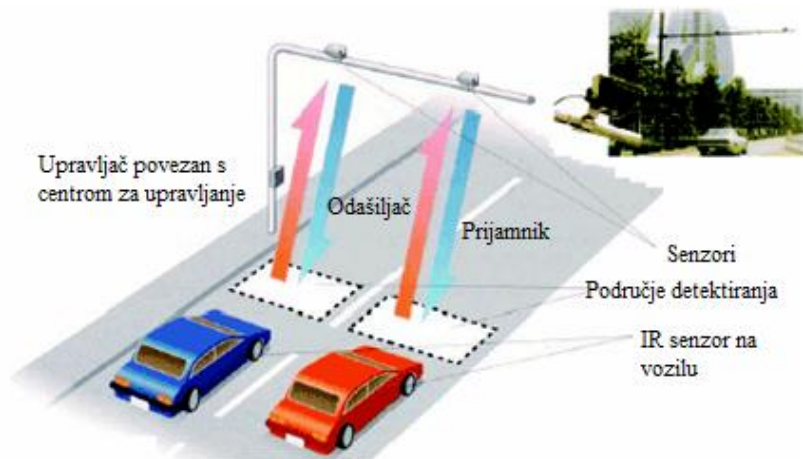
2.3 Infracrveni sustavi

Infracrveni sustavi pronašli su široku primjenu u cestovnom prometu, ali se najčešće primjenjuju za detekciju vozila i njegove brzine [8]. Sustavi se implementiraju na konstrukcije koje se nalaze iznad prometnice ili pored prometnice. Prema načinu rada infracrveni sustavi se dijele na aktivne i pasivne [9].

2.3.1 Aktivni infracrveni sustavi

Rad aktivnih infracrvenih sustava zasniva se na osvjetljavanju zone detektiranja vozila infracrvenom energijom male snage koju emitira laserska dioda (slika 2.3-1) [7]. Prilikom emitiranja sustav mjeri vrijeme potrebno reflektiranom signalu da se vrati do uređaja. U trenutku prolaska vozila kroz osvjetljenu zonu detektiranja, vrijeme potrebno signalu da se vrati je skraćeno.

Glavni nedostatak aktivnih infracrvenih sustava je rad u otežanim vremenskim uvjetima. Prilikom ekstremnih vremenskih uvjeta signal se zbog kratke valne duljine ne može reflektirati [8].



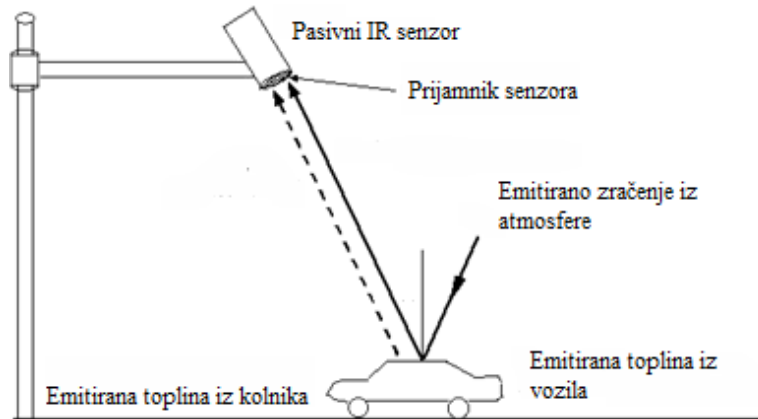
Slika 2.3-1. Aktivno infracrveno osjetilo.
Izvor: [9]

2.3.2 Pasivni infracrveni sustavi

Pasivni infracrveni sustavi za razliku od aktivnih sustava zasnivaju svoj rad na detektiranju energija iz dva izvora (slika 2.3-2) [9]:

- energija emitirana iz vozila, cestovnih površina i drugih osjetilu vidljivih objekata;
- energija emitirana iz atmosfere koja se odbija od površinu vozila, ceste ili drugih osjetilu vidljivih objekata.

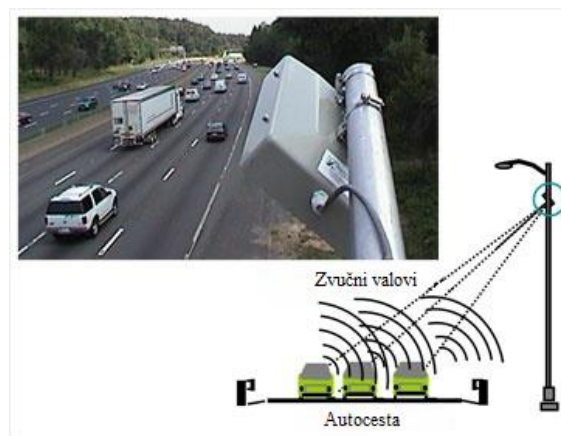
Pasivni infracrveni sustavi koji se koriste u upravljanju prometom najčešće sadrže jedan ili nekoliko energetski osjetljivih elemenata koji uspoređuju energiju na određenom području [9].



Slika 2.3-2. Princip rada pasivnog infracrvenog osjetila.
Izvor: [7]

2.4 Akustični sustavi

Prilikom vožnje unutar i izvan vozila stvaraju se zvukovi iz različitih izvora. Korištenjem sustava mikrofona, akustična osjetila su dizajnirani tako da uhvate zvukove iz određenog područja unutar prometne trake na kolniku (slika 2.4-1). Prilikom prolaska vozila kroz detekcijsku zonu, algoritam obrade signala otkriva porast zvučne energije te sustav generira signal prisutnosti vozila. Prilikom napuštanja detekcijske zone, zvučna energija opada ispod praga detekcije i signal prisutnosti vozila završava. Akustična osjetila pronašli su primjenu u mjerenju brzine, volumena, zauzeća prometnice i prisutnosti vozila. Prednost ovakvih osjetila je u tome što mogu raditi u svim uvjetima osvjetljena te svim vremenskim uvjetima [2].



Slika 2.4-1. Akustični sustav detekcije vozila.
Izvor: [10]

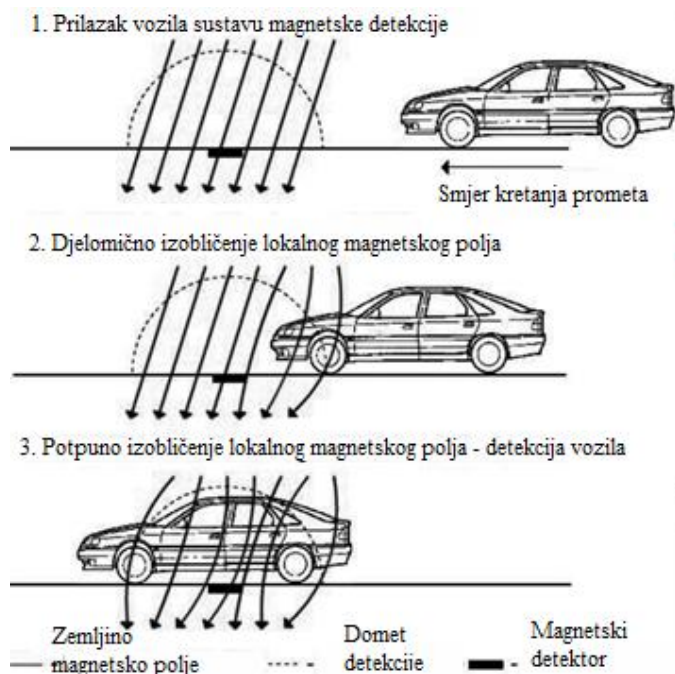
2.5 Magnetski sustavi

Rad magnetskih sustava zasniva se na mjerenju promjena nastalih unutar zemljinog magnetskog polja (slika 2.5-1). Prilikom prolaska vozila kroz mjerenu zonu sustav zapisuje promjene u lokalnom magnetskom polju te ih uspoređuje s referentnim vrijednostima. Ukoliko sustav pronade velika odstupanja od referentnih vrijednosti zaključuje kako se radi o prisustvu vozila.

Magnetski sustavi se općenito dijele na [2]:

- mikro petlje koje su ugrađene u kolnik na sličan način kao i induktivne petlje;
- bežični magnetski sustavi.

Mikro petlje isto kao i induktivne petlje zahtijevaju zatvaranje prometnica i izmjenu kolnika s posljedičnim kašnjenjem prometa [2].

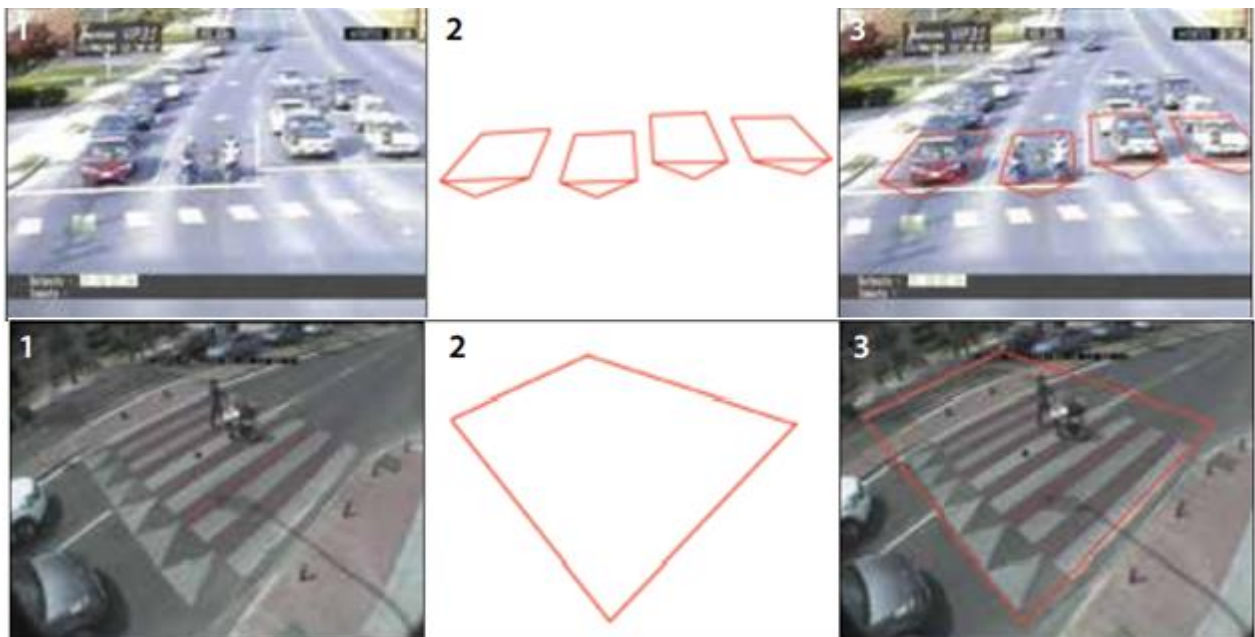


Slika 2.5-1. Magnetskog sustava detekcije vozila.
Izvor: [11]

Posljednjih godina upotreba bežičnih magnetskih sustava izazvala je sve veći interes zbog napretka u tehnologiji baterija koje jedinici omogućuju bežično funkcioniranje u razdoblju od 10 godina prije nego što je potrebna zamjena [2].

2.6 Sustavi video detekcije

Sustavi video detekcije svoju primjenu pronašli su u različitim segmentima prometa i transporta. Glavna primjena sustava video detekcije jest u nadzoru pješaka, motorista, osobnih vozila u urbanim sredinama, otkrivanju prometnih nesreća na autocestama i tunelima ili za prikupljanje prometnih podataka. Prilikom prolaska vozila ili pješaka kroz detekcijsku zonu (slika 2.6-1), vrijednost piksela unutar gledane zone se mijenja. Na osnovu razlike u pikselima aktivira se detekcija vozila od strane sustava. Algoritmi unutar sustava video detekcije generiraju različite podatke o prisutnosti i incidentima, podatke za statističku obradu te podatke za analizu prije i poslije incidenta. Prilikom prometnih nesreća sustav ima mogućnosti komunikacije s ostalim prometnim uređajima kao što su semafori te može poslati podatke centru za upravljanje tako da osoblje može imati uvid u nastali incident [12].



