

Sustavi autonomne vožnje u automobilima

Domić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:589437>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-04**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown



Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

Ivan Domić

SUSTAVI AUTONOMNE VOŽNJE U AUTOMOBILIMA

Završni rad

Pula, 2021.



Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

Ivan Domić

SUSTAVI AUTONOMNE VOŽNJE U AUTOMOBILIMA

Završni rad

JMBAG: 0069080456, redoviti student

Studijski smjer: Preddiplomski stručni studij Mehatronike

Predmet: Komunikacijske tehnike u mehatronici

Mentor: Sanja Grbac Babić mag.računarstva, viši predavač

Pula, rujan 2021.

IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRŠNOG RADA

Ovom izjavom potvrđujem da sam završni rad pod nazivom „Automatsko sortiranje i robotsko paletiziranje“ napisao samostalno uz pomoć mentorice Sanja Grbac Babić v.pred., primjenjujući znanje stečeno tijekom studiranja te stručnu literaturu koja je navedena na kraju rada. Završni rad je napisan u duhu hrvatskog jezika.

Student: Ivan Domić

Potpis: _____

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj mentorici mag. računarstva Sanji Grbac Babić (viši predavač) na ukazanome povjerenju i mogućnosti da odaberem vlastitu temu. Također, zahvaljujem se na velikoj pomoći, potpori i utrošenome vremenu. Ovaj rad proizlazi iz moga zanimanja za ovu temu, te bih se zahvalio svim profesorima i osoblju sa Istarskog veleučilišta koji su kroz svoje kolegije upotpunili moje znanje i zanimanje za autonomna vozila i njihove sustave. Na kraju bih se zahvalio obitelji i svima bližnjima na potpori u obrazovanju, a pogotovo za vrijeme pisanja ovoga rada.

SAŽETAK

Autonomni automobili zahtijevaju veliku količinu senzora i drugih tehnologija. Kroz vrijeme se vidi konstantan napredak tehnologije, što značajno ubrzava napredak autonomnih vozila. Potrebno je razumjeti svaki od senzora i njihove tipove, kako bi odabrali pravu komponentu koja je potrebna za danu situaciju i uvjete. Komponente je potrebno postaviti na mjesto gdje će najbolje vršiti svoju funkciju i kalibrirati ih. Dostupnost novih tehnologija omogućuje simuliranje rada autonomnog vozila čiji sustavi pružaju sigurnost, efikasnost i autonomnu vožnju.

Ključne riječi: sustavi autonomnog vozila, senzori, komunikacijski sustavi, pametne prometnice, matlab simulacija, prometniji scenariji.

ABSTRACT

Autonomous vehicles require a great amount of sensors and other technologies. Trough time they have shown constant progress in the field of technology, which is responsible for a faster improvement of autonomous cars. It is necessary to understand each one of the sensors and their types to be able to choose the right component that is needed for a given situation. Components need to be placed on a position where they will be able to function the best and are calibrated for. Availability of new technologies is allowing the simulation of the car whose systems are providing safety, efficiency and autonomous driving.

Keywords: autonomous driving systems, sensors, communication systems, smart traffic, matlab simulation, traffic scenarios.

SADRŽAJ

SAŽETAK	III
1. UVOD	1
1.1 Opis problema	1
1.2 Cilj i svrha rada.....	1
1.3 Hipoteza	1
1.4. Metode rada.....	1
1.5 Struktura rada	2
2. AUTONOMNA VOZILA	3
2.1 Povijest i razvoj tehnologija autonomnih vozila.....	4
2.3 Podjela sustava autonomnih vozila.....	6
2.3.1 Sustav senzora	6
2.3.2 Klijentski sustavi	7
2.3.3 Akcijski sustavi.....	7
2.3.4 Korisnički sustavi	8
2.4 Primjena autonomnih vozila	8
3. SENZORI AUTONOMNOG VOZILA	9
3.1 Radar.....	9
3.2 Lidar.....	11
3.3 Ultrazvučni senzori	14
3.4 Kamere.....	14
3.5 GNSS	17
3.6. Inercijski mjerni uređaji	17
3.7 Odometar (mjerni kotač)	18
4. KOMUNIKACIJA	20
4.1 Kooperativno prometno okruženje	21
4.2 V2X.....	23
4.3 V2V	24
4.4 V2I	26
4.5 V2U.....	28
5. DETEKCIJA OBJEKATA	29

6. MATLAB I NJEGOVE APLIKACIJE	33
6.1 Simuliranje prometnih scenarija	33
7. ZAKLJUČAK	49
LITERATURA	50
POPIS TABLICA	53

POPIS OZNAKA I KRATICA

OZNAKA	OPIS	JEDINICA
U	Napon	V
I	Struja	A
t	Vrijeme	s
l	Duljina	m
v	Brzina	m/s (km/h)
f	Frekvencija	MHz (GHz)
L	Razina jakosti zvuka	dB
θ	Kutna udaljenost	$^{\circ}$ (rad)

KRATICA	OPIS
GPS	Global Positioning System
CPU	Central Processing Unit
LED	Light-Emitting Diode
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
RADAR	Radio Detection and Ranging
LIDAR	Light Detection and Ranging
DSRC	Dedicated Short-Range Communication
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems
ACC	Adaptive Cruise Control
GNSS	Global navigation satellite system
ABS	Anti-lock braking system
PWM	Pulse-width modulation
V2V	Vehicle to vehicle
V2I	Vehicle to infrastructure
V2U	Vehicle to user
V2X	Vehicle to everything
V2N	Vehicle to network
V2P	Vehicle to pedestrian
WLAN	Wireless Local Area Network
GSM	Global System for Mobile Communications
AFH	Adaptive Frequency Hopping
OBU	On Board Unit
RSU	Road System Unit
TMC	Traffic Message Channel
MSER	Maximally Stable Extremal Regions

1. UVOD

U radu će biti obrađeni sustavi autonomne vožnje. Prikazati će se i objasniti na primjerima sustave koji su neophodni za rad autonomnih