Slika 2.6-1. Detekcijske zone sustava video detekcije, [12]

Glavna prednost ovakvih sustava je u laganoj implementaciji koja ne zahtijeva radove na cesti, odnosno prilikom održavanja sustava nema potrebe za rušenjem prometnice i zaustavljanja prometnog toka [13].

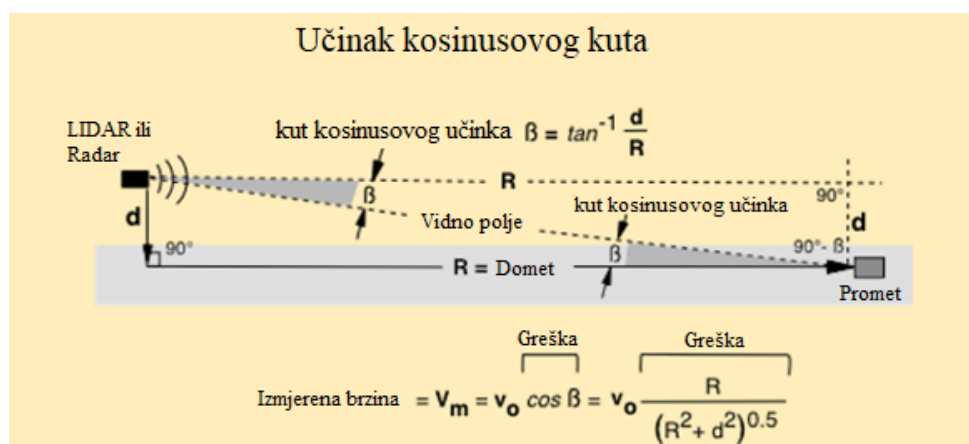
3 MJERENJE BRZINE CESTOVNIH VOZILA

Današnje mjerenje brzine vozila postiže se korištenjem različitih sustava. Cilj mjerenja brzine jest postizanje sigurnosti u prometu i omogućavanje otkrivanja različitih tehnologija koje bi olakšale svakodnevno kretanje prometnom mrežom [14].

Sustavi koji se koriste u svakodnevnoj primjeni su sustavi zasnovani na [15]:

- radar tehnologiji;
- LIDAR tehnologiji;
- primjeni induktivnih petlji;
- računanju prosječne brzine.

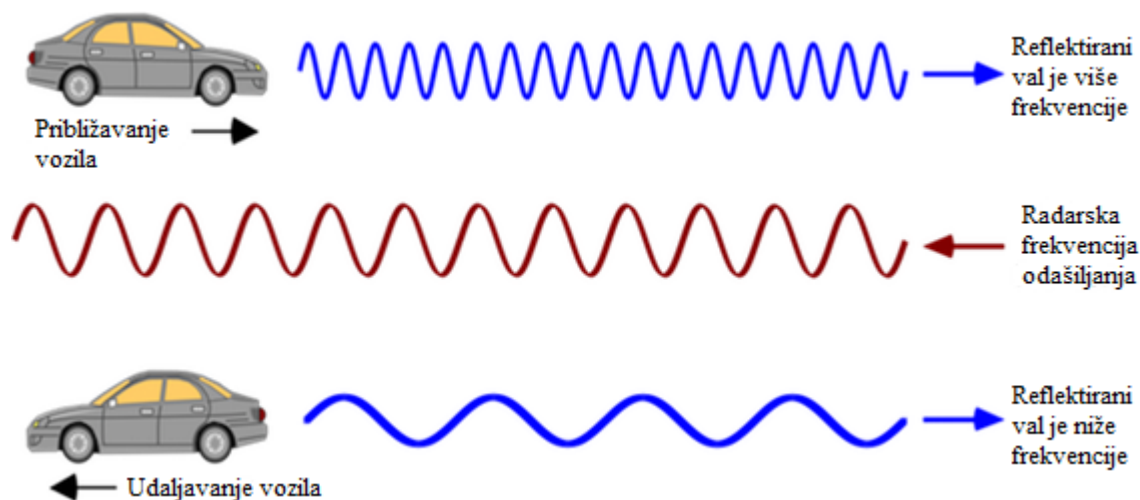
U ovom radu obradit će se najčešće primjenjivi sustavi a to su sustavi zasnovani na radar tehnologiji i LIDAR tehnologiji. Radarski i LIDAR sustavi mjere relativnu brzinu kojom se vozilo približava ili udaljava od sustava. Putuje li vozilo izravno sustavima, relativna brzina postaje stvarna brzina, Ali ako vozilo ne putuje izravno, relativna brzina je niža od stvarne brzine. Takva pojava naziva se kosinusov učinak (engl. *Cosine Effect*). Razlog tomu je što je izmjerena brzina izravno povezana s kosinusom kuta između sustava i smjera kretanja vozila ili vektora brzine. Što je kut veći, pogreška mjerenja je veća te izmjerena brzina postaje manja (slika 2.6-1). Funkcija kosinusa uvijek je između 0 i 1. Kosinus od 0 stupnjeva iznosi 1 odnosno izmjerena brzina je stvarna brzina. Kosinus od 90 stupnjeva je 0 odnosno izmjerena brzina je nula. Što je kut bliži 0 stupnjeva, mjerenje sustava je točnije [16].



Slika 2.6-1. Kosinusov učinak kod sustava mjerenja brzine cestovnih vozila.
Izvor: [16].

3.1 Mjerenje brzine primjenom radar tehnologije

Radarski sustavi za mjerenje brzine rade na principu emitiranja signala radio vala te detekcije reflektiranog signala od objekta iz okoline (slika 3.1-1). Ovakvi sustavi koriste umjetne impulse radio energije za mapiranje udaljenosti na osnovu duljine vremena koje je potrebno da se impuls vrati nazad u izvor. Kada signal dođe u kontakt s vozilom u pokretu, frekvencija emitiranog vala će se mijenjati u skladu s brzinom kojom vozilo putuje [15].



Slika 3.1-1. Princip rada radarskih sustava.
Izvor: [17]

U ovom radu obradit će se dva najčešća sustava koja primjenjuju radar tehnologiju za mjerenje brzine, a to su prijenosni radarski sustavi i stacionirani foto radar.

3.1.1 Prijenosni radarski sustavi

Mjerenje brzine pomoću prijenosnog radarskog sustava jedan je od najrasprostranjenijih sustava za mjerenje brzine kretanja vozila koji dolazi u stacionarnom i pokretnom izdanju i zasniva se na primjeni Dopplerovog efekta. Prijenosni sustav (slika 3.1-2) usmjeri se prema vozilu koje se kreće te se mjeri frekvencija reflektirajućeg vala. Ako se frekvencija reflektirajućeg vala poveća, vozilo se giba prema mjernom mjestu, a ako se frekvencija smanji, vozilo se giba od mjernog mjesta [13]. Točnost mjerenja kao i kod svih ostalih mehaničkih uređaja opada s vremenom i zbog tog razloga uređaji moraju biti redovito održavani [15].



Slika 3.1-2. Prijenosni radarski sustav, [18]

3.1.2 Stacionirani foto radar

Princip rada stacioniranog foto radara isti je kao i kod prijenosnog radarskog sustava odnosno zasniva se na Dopplerovom efektu. Glavna razlika između prijenosnog radarskog sustava i stacioniranog foto radara je u tome što stacionirani foto radar unutar svog sustava ima ugrađenu kameru za bilježenje fotografija (slika 3.1-3). Ukoliko se vozilo kreće brzinom većom od ograničene, sustav uključuje alarm i fotografira vozilo. U uvjetima otežane vidljivosti sustav aktivira bljeskalicu koja obasjava registracijske tablice te ih bilježi fotografijom. Sustav se najčešće montira na konstrukcije pored ili iznad promatrane prometnice [19].



Slika 3.1-3. Stacionirani foto radar, [20]

Primjenom certificiranog stacioniranog radara Sierzega GR32 omogućena je provjera točnosti Arduino sustava mjerenja. Sierzega GR32 aktivno obavještava sudionike prometa o brzini vožnje. Integriranim bilježenjem podataka i uz isporučenu programsku podršku pruža mogućnost detaljne analize prometnih podataka [21].

Značajke GR32 radara:

- Napajanje: 12 V;
- Potrošnja električne energije: maksimalno 1,5 A;
- Radna temperatura: -20° C do 60° C.

Radar modul:

- Mikrovalno osjetilo: 24,125 GHz / 5 mW (Doppler-Radar) Područje mjerenja: 3-255 km/h;
- Domet: osobni automobil cca. 80 m, kamion otprilike 120 m;
- Preciznost mjerenja: Brzina: +/- 3%;
- Preciznost brojanja uz dobro podešavanje: +/- 20%.

Pohrana:

- Memorija: mogućnost spremanja 208.895 zapisa.

Zaslon:

- Kut čitanja: približno 160°;
- Veličina brojeva: 30 cm;
- Maksimalna vrijednost prikazivanja: 199 km/h;
- Ciklus prikaza: približno 0,5 s.

3.2 Mjerenje brzine primjenom LIDAR tehnologije

Princip rada LIDAR uređaja zasniva se na mjerenju udaljenosti promatranog objekta od uređaja za mjerenje (slika 3.2-1). LIDAR uređaji pamte vrijeme potrebno infracrvenom svjetlu da dođe do promatranog objekta te se reflektira i vrati nazad u početnu točku. Izmjereno vrijeme množi se s brzinom svjetlosti te se dobije udaljenost od gledanog objekta. Glavna razlika ovakvih sustava u odnosu na radarske sustave jest u tome što LIDAR sustavi ne emitiraju impulse radio energije te mjere promjenu frekvencije već odašilju veliki broj infracrvenih signala u kratkom vremenu te mjere promjenu udaljenosti. Uspoređujući dobivene različite uzorke udaljenosti sustav može izračunati brzinu promatranog vozila. LIDAR sustavi mogu emitirati nekoliko stotina uzoraka u vremenu manjem od pola sekunde te su izuzetno precizni [22].



Slika 3.2-1. LIDAR sustav za mjerenje brzine cestovnih vozila, [23]

Svjetlosne signalne zrake emitirane LIDAR sustavom u odnosu na radio valove emitirane radarskim sustavima imaju daleko manje raspršenje s udaljenošću što im omogućuje prednost nad radarskim sustavima. LIDAR sustavi isto kao i radar sustavi zahtijevaju često servisiranje te provjeru u svrhu pravilnog rada [15].

4 RAZVOJNA PLATFORMA ARDUINO

Arduino je platforma otvorenog kôda zasnovana na primjeni lako korištenog hardvera i softvera u svrhu programiranja i upravljanja mikroupravljačem. Arduino razvojna platforma omogućuje: primanje i obradu ulaznih podataka putem osjetila, komunikaciju među uređajima (engl. *Machine to Machine Communication*), upravljanje lokalnim sustavima i razmjenu podataka putem interneta. Mogućnosti obavljanja funkcija ovise o vrsti i specifikacijama Arduino platforme. Razvijene su različite Arduino platforme, a glavna razlika među njima jest procesorska snaga, dostupna memorija Arduino platforme i slične specifikacije. Osnovne inačice Arduino platforme su: Arduino UNO, Arduino 101 i Arduino PRO. Uz osnovne inačice Arduino platformi, razvijene su i poboljšane inačice (Arduino DUE, Arduino MEGA) koje uz osnovne funkcije sadrže i dodatne funkcionalnosti poput dodatnih LED dioda, dodatnih serijskih ulaza i dodatnih analognih pinova. Uz navedene osnovne i poboljšane inačice također je razvijena jedinstvena verzija platforme koja se koristi za 3D ispis, Materija 101. Osim navedenih inačica, razvojna platforma Arduino sadrži različite sklopovske module koje služe za unapređenje osnovne platforme, a nazivaju se Arduino štit (engl. *Shield*). Arduino štit se koristi za proširivanje funkcionalnosti platforme u vidu mogućnosti internetske veze, Ethernet ili GSM komunikacije te ostalih sličnih mogućnost [24].

Prednosti Arduino platforme [25]:

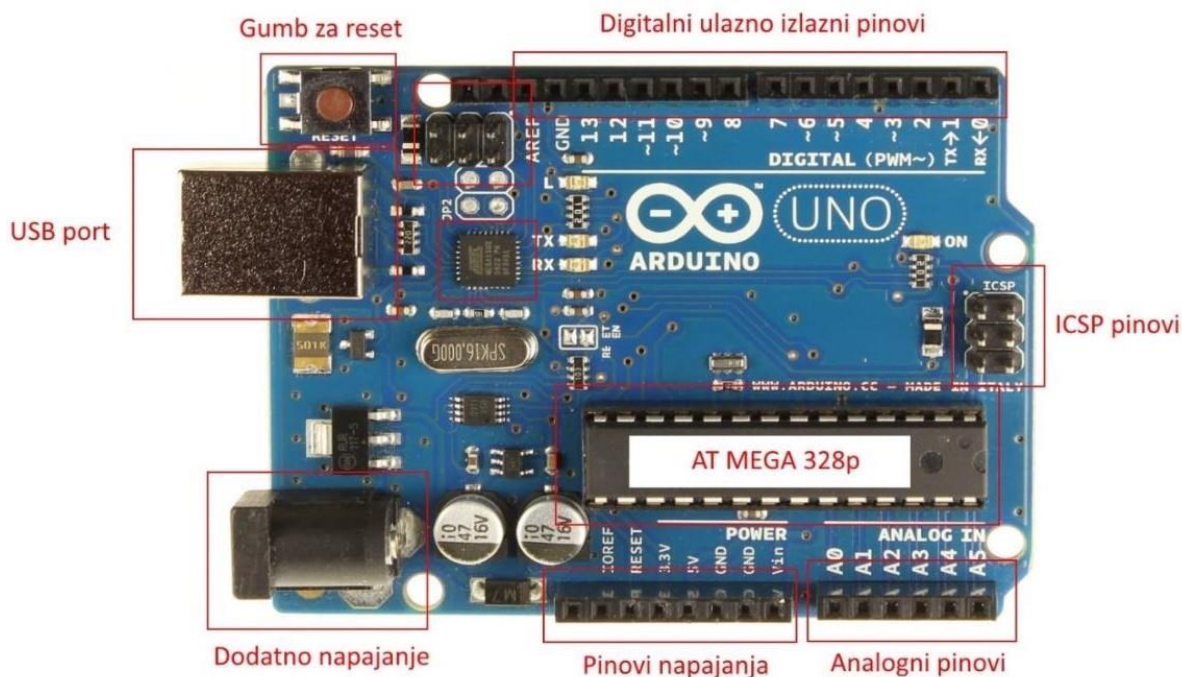
- Mala cijena – Arduino ploče su relativno jeftine u odnosu na druge platforme mikroupravljača;
- Cross – Platform – mogućnost korištenja Arduino platforme na Windows, Macintosh, OSX i Linux operacijskih sustavima. Većina sustava ograničena je na Windows operacijski sustav;
- Jednostavnost te jasno programsko okruženje – Arduino softver jednostavan je za početnike, a opet dovoljno fleksibilan za napredne korisnike;
- Otvorena i proširiva programska podrška – Arduino programska podrška objavljena je kao alat s otvorenim kôdom, dostupan za proširenja iskusnim programerima. Softver ima mogućnost proširenja na C++ knjižnice te AVR C;
- Otvorena i proširiva sklopovska podrška – postoji mogućnost proširenja te izgradnje vlastitih verzija modula;
- Stjecanje konkurentnosti u području znanosti i tehnologije (engl. *Science, technology, engineering, and mathematics – STEM*).

Razvojna platforma Arduino sastoji se od Arduino UNO razvojne pločice (engl. *Board*) i programskog razvojnog okruženja (engl. *Integrated Development Environment*).

4.1 Arduino UNO razvojna pločica

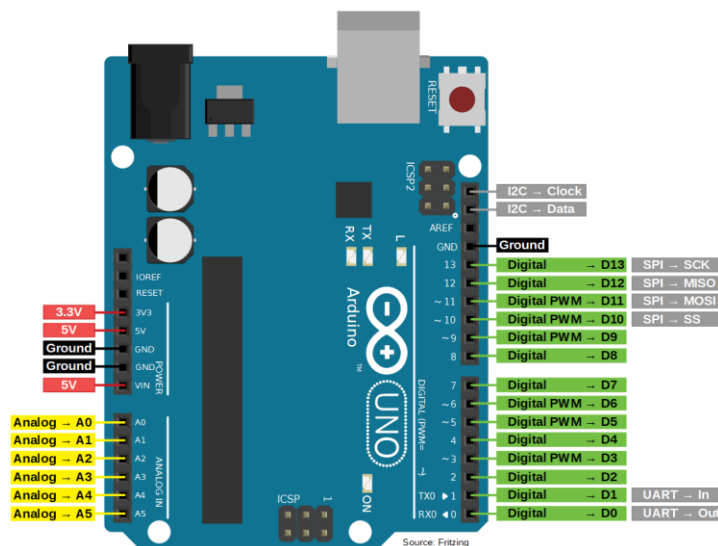
Prema slici 4.1-1 glavni dijelovi Arduino razvojne pločice (engl. *board*) su [24]:

- Mikroupravljač – omogućuje obradu signala sa analognih i digitalnih pinova;
- USB priključak koji omogućuje povezivanje pločice s računalom – omogućuje komunikaciju s računalom, programiranje i napajanje mikroupravljača;
- Dodatni priključak za napajanje – namijenjen za napajanje u slučaju kada USB priključak nije dovoljan za napajanje;
- Analogni pinovi – pinovi namijenjeni obradi signala u analognom obliku;
- Digitalni pinovi – ulazno/izlazni pinovi koji služe za rad s digitalnim ulaznim i izlaznim signalima;
- Pinovi namijenjeni za programiranje mikroupravljača (engl. *In Circuit Programmer - ICP*);
- GND pinovi – pinovi namijenjeni za uzemljenje sklopa;
- Pinovi napajanja – služe za napajanje osjetila (3,3 V i 5 V);
- Tipkalo za ponovno pokretanje (engl. *Restart button*) – ponovno pokreće pločicu.



Slika 4.1-1. Arduino UNO razvojna pločica, [24]

Mikroupravljač je programibilni uređaj koji ima mogućnost primanja ulaznih analognih i digitalnih signala putem pinova i obradu istih. Glavna razlika između mikroupravljača i mikroprocesora je u tome što mikroupravljač ne treba dodatne komponente poput memorije ili komponenti za prijem i slanje podataka, već su te komponente unaprijed integrirane u sam uređaj. Arduino razvojne platforme koriste mikroupravljače ATMEL arhitekture, dok platforme Arduino UNO, Arduino NANO, Arduino MINI 05, Arduino MEGA 2560, Arduino LEONARDO, Arduino MICRO, Arduino ROBOT i Arduino ESPLORA koriste mikroupravljače ATMEL sa AVR arhitekturom. Arduino razvojne platforme sadrže pinove osnovne namjene (slika 4.1-2) koji imaju ulazno/izlazne značajke (engl. *General Purpose Inputs and Outputs – GPIO*). GPIO pinovi sastoje se od dva tipa pinova, jedan dio su analogni pinovi dok drugi čine digitalni. Analogni pinovi koriste se za mjerenje napona dok se digitalni pinovi mogu koristiti kao ulazni ili izlazni pinovi [24].



Slika 4.1-2. Ulazno/izlazni pinovi Arduino UNO platforme, [26]

4.2 Arduino UNO programska podrška

Programiranje razvojne platforme Arduino vrši se unutar integriranog Arduino razvojnog okruženja) koje je zasnovano na programskoj podršci *Processing*. Programski jezik korišten za komunikaciju zasniiva se na besplatnom programskom jeziku *Wiring*, dok je integrirano razvojno okruženje Arduino (slika 4.2-1) aplikacija napisana u JAVA programskom jeziku te se sastoji od uređivača programskog kôda [25].



Slika 4.2-1. Integrirano razvojno okruženje Arduino

Processing je prilagodljiva programska skica i jezik za učenje kodiranja u kontekstu vizualne umjetnosti. *Processing* promovira pismenost programske podrške u području vizualne umjetnosti i vizualne pismenosti unutar tehnologije [27].

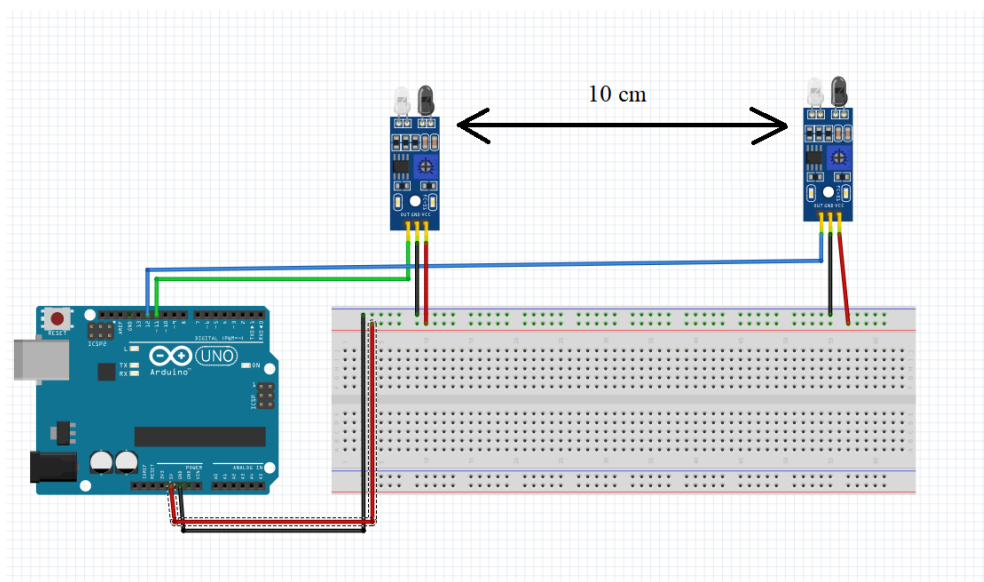
Wiring je programsko okruženje otvorenog kôda za mikroupravljače. Omogućuje pisanje programske podrške na više platformi za kontrolu uređaja priključenih na različite pločice s mikroupravljačima u svrhu stvaranja svih vrsta kreativnog kodiranja, interaktivnih objekata, prostora ili fizičkih iskustava [28].

5 MJERENJE BRZINE CESTOVNIH VOZILA PRIMJENOM RAZVOJNE PLATFORME ARDUINO

Mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom Arduino platforme može se podijeliti u dvije kategorije. Unutar prve kategorije nalazi se sklopovska podrška odnosno primjena osjetila i svi ostali dodaci potrebi kako bi se sustav objedinio. Unutar druge kategorije nalazi se programska podrška. U ovom završnom radu testirana su dva sustava mjerenja brzine, a to su sustavi mjerenja brzine primjenom osjetila detekcije prisutnosti i mjerenje brzine primjenom LIDAR osjetila.

5.1 Mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom osjetila prisutnosti

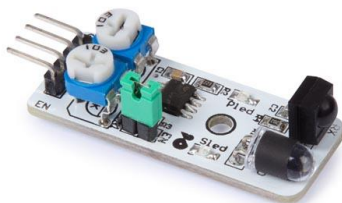
Sustav mjerenja brzine cestovnih vozila primjenom osjetila prisutnosti zasniva svoj rad na mjerenju vremenskih intervala potrebnih vozilu da prođe poznatu udaljenost. Prilikom prolaska vozila pored prvog osjetila, sustav bilježi vremenski trenutak prolaska vozila. Nakon što vozilo prođe poznatu udaljenost između osjetila, sljedećim osjetilom se bilježi drugi vremenski trenutak prolaska te se daljnjom obradom izmjerenih i poznatih podataka izračuna brzina vozila. Zbog vrlo malog dometa detekcije dostupnih osjetila prisutnosti, razvijeni sustav nije testiran na cestovnim vozilima već je napravljen jednostavan sustav testiran na hodu pješaka (slika 5.1-1).



Slika 5.1-1. Shema sklopa sustava mjerenja primjenom osjetila prisutnosti izrađena u Fritzing programu

5.1.1 Arduino sklopovska podrška sustava mjerenja primjenom osjetila prisutnosti

Sklopovsku podršku sustava mjerenja brzine primjenom osjetila prisutnosti čine Arduino UNO, dva infracrvena osjetila, Arduino prototipna pločica i spojne žice. Osjetila primijenjena pri izradi rješenja su VMA330 osjetila (slika 5.1-2).



Slika 5.1-2. VMA330 osjetila, [29]

VMA330 osjetilo zasniva svoj rad na primjeni infracrvene svjetlosti. Osjetilo se sastoji od dvije diode odnosno jedna dioda emitira infracrvenu svjetlost dok druga prihvaća reflektiranu. VMA330 osjetila savršena su za primjenu na robotskim i sličnim projektima. Modul ima dva potenciometra, jedan za kontrolu frekvencije i jedan za kontrolu intenziteta infracrvenog signala.

Tehničke značajke osjetila VMA330 [29]:

- Radni napon: 3,3 V do 5 V;
- Prag detekcije: moguća regulacija primjenom dva potenciometra;
- Domet detekcije: 2 do 10 cm;
- Radna temperatura: -10° C do +50° C;
- Djelotvoran kut: 35°;
- I/O sučelje: 4 žično sučelje (- / + / S / EN);
- Dimenzije : 45 x 16 x 10 mm;
- Masa: 9 g.

5.1.2 Arduino programska podrška sustava mjerenja primjenom osjetila prisutnosti

Unutar prvog dijela programske podrške nalazi se inicijalizacija globalnih varijabli (slika 5.1-3) koje će se koristiti unutar programa. Deklaracijom i inicijalizacijom varijabli „Osj1“ i „Osj2“ vršit će se komunikacija između Arduina i modula VMA330. Varijablama „t1“, „t2“ i

„VR“ zapisivati će se vremenske oznake prilikom otkrivanja vozila. Varijablom V zapisivat će se izračunata brzina.

```
int Osj1=11;
int Osj2=12;
unsigned long t1=0;
unsigned long t2=0;
float V;
float VR;
```

Slika 5.1-3. Inicijalizacija i deklaracija globalnih varijabli sustava otkrivanja

Unutar drugog dijela programske podrške postavljaju se pinovi „Osj1“ i „Osj2“ kao ulazni pinovi (slika 5.1-4), odnosno putem njih Arduino prima podatke o detekciji vozila. U svrhu komunikacije koristi se serijsko sučelje brzine 115.200 bit/s.

```
void setup()
{
  pinMode(Osj1, INPUT);
  pinMode(Osj2, INPUT);
  Serial.begin(115200);
}
```

Slika 5.1-4. Postavljanje pinova i pokretanje komunikacije

Unutar trećeg dijela programske podrške vrši se detekcija vozila i spremanje vremenskih oznaka (slika 5.1-5). Nakon spremanja vremenskih oznaka i pretvorbe izmjerenih vremenskih iznosa iz milisekundi u sekunde, algoritam računa brzinu u cm/s te vrši pretvorbu u km/h. Krajnji rezultat pohranjuje se u varijablu „Vkm“.

```

void loop()
{
  while(digitalRead(Osj1));
  while(digitalRead(Osj1)==0);
  t1=millis();
  while(digitalRead(Osj2));
  t2=millis();
  VR=t2-t1;
  float VRs = VR/1000.0;
  V=(10.0/VRs);
  float Vkm=V*0.036;
}

```

Slika 5.1-5. Spremanje vremenskih oznaka i računanje brzine

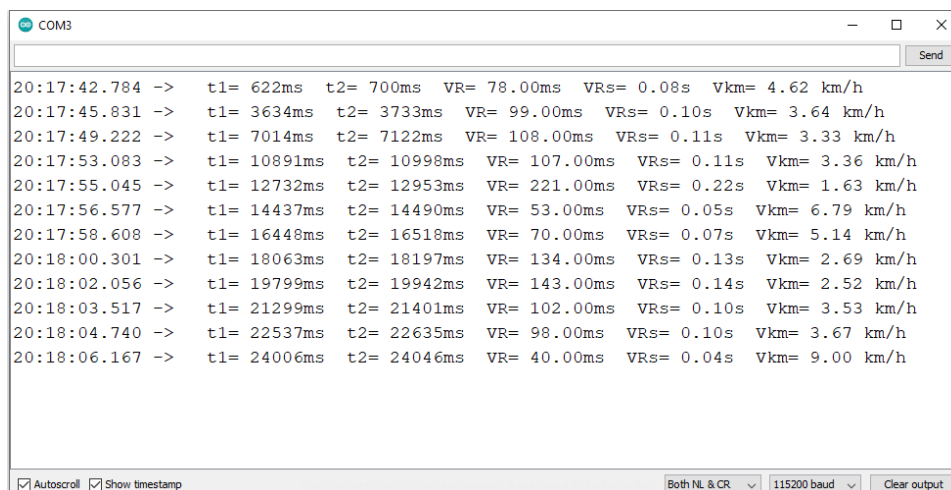
Unutar četvrtog, ujedno i posljednjeg dijela programske podrške, vrši se ispis dobivenih rezultata na terminal (slika 5.1-6). Na terminalu se ispisuje prva zabilježena vremenska oznaka, druga zabilježena vremenska oznaka, vremenska razlika u milisekundama, vremenska razlika u sekundama, brzina u cm/s i brzina u km/h (slika 5.1-7).

```

Serial.print("  t1= ");
Serial.print(t1);
Serial.print("ms  t2= ");
Serial.print(t2);
Serial.print("ms  VR= ");
Serial.print(VR);
Serial.print("ms  VRs= ");
Serial.print(VRs);
Serial.print("s  Vkm= ");
Serial.print(Vkm);
Serial.println(" km/h");
  delay(500);
}

```

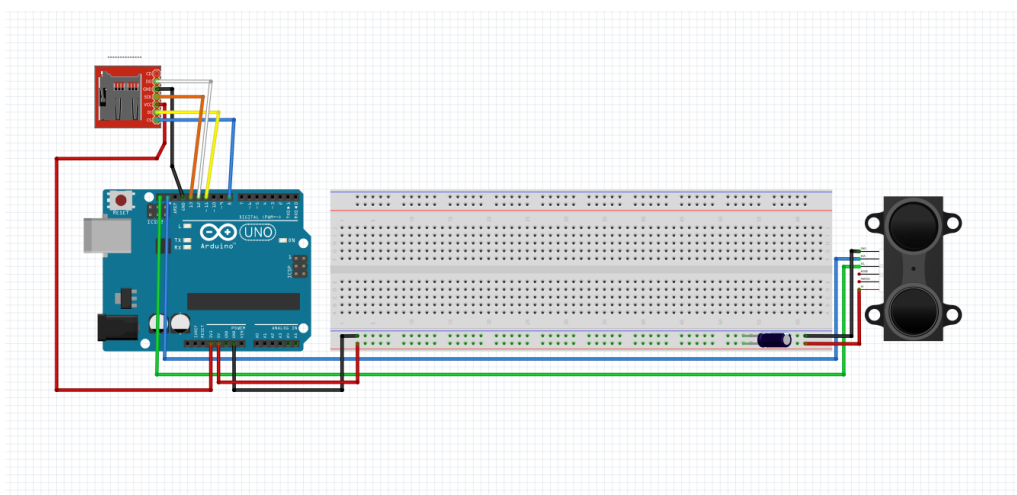
Slika 5.1-6. Ispis dobivenih rezultata na terminal



Slika 5.1-7. Prikaz podataka na terminalu

5.2 Mjerenje brzine cestovnih vozila primjenom LIDAR osjetila

Sustav mjerenja brzine cestovnih vozila primjenom LIDAR osjetila zasniva svoj rad na neprestanom mjerenju udaljenosti između mjerenog vozila i LIDAR osjetila, te se daljnjom obradom podataka posredno može izračunati brzina mjerenog vozila. Sustav mjerenja brzine cestovnih vozila primjenom LIDAR osjetila može se podijeliti u dvije kategorije. Unutar prve kategorije nalazi se sklopovska podrška u kojoj su detaljno objašnjenja moduli i navedene njihove značajke (slika 5.2-1). Unutar druge kategorije nalazi se programska podrška.



Slika 5.2-1. Shema sklopa sustava mjerenja primjenom LIDAR osjetila izrađena u Fritzing programu

5.2.1 Arduino sklopovska podrška sustava mjerenja primjenom LIDAR osjetila

Sklopovsku podršku sustava mjerenja brzine primjenom LIDAR osjetila možemo podijeliti u dvije skupine. Prva skupina sklopovske podrške odnosi se na aktivne elemente odnosno osjetila i module koje je moguće programirati. U navedenu kategoriju spadaju:

- LIDAR-Lite v3HP;
- MicroSD Tranflash Breakout modul;
- Arduino UNO.

U drugu skupinu mogu se svrstati svi neaktivni elementi odnosno elementi koje nemaju mogućnost programiranja. U navedenu kategoriju spadaju:

- Arduino prototipna pločica;
- Spojne žice.

LIDAR-Lite v3HP optičko je osjetilo za mjerenje udaljenosti s visokim performansama smješten u izdržljivom IPX7 kućištu i pogodan za vanjsku primjenu (slika 5.2-2). Brzina uzimanja uzoraka LIDAR-Lite v3HP osjetila je veća od 1 kHz. Domet osjetila je u intervalu od 1m do 40 m s maksimalnom pogreškom od +/- 2,5 cm na udaljenostima većim od 2m. Uz navedene specifikacije potrošnja osjetila je 85 mA. Osjetilo posjeduje mogućnost prilagodbe korisnicima odnosno programiranjem osjetila moguće je namjestiti prilagođavanje između željene točnosti, radnog raspona i vremena mjerenja. Povezivanje sa osjetilom omogućeno je putem I2C komunikacije (engl. *Inter-Integrated Circuit – I2C*) ili modulacijom širine impulsa (engl. *Pulse-Width Modulation- PWM*) [30].

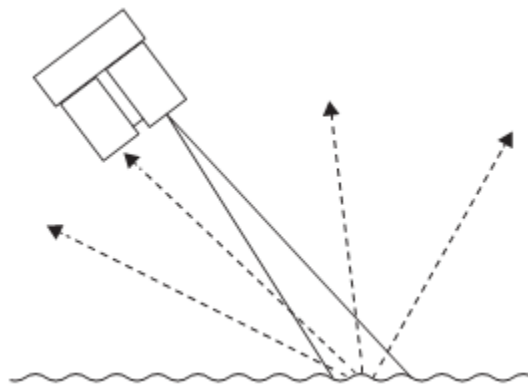
Specifikacije LIDAR-Lite v3HP osjetila:

- Rezolucija: 1 cm;
- Točnost: +/- 2,5 cm na udaljenostima većim od 2 m;
- Domet: 1m do 40m;
- Brzina uzimanja uzoraka: veća od 1 kHz;
- Sučelje: I2C ili PWM;
- Snaga (radni napon): 4,75-5 V DC; 6V Max;
- Trenutna potrošnja: 65 mA u praznom hodu; 85 mA tijekom uzimanja uzoraka;
- Radna temperatura: -20° C do 60° C;
- Dužina laserskog vala: 905 nm;
- Radna snaga osjetila: 1,3 W;
- Dimenzije jedinice: 24,5 mm x 53,5 mm x 33,5 mm;
- Masa: 34 g.



Slika 5.2-2. LIDAR-Lite v3 HP osjetilo, [30]

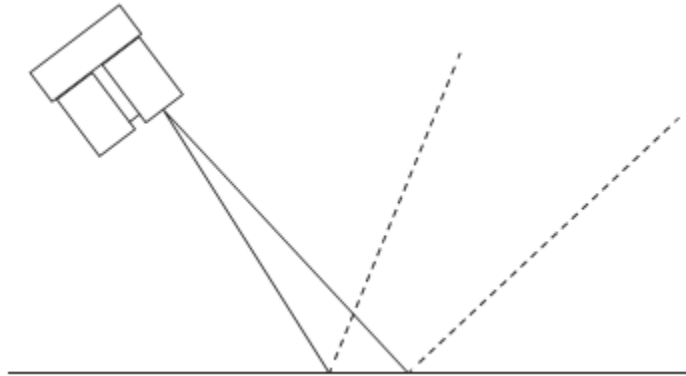
Na točnost i pouzdanost mjerenja utječe površina od koje se signal odbija. Reflektirajuća svojstva površina mogu se podijeliti u tri kategorije, a to su difuzno reflektirajuće, zrcalne i retro-reflektirajuće površine. Difuzno reflektirajuće površine (slika 5.2-3) nalaze se na materijalima koji imaju teksturiranu kvalitetu zbog koje se reflektirani svjetlosni signal ravnomjerno raspršuje te kao rezultat daju dobro očitavanje. Unutar ove skupine nalaze se materijali poput papira, mat zidova i granita [31].



Slika 5.2-3. Refleksija svjetlosnog signala na difuzno reflektirajućim površinama, [31]

Zrcalne površine nalaze se na materijalima glatke kvalitete koji odražavaju svjetlosni signal umjesto da ga raspršuju. Refleksije se na zrcalnim površinama (slika 5.2-4) reflektiraju s malo raspršivanja što dovodi do toga da reflektirana zraka ostaje mala i ako se ne reflektira izravno u

prijemnik uređaj nije u mogućnosti očitati udaljenost, odnosno uređaj neće moći otkriti objekt ispred sebe ako se ne gleda s točno određene točke gledanja [31].



Slika 5.2-4. Refleksija svjetlosnog signala na zrcalnim reflektirajućim površinama, [31]

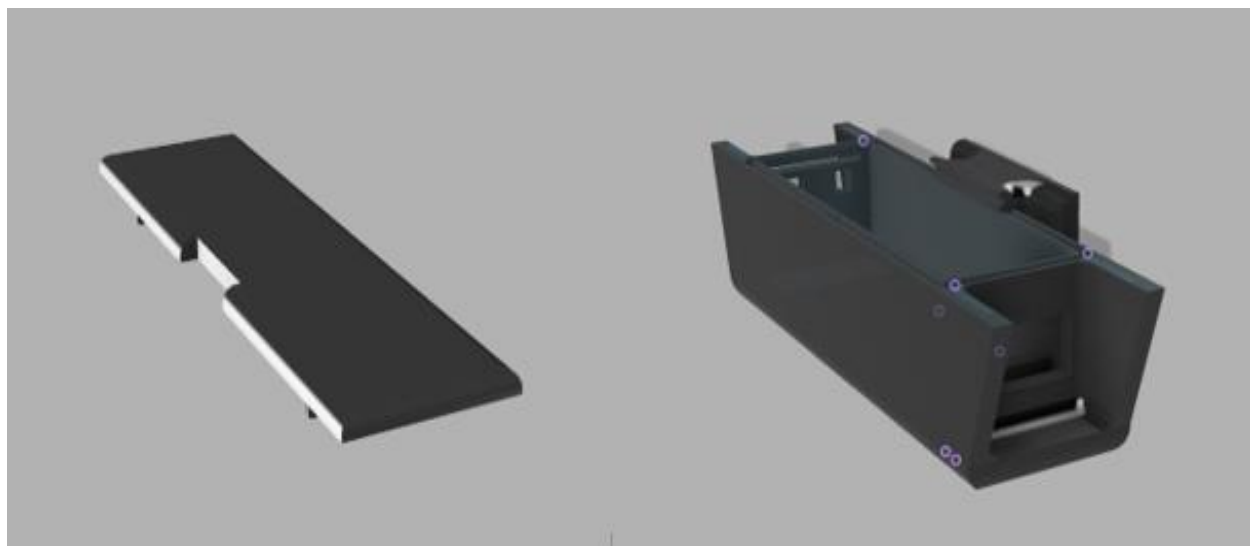
Modul memorijske kartice (engl. *microSD*) Transflash Breakout kompatibilan je sa SPI sučeljem koje se može pronaći na svakoj SD kartici. Ovaj modul posjeduje 7 pinova za spajanje na Arduino pločicu (slika 5.2-5) a to su [32]:

- CD (engl. *Card detect*) – omogućuje kratki spoj s uzemljenjem kada SD kartica nije umetnuta;
- DO (engl. *Master In Slave Out*) - SPI izlaz iz Micro SD kartice modula;
- GND (engl. *Ground*) - pin uzemljenja za modul;
- SCK (engl. *Serial clock*) – prihvaća impulse sata koji sinkronizira prijenos podataka generiran Arduinoom;
- VCC (engl. *Voltage and common collector*) pin napajanja za modul;
- DI (engl. *Master Out Slave In*) - SPI ulaz u modul Micro SD kartice;
- CS (engl. *Chip select*) - Arduino (Master) koristi ovaj pin da bi omogućio i onemogućio određene uređaje na SPI sabirnici.



Slika 5.2-5. MicroSD Transflash Breakout pinovi, [33]

Uz navedenu programsku podršku, važan dio sustava je i kućište. Prototipovi 3D modela kućišta i poklopca (slika 5.2-6) izrađeni su u programu Autodesk Fusion 360 pri čemu se, prilikom dizajna detalja kućišta, vodila briga o robusnosti i vodo-nepropusnosti istog, a u svrhu zaštite komponenata ugrađenih u kućište. Prototip kućišta izrađen je tehnologijom 3D ispisa i korišten je pri testiranju sustava.



Slika 5.2-6. 3D model kućišta i poklopca od kućišta

5.2.2 Arduino programska podrška sustava mjerenja primjenom LIDAR osjetila

U prvom dijelu programske podrške (slika 5.2-7) uključene su važne Arduino biblioteke. Arduino biblioteke potrebne su kako bi sustav pravilno radio odnosno u njima su sadržane ugrađene funkcije za komunikaciju među modulima i osjetilima. Biblioteke „Wire.h“ i

„LIDARLite.h“ namijenjene su LIDAR osjetilu dok „SPI.h“ i „SD.h“ MicroSD Transflash Breakout modulu.

```
#include <Wire.h>
#include <LIDARLite.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
```

Slika 5.2-7. Uključivanje Arduino biblioteka

U drugom dijelu programske podrške (slika 5.2-8) inicijalizirane su i deklarirane globalne varijable koje će koristiti za spremanje i obradu podataka. Varijabla „LIDARLite“ koristiti će za očitavanje vrijednosti s LIDAR osjetila. Varijabla „brojac“ koristiti će se za brojanje očitavanja, varijable „PV“, „TV“ i „CV“ koristiti će se za spremanje vremena, varijable „Mmodul“ i „datoteka“ za komunikaciju s MicroSD Transflash Breakout modulom.

```
LIDARLite lidarLite;
int brojac = 0;
unsigned long PV;
unsigned long TV;
unsigned long CV;

const int Mmodul = 8;
File datoteka;
```

Slika 5.2-8. Inicijalizacija i deklaracija globalnih varijabli kod primijene LIDAR osjetila

U trećem dijelu programske podrške (slika 5.2-9) pokrenuta je serijska komunikacija između Arduina, modula i osjetila brzinom 115200 bit/s. Postavljeni su pin 10 i varijabla „Mmodul“ tako da prilikom komunikacije s Arduinoom šalju podatke osjetilu ili modulu. Nadalje, postavljena je beskonačna petlja odnosno uvjet da se memorijska kartica mora učitati inače se izvršavanje programa neće pokrenuti. Naredbom „LidarLite.begin (0, true)“ pokreće se I2C komunikacija.

```

void setup()
{
  Serial.begin(115200);

  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(Mmodul, OUTPUT);
  if(!SD.begin(Mmodul)) {
    while(1);
  }

  lidarLite.begin(0, true);
  lidarLite.configure(0);
}

```

Slika 5.2-9. Pokretanje komunikacije i LIDAR osjetila

U četvrtom dijelu programske podrške (slika 5.2-10) inicijalizirana je i deklarirana varijabla „S“ u kojoj će se spremati očitana udaljenost s LIDAR osjetila. Prilikom svakog stotog mjerenja vrši se mjerenje s korekcijom pristranog prijamnika kako bi se uspostavila točnost mjerenja.

```

void loop()
{
  int S;

  if ( brojac == 0 ) {
    S = lidarLite.distance();
  } else {
    S = lidarLite.distance(false);
  }
}

```

Slika 5.2-10. Očitavanje mjerenja LIDAR osjetila

U petom dijelu programske podrške (slika 5.2-11) određen je najveći domet LIDAR osjetila. Ako je vozilo udaljeno više od 15 metara LIDAR ga neće očitati. Ako je udaljenost manja odnosno ako je vozilo unutar 15 metara, očitavanja vrijednost udaljenosti se sprema u datoteku naziva „FILE“ i sustav počinje mjeriti vrijeme od kad je vozilo ušlo u vidno polje osjetila.

```

if(S<1500 && S !=0){
  PV=millis();
  Serial.print((S/100.0));
  Serial.println(" m");
  datoteka=SD.open("file.txt",FILE_WRITE);
  if(datoteka){
    datoteka.println(abs(S));
    datoteka.println(PV);
    datoteka.close();
  }
}else{
  Serial.println(" - ");
}

```

Slika 5.2-11. Postavljanje dometa LIDAR osjetila i spremanje podataka

U šestom poglavlju programske podrške (slike 5.2-12) nakon što je zabilježena udaljenost, program zapisuje trenutno vrijeme te računa sveukupno proteklo od ulaska vozila u vidno polje osjetila do izlaska iz vidnog polja. Nadalje je postavljen uvjet ako je zabilježeno početno vrijeme, spremi trenutno vrijeme u datoteku imena „FILE“. Na kraju programa varijable „TV“ i „PV“ postavljaju se na vrijednost 0 zbog idućeg mjerenja.

```

TV=millis();
float vrijeme= (TV-PV)/1000.0;

if(PV !=0){
  datoteka=SD.open("file.txt",FILE_WRITE);
  if(datoteka){
    datoteka.println(TV);
    datoteka.close();
  }
}

brojac++;
brojac = brojac % 100;
TV=0;
PV=0;
}

```

Slika 5.2-12. Računanje sveukupnog vremena i spremanje trenutnog vremena u datoteku

6 REZULTATI MJERENJA

Od navedenih i objašnjenih sustava mjerenja brzine cestovnih vozila primjenom Arduino platforme korišten je sustav mjerenja brzine primjenom LIDAR osjetila. U svrhu testiranja korišteno je osobno vozilo, a točnost mjerenja provjerena je usporedbom s izmjerenom brzinom certificiranog radara opisanog u poglavlju 3.1.2.

Prilikom mjerenja zabilježeno je po 5 uzoraka pri brzinama 20, 40 i 60 km/h na tri načina:

- približavanjem vozila prema LIDAR osjetilu;
- udaljavanjem vozila od LIDAR osjetila;
- lateralnim kretanjem prema LIDAR osjetilu.

Uzorci su uzimani tako da se prva vrijednost udaljenosti, odnosno prvo pojavljivanje vozila unutar dometa LIDAR osjetila zabilježi unutar memorije. Nakon vremenskog intervala od jedne sekunde bilježi se druga vrijednost udaljenosti. Proračun razlike udaljenosti unutar mjerenog vremenskog intervala predstavlja brzinu.

Na osnovu proračunatih brzina izračunata je relativna pogreška (tablica 1) mjerenja primjenom nekoliko koraka:

1. korak - izračun aritmetičke sredine niza mjerenja prema formuli (1):

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n}, \quad (1)$$

gdje je:

- \bar{x} – aritmetička sredina niza mjerenja;
- x_n – vrijednost mjerenja;
- n – broj uzoraka.

2. Korak - izračun odstupanja pojedinog mjerenja od aritmetičke sredine prema formuli (2):

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i, \quad (2)$$

gdje je:

- Δx_i – odstupanje pojedinog mjerenja od aritmetičke sredine;
- \bar{x} – aritmetička sredina niza mjerenja;
- x_i – vrijednost mjerenja.

3. Korak – izračun apsolutne pogreške niza mjerenja prema formuli (3):

$$\Delta x = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta x_i|}{n} \quad (3)$$

Gdje je:

- Δx – apsolutna pogreška niza mjerenja;
- Δx_i – odstupanje pojedinog mjerenja od aritmetičke sredine;
- n – broj uzoraka.

4. Korak – izračun relativne pogreške mjerenja prema formuli (4):

$$r_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} * 100\% \quad (4)$$

Gdje je:

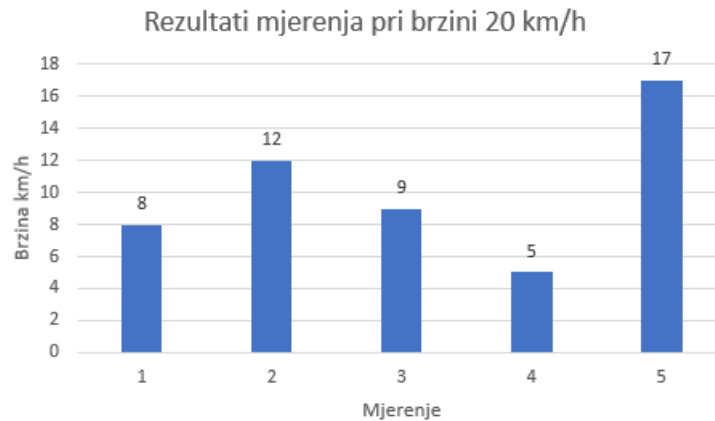
- r_x – relativna pogreška mjerenja;
- Δx – apsolutna pogreška niza mjerenja;
- \bar{x} – aritmetička sredina niza.

Tablica 1. Relativna pogreška mjerenja brzine LIDAR osjetilom

Brzina vožnje	20 km/h	40 km/h	60 km/h
Relativna pogreška mjerenja brzine prilazećeg vozila	33,72%	72,40%	Sustav nije zabilježio podatke
Relativna pogreška mjerenja brzine udaljavajućeg vozila	28,83%	72,11%	Sustav nije zabilježio podatke
Relativna pogreška lateralnog mjerenja brzine	2%	2,22%	1,73%

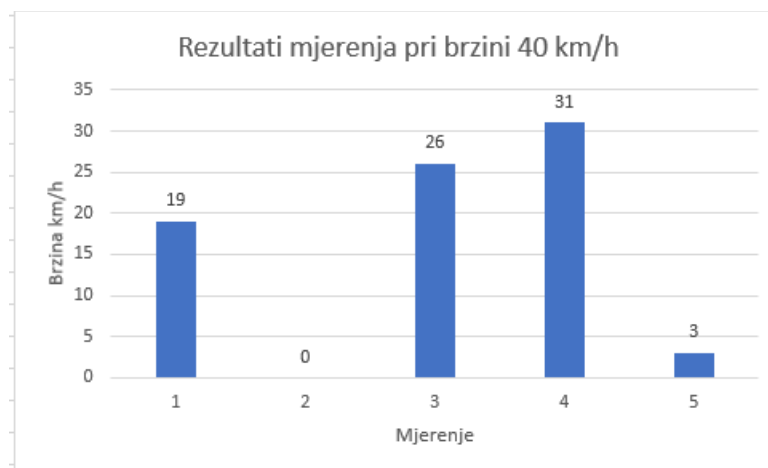
6.1 Mjerenje brzine približavajućeg vozila

Grafički prikaz 1 prikazuje brzine dobivene obradom podataka zabilježenih LIDAR osjetilom. Prema prikazanim podacima vidimo kako je najveća zabilježena brzina približavanja vozila bila prilikom petog mjerenja i iznosila je 17 km/h što je za 3 km/h manje od brzine vožnje. Isto tako vidimo kako je najmanja zabilježena brzina bila prilikom četvrtog mjerenja i iznosi 5 km/h što je za 15 km/h manje od brzine vožnje. Daljnjom obradom podataka izračunata je relativna pogreška koja iznosi 33,72%.



Grafički prikaz 1. Rezultati mjerenja prilazećeg vozila pri brzini 20 km/h

Obradom podatka dobivenih LIDAR osjetilom (grafički prikaz 2) pokazano je kako je u trećem mjerenju zabilježena najveća brzina približavanja vozila koja je iznosila 31 km/h što je za 9 km/h manje od brzine vožnje. Isto tako je pokazano kako je najmanja zabilježena brzina iznosila 0 km/h što nam govori kako LIDAR osjetilo u drugom mjerenju nije zabilježilo nikakve vrijednosti. Daljnjom obradom podatka izračunata je relativna pogreška koja iznosi 72,40%.



Grafički prikaz 2. Rezultati mjerenja prilazećeg vozila pri brzini 40 km/h

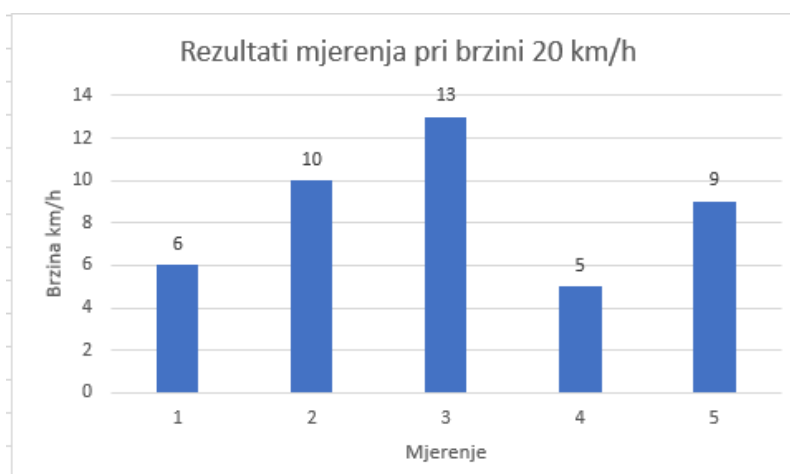
Grafički prikaz 3 prikazuje izračunatu brzinu obradom podataka zabilježenih LIDAR osjetilom. Pri brzini 60 km/h LIDAR osjetilo nije bilo u mogućnosti zabilježiti uzorke.



Grafički prikaz 3. Rezultati mjerenja prilazećeg vozila pri brzini 60 km/h

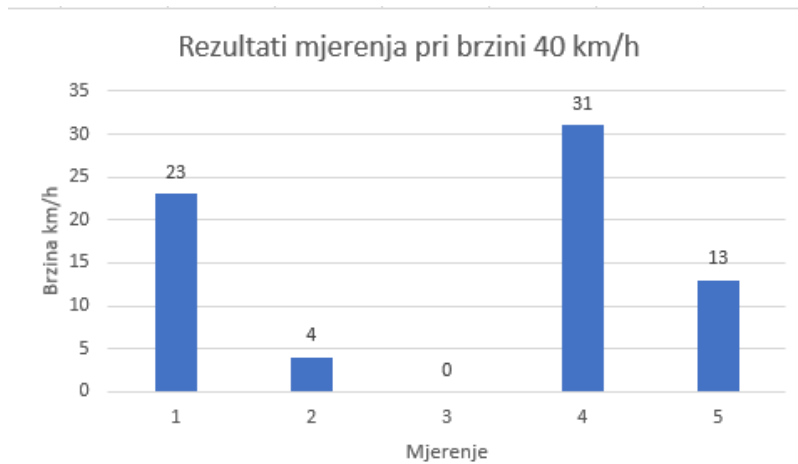
6.2 Mjerenje brzine udaljavajućeg vozila

Obradom podataka zabilježenih LIDAR osjetilom (grafički prikaz 4) pokazano je kako je najveća zabilježena brzina prilikom udaljavanja vozila iznosila 13 km/h te je zabilježena u trećem mjerenju. Isto tako najmanja zabilježena brzina iznosila je 5 km/h te je zabilježena prilikom četvrtog mjerenja. Daljnjom obradom podataka izračunata je relativna pogreška mjerenja pri 20 km/h i iznosi 28,83%.



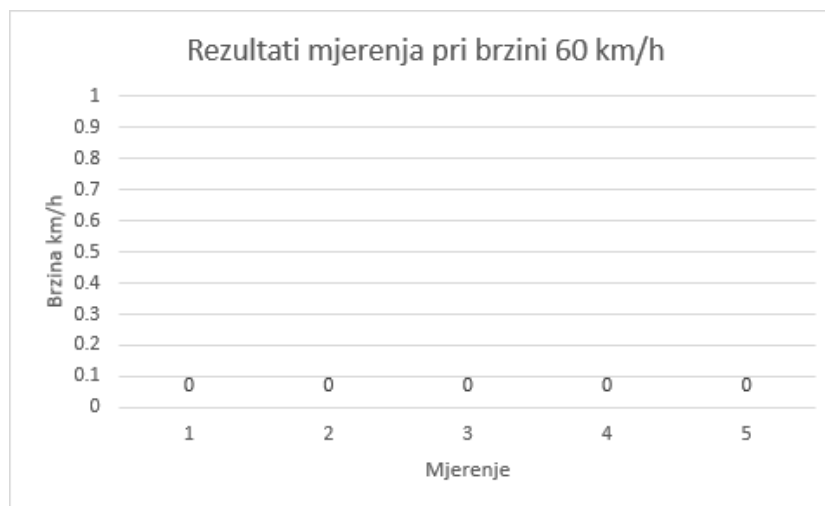
Grafički prikaz 4. Rezultati mjerenja udaljavajućeg vozila pri brzini 20 km/h

Grafički prikaz 5 prikazuje brzine dobivene obradom podataka zabilježenih LIDAR osjetilom. Najveća zabilježena brzina prilikom udaljavanja vozila iznosi 31 km/h te je zabilježena prilikom četvrtog mjerenja. Najmanja zabilježena brzina iznosi 0 km/h što nam pokazuje kako LIDAR osjetilo nije bilo u mogućnosti zabilježiti podatke. Daljnjom obradom podataka izračunata je relativna pogreška koja iznosi 72,11%.



Grafički prikaz 5. Rezultati mjerenja udaljavajućeg vozila pri brzini 40 km/h

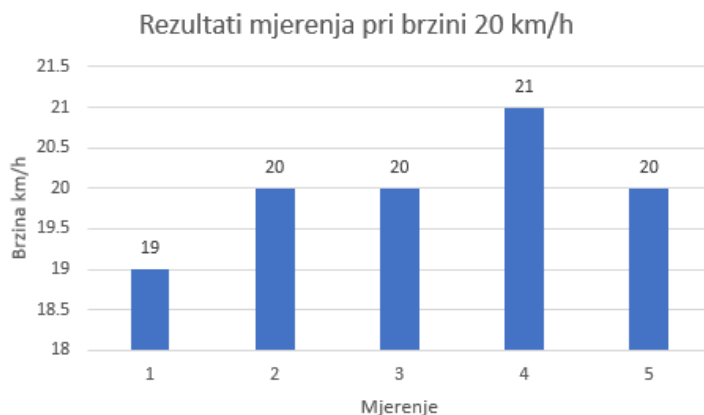
Grafički prikaz 6 prikazuje dobivenu brzinu obradom podataka zabilježenih LIDAR osjetilom. Pri brzini 60 km/h LIDAR osjetilo nije bilo u mogućnosti zabilježiti uzorke.



Grafički prikaz 6. Rezultati mjerenja udaljavajućeg vozila pri brzini 60 km/h

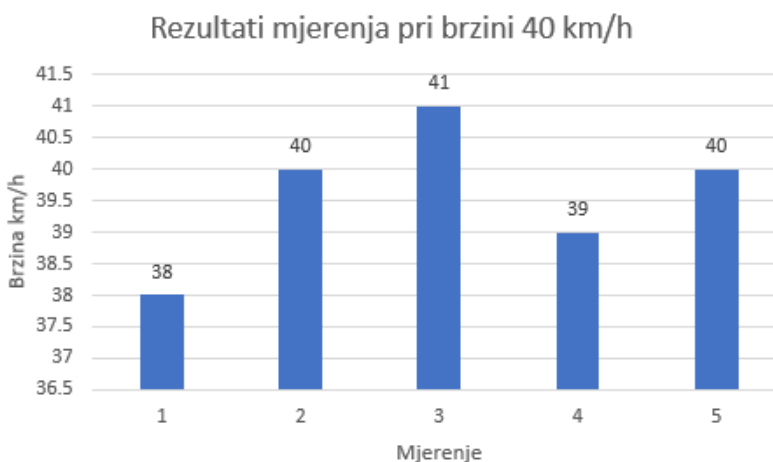
6.3 Lateralno mjerenje brzine vozila na osnovu poznavanja duljine vozila.

Obradom podataka dobivenih lateralnim mjerenjem primjenom LIDAR osjetila dobivene su brzine (grafički prikaz 7). Prikazanim podacima dokazano je kako pri brzini 20 km/h mjerenja vrlo malo odstupaju od brzine vožnje. Najveća zabilježena brzina iznosi 21 km/h dok najmanja iznosi 19 km/h. Daljnjom obradom podataka izračunata je relativna pogreška koja iznosi 2%.



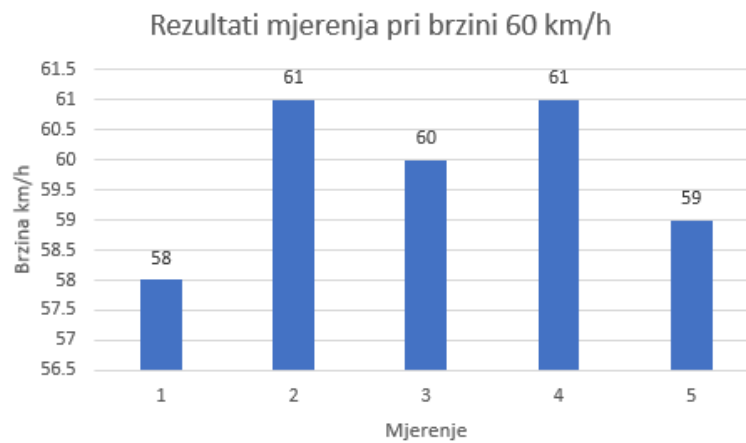
Grafički prikaz 7. Rezultat lateralnog mjerenja pri brzini 20km/h

Grafički prikaz 8 prikazuje dobivene brzine obradom podataka zabilježenih LIDAR osjetilom. Ukupno je zabilježeno 5 uzoraka. Najveća zabilježena brzina iznosi 41 km/h prilikom trećeg mjerenja, dok najmanja iznosi 38 km/h zabilježena prilikom prvog mjerenja. Daljnjom obradom podataka izračunata je relativna pogreška koja iznosi 2,22%.



Grafički prikaz 8. Rezultati lateralnog mjerenja pri brzini 40km/h

Grafički prikaz 9 prikazuje dobivene brzine obradom podataka zabilježenih LIDAR osjetilom. Ukupno je zabilježeno 5 uzoraka. Najveća zabilježena brzina iznosi 61 km/h prilikom drugog mjerenja, dok najmanja iznosi 58 km/h zabilježena prilikom prvog mjerenja. Daljnjom obradom podataka izračunata je relativna pogreška koja iznosi 1,73%.



Grafički prikaz 9. Rezultati lateralnog mjerenja pri brzini 60km/h

7 ZAKLJUČAK

Mjerenje brzine cestovnih vozila važan je aspekt za sigurnost u prometu. Svakodnevnim razvojem prometne industrije dolazi do sve veće potrebe za praćenjem i upravljanjem ograničenjem brzine na cestovnim prometnicama. Kako bi bili u mogućnosti pratiti trend potrebno je razvijati sustave za mjerenje brzine cestovnih vozila.

U ovom završnom radu prikazana su dva jednostavna sustava zasnovana na primjeni Arduino platforme, sustavi mjerenja brzine cestovnih vozila primjenom osjetila prisutnosti i sustavi mjerenja brzine cestovnih vozila primjenom LIDAR osjetila. Navedeni sustavi za svoj rad zahtijevaju minimalnu sklopovsku podršku koja je u odnosu na razvijene sustave znatno jeftinija i pristupačnija te svaki od sustava sadrži svoju razvijenu programsku podršku. Primjenom sustava za mjerenja brzine cestovnih vozila koji sadrži LIDAR osjetila napravljena su mjerenja i doneseni zaključci.

Mjerenje je izvršeno pri brzinama od 20, 40 i 60 km/h na tri načina: vozilo se približava LIDAR osjetilu, vozilo se udaljava od LIDAR osjetila i lateralnim mjerenjem pomoću poznavanja duljine vozila. Za svaku brzinu zabilježeno je po 5 uzoraka te je izračunata relativna pogreška mjerenja. Za brzinu od 20 km/h pokazano je kako LIDAR osjetilo ima relativnu pogrešku od 33,72% kad se vozilo približava osjetilu i 28,83% prilikom udaljavanja od osjetila. Pri brzini od 40 km/h izračunata je relativna pogreška od 72,40% prilikom približavanja vozila osjetilu i 7211% prilikom udaljavanja vozila od osjetila.

Primjenom lateralnog mjerenja i poznavanja duljine vozila odrađeno je još 15 mjerenja. Pokazano je da pri brzinama od 20 km/h LIDAR ima relativnu pogrešku mjerenja 2%, pri brzini 40% ima relativnu pogrešku 2,22% i pri brzini 60 km/h ima relativnu pogrešku 1,73%.

Mjerenjima je dokazano da točnost sustava znatno ovisi o refleksiji svjetlosnog signala od površine mjerenog objekta. Osjetilo LIDAR-Lite v3HP se pokazao kao nepouzdan osjetilo prilikom mjerenja na kosim površinama te zbog toga nije primjeren za mjerenje brzine cestovnih vozila. Svoju primjenu osjetilo s ovakvim specifikacijama pronašlo bi u mjerenju brzine pješaka ili biciklista gdje nema kosih površina odnosno čije su površine difuzno reflektivne te svojim karakteristikama raspršuju svjetlosni signal ravnomjerno.

U budućem radu fokus istraživanja bio bi na testiranju različitih pozicija LIDAR osjetila u odnosu na cestovno vozilo uz dodatne postavke rada samog osjetila i načina prikupljanja mjerenja, a kako bi se poboljšala točnost mjerenja na prihvatljivu razinu.

Dodatno je testirano rješenje korištenjem dva osjetila LIDAR-Lite v3HP koje se pokazalo obećavajućim te bi se isto trebalo dodatno istražiti. Mjerenje bi se izvelo postavljanjem osjetila na međusobnu poznatu udaljenost te bi se mjerenjem intervala vremena ulaska cestovnog vozila u mjerenju zonu (između dva osjetila) odnosno izlaska moglo izračunati prosječnu brzinu vozila kroz

istu. U slučaju postavljanja dva osjetila iznad prometnog traka, osim brzine, mogla bi se vršiti i kategorizacija vozila mjerenjem „profila“ vozila (motocikl/osobni automobil/teretno vozilo).

POPIS LITERATURE

- [1] Lewandowski M, Płaczek B, Bernas M, Szymała P. Road Traffic Monitoring System Based on Mobile Devices and Bluetooth Low Energy Beacons. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2018; vol. 2018 (3251598): 12. Preuzeto sa: <https://www.hindawi.com/journals/wcmc/2018/3251598/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2020.].
- [2] World Road Association website (PIARC). Roadway sensors. Preuzeto sa: <https://rno-its.piarc.org/en/its-basics-its-technologies-data-and-information/roadway-sensors> [Pristupljeno: 1. srpnja 2020.].
- [3] Lamas JJ, Castro-Castro PM, Dapena A, Vazquez-Araujo FJ. SiDIVS: Simple Detection of Inductive Vehicle Signatures with a Multiplex Resonant Sensor. *Sensors*. 2016: 16(10.3390/s16081309): 1309. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/figure/Elements-of-an-inductive-loop-detector_fig1_306268424 [Pristupljeno: 1. srpnja 2020.].
- [4] InnoSenT. Reliable vehicle detection with radar: Traffic radar. Preuzeto sa: <https://www.innosent.de/en/applications/traffic/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2020.].
- [5] City moving to radar-based systems to detect vehicles at stoplights. Preuzeto sa: <https://oakridgetoday.com/2015/12/11/city-moving-to-radar-based-systems-to-detect-vehicles-at-stoplights/> [Pristupljeno: 1. srpnja 2020.].
- [6] Kyosan. Traffic Management Solutions: Traffic / pedestrians sensors Preuzeto sa: <https://www.kyosan.co.jp/english/product/traffic04.html> [Pristupljeno: 1. srpnja 2020.].
- [7] Stiawan R, Kusumadjati A, Aminah NS, Djamel M, Viridi S. An Ultrasonic Sensor System for Vehicle Detection Application. *Journal of Physics: Conference Series*. 2017;1204(10.1088/1742-6596/1204/1/012017): 012017. Preuzeto sa: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1204/1/012017> [Pristupljeno: 1. srpnja 2020.].
- [8] Klein LA, Mills MK, Gibson DRP. Traffic Detector Handbook: Third Edition – volume I. U.S. Department of Transport - Federal Highway Administration; 2006. Preuzeto sa: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/06108.pdf> [Pristupljeno: 2. srpnja 2020.].

- [9] Senzori: Senzori u prometu. Preuzeto sa: <https://peytonbarbara.wixsite.com/otr-senzori/senzori-u-prometu> [Pristupljeno: 2. srpnja 2020.].
- [10] Chapter 2, Traffic Detector Handbook: Third Edition – Volume I. Preuzeto sa: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/02a.cfm> [Pristupljeno: 2. srpnja 2020.].
- [11] SmarTek Systems Inc. SAS-1 Passive Acoustic Detector (PAD). Preuzeto sa: <http://www.smarteksys.com/SASpad.html> [Pristupljeno: 2. srpnja 2020.].
- [12] FLIR. Video Detection and Monitoring Solutions for Traffic Applications. Preuzeto sa: <https://www.flir.eu/traffic/>. [Pristupljeno: 2. srpnja 2020.].
- [13] Vrbanić F, Završni rad, INTELIGENTNI TRANSPORTNI SUSTAVI U FUNKCIJI POŠTIVANJA PROMETNIH PROPISA, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb 2017.
- [14] Bhargava K, Goyal D. A Video Surveillance System for Speed Detection of vehicles and law enforcement using Automatic Number Plate Recognition. International journal of research in Computer Engineering and Electronics. 2014; 3: 7. Preuzeto sa: https://www.researchgate.net/publication/273260792_A_Video_Surveillance_System_for_Speed_Detection_of_vehicles_and_law_enforcement_using_Automatic_Number_Plate_Recognition [Pristupljeno: 3. srpnja 2020.].
- [15] LawFirms. How the Officer Measured Your Speed. Preuzeto sa: <https://www.lawfirms.com/resources/traffic-tickets/speed-violations/how-speed-is-measured.htm> [Pristupljeno: 3. srpnja 2020.].
- [16] Cosine Effect Error on Radar and Lidar. Preuzeto sa: <https://copradar.com/chapts/chapt2/ch2d1.html> [Pristupljeno: 6. srpnja 2020.].
- [17] Neltronics. How does a speed camera or radar gun work. Preuzeto sa: <https://www.neltronics.com.au/how-does-a-speed-camera-or-radar-gun-work/> [Pristupljeno: 3. srpnja 2020.].
- [18] Radar sports. Stalker Pro IIs. Preuzeto sa: <https://www.radargunsales.com/product/sports-radar-guns/stalker-radar-guns/stalker-pro-ii-s/> [Pristupljeno: 3. srpnja 2020.].

- [19] Calgary Police Service. Photo Enforcement. Preuzeto sa: <https://www.calgary.ca/cps/traffic/photo-radar.html> [Pristupljeno 3. srpnja 2020.].
- [20] CBC. Photo radar cameras have been disappearing from Toronto streets. Preuzeto sa: <https://www.cbc.ca/news/canada/toronto/speed-cameras-stolen-toronto-1.5453352> [Pristupljeno 3. srpnja 2020.].
- [21] Sierzega. Installation Manual and Users Guide. Preuzeto sa: <https://fccid.io/S6P-GR-146-01/User-Manual/Users-Manual-720556.pdf> [Pristupljeno 3. srpnja 2020.].
- [22] Howstuffworks. How Radar Detectors Work. Preuzeto sa: <https://auto.howstuffworks.com/radar-detector2.htm> [Pristupljeno 3. srpnja 2020.].
- [23] RRD. Everything To Know About A Police Lidar. Preuzeto sa: <https://www.ratedradardetector.org/blog/police-lidar/> [Pristupljeno 6. srpnja 2020.].
- [24] Tišljarić L, Završni rad, DINAMIČKO MJERENJE POTROŠNJE ENERGIJE ELEKTRIČNOG VOZILA S POMOĆU ARDUINO RAZVOJNE PLATFORME, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- [25] Arduino. What is Arduino. Preuzeto sa: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> [Pristupljeno: 14. kolovoza 2020.].
- [26] DiyIoT. Arduino Uno Tutorial [Pinout]. Preuzeto sa: <https://diyi0t.com/arduino-uno-tutorial/> [Pristupljeno: 14. kolovoza 2020.].
- [27] Processing. Preuzeto sa: <https://processing.org/> [Pristupljeno: 11. srpnja 2020.].
- [28] Wiring. Preuzeto sa: <http://wiring.org.co/> [Pristupljeno: 14. kolovoza 2020.].
- [29] Vellman. IR obstacle avoidance sensor module. Preuzeto sa: <https://www.velleman.eu/products/view/?id=439196> [Pristupljeno 29. kolovoza 2020.].
- [30] Sparkfun. LIDAR-Lite v3HP. Preuzeto sa: <https://www.sparkfun.com/products/14599> [Pristupljeno: 29. kolovoza 2020.].
- [31] Garmin. LIDAR-Lite v3HP Operation Manual and Technical Specifications. Preuzeto sa:

https://cdn.sparkfun.com/assets/9/a/6/a/d/LIDAR_Lite_v3HP_Operation_Manual_and_Technical_Specifications.pdf [Pristupljeno 30. kolovoza 2020.].

- [32] Last Minute Engineers. Interfacing Micro SD Card Module with Arduino. Preuzeto sa: <https://lastminuteengineers.com/arduino-micro-sd-card-module-tutorial/> [Pristupljeno 30. kolovoza 2020.].
- [33] Sparkfun. Sparkfun microSD Transflash breakout. Preuzeto sa: <https://www.sparkfun.com/products/544> [Pristupljeno 30. kolovoza 2020.].

POPIS ILUSTRACIJA

Popis slika:

<i>Slika 2.1-1. Induktivna petlja.</i>	4
<i>Slika 2.2-1. Mikrovalni radarski detektor, [5].</i>	5
<i>Slika 2.2-2. Sustav detekcije primjenom ultrazvučnih osjetila.</i>	6
<i>Slika 2.3-1. Aktivno infracrveno osjetilo.</i>	7
<i>Slika 2.3-2. Princip rada pasivnog infracrvenog osjetila.</i>	8
<i>Slika 2.4-1. Akustični sustav detekcije vozila.</i>	8
<i>Slika 2.5-1. Magnetskog sustava detekcije vozila.</i>	9
<i>Slika 2.6-1. Detekcijske zone sustava video detekcije, [12]</i>	10
<i>Slika 2.6-1. Kosinusov učinak kod sustava mjerenja brzine cestovnih vozila.</i>	11
<i>Slika 3.1-1. Princip rada radarskih sustava.</i>	12
<i>Slika 3.1-2. Prijenosi radarski sustav, [18].</i>	13
<i>Slika 3.1-3. Stacionirani foto radar, [20].</i>	13
<i>Slika 3.2-1. LIDAR sustav za mjerenje brzine cestovnih vozila, [23].</i>	15
<i>Slika 4.1-1. Arduino UNO razvojna pločica, [24].</i>	17
<i>Slika 4.1-2. Ulazno/izlazni pinovi Arduino UNO platforme, [26].</i>	18
<i>Slika 4.2-1. Integrirano razvojno okruženje Arduino</i>	19
<i>Slika 5.1-1. Shema sklopa sustava mjerenja primjenom osjetila prisutnosti izrađena u Fritzing programu.</i>	20
<i>Slika 5.1-2. VMA330 osjetila, [29].</i>	21
<i>Slika 5.1-3. Inicijalizacija i deklaracija globalnih varijabli sustava otkrivanja</i>	22
<i>Slika 5.1-4. Postavljanje pinova i pokretanje komunikacije</i>	22
<i>Slika 5.1-5. Spremanje vremenskih oznaka i računanje brzine</i>	23
<i>Slika 5.1-6. Ispis dobivenih rezultata na terminal</i>	23
<i>Slika 5.1-7. Prikaz podataka na terminalu</i>	24
<i>Slika 5.2-1. Shema sklopa sustava mjerenja primjenom LIDAR osjetila izrađena u Fritzing programu.</i>	24
<i>Slika 5.2-2. LIDAR-Lite v3 HP osjetilo, [30]</i>	26
<i>Slika 5.2-3. Refleksija svjetlosnog signala na difuzno reflektirajućim površinama, [31]</i>	26
<i>Slika 5.2-4. Refleksija svjetlosnog signala na zrcalnim reflektirajućim površinama, [31]</i>	27
<i>Slika 5.2-5. MicroSD Transflash Breakout pinovi, [33].</i>	28
<i>Slika 5.2-6. 3D model kućišta i poklopca od kućišta</i>	28
<i>Slika 5.2-7. Uključivanje Arduino biblioteka.</i>	29
<i>Slika 5.2-8. Inicijalizacija i deklaracija globalnih varijabli kod primijene LIDAR osjetila</i>	29
<i>Slika 5.2-9. Pokretanje komunikacije i LIDAR osjetila</i>	30
<i>Slika 5.2-10. Očitavanje mjerenja LIDAR osjetila</i>	30
<i>Slika 5.2-11. Postavljanje dometa LIDAR osjetila i spremanje podataka.</i>	31

Slika 5.2-12. Računanje sveukupnog vremena i spremanje trenutnog vremena u datoteku..... 31

Popis grafičkih prikaza:

<i>Grafički prikaz 1. Rezultati mjerenja prilazećeg vozila pri brzini 20 km/h.....</i>	<i>34</i>
<i>Grafički prikaz 2. Rezultati mjerenja prilazećeg vozila pri brzini 40 km/h.....</i>	<i>34</i>
<i>Grafički prikaz 3. Rezultati mjerenja prilazećeg vozila pri brzini 60 km/h.....</i>	<i>35</i>
<i>Grafički prikaz 4. Rezultati mjerenja udaljavajućeg vozila pri brzini 20 km/h.....</i>	<i>35</i>
<i>Grafički prikaz 5. Rezultati mjerenja udaljavajućeg vozila pri brzini 40 km/h.....</i>	<i>36</i>
<i>Grafički prikaz 6. Rezultati mjerenja udaljavajućeg vozila pri brzini 60 km/h.....</i>	<i>36</i>
<i>Grafički prikaz 7. Rezultat lateralnog mjerenja pri brzini 20km/h</i>	<i>37</i>
<i>Grafički prikaz 8. Rezultati lateralnog mjerenja pri brzini 40km/h</i>	<i>37</i>
<i>Grafički prikaz 9. Rezultati lateralnog mjerenja pri brzini 60km/h</i>	<i>38</i>

Popis tablica:

<i>Tablica 1. Relativna pogreška mjerenja brzine LIDAR osjetilom</i>	<i>33</i>
--	-----------

POPIS PRILOGA

Prilog 1. Arduino programska podrška za mjerenje brzine primjenom osjetila prisutnosti.

```
int Osj1=11;
int Osj2=12;
unsigned long t1=0;
unsigned long t2=0;
float V;
float VR;

void setup()
{
  pinMode(Osj1,INPUT);
  pinMode(Osj2,INPUT);
  Serial.begin(115200);
}

void loop()
{
  while(digitalRead(Osj1));
  while(digitalRead(Osj1)==0);
  t1=millis();
  while(digitalRead(Osj2));
  t2=millis();
  VR=t2-t1;
  float VRs = VR/1000.0;
  V=(10.0/VRs);
  float Vkm=V*0.036;

  Serial.print(" t1= ");
  Serial.print(t1);
  Serial.print("ms t2= ");
  Serial.print(t2);
  Serial.print("ms VR= ");
  Serial.print(VR);
  Serial.print("ms VRs= ");
  Serial.print(VRs);
```

```
Serial.print("s Vkm= ");  
Serial.print(Vkm);  
Serial.println(" km/h");  
delay(500);  
}
```

Prilog 2. Arduino programska podrška za mjerenje brzine primjenom LIDAR osjetila.

```
#include <Wire.h>
#include <LIDARLite.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

LIDARLite lidarLite;
int brojac = 0;
unsigned long PV;
unsigned long TV;
unsigned long CV;

const int Mmodul = 8;
File datoteka;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  pinMode(10, OUTPUT);
  pinMode(Mmodul, OUTPUT);
  if(!SD.begin(Mmodul)){
    while(1);
  }
  lidarLite.begin(0, true);
  lidarLite.configure(0);
}

void loop()
{
  int S;

  if ( brojac == 0 ) {
    S = lidarLite.distance();
  } else {
    S = lidarLite.distance(false);
  }

  if(S<1500 && S !=0){
    PV=millis();
```



```

Serial.print((S/100.0));
Serial.println(" m");
datoteka=SD.open("file.txt",FILE_WRITE);
  if(datoteka){
    datoteka.println(abs(S));
    datoteka.println(PV);
    datoteka.close();
  }

}else{
  Serial.println(" - ");
}
TV=millis();
float vrijeme= (TV-PV)/1000.0;

if(PV !=0){
  datoteka=SD.open("file.txt",FILE_WRITE);
  if(datoteka){
    datoteka.println(TV);
    datoteka.close();
  }
}
brojac++;
brojac = brojac % 100;
TV=0;
PV=0;
}

```



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz

necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj

visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada

pod naslovom **Primjena Arduino platforme za mjerenje brzine cestovnih vozila**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom

repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 8/31/2020

(potpis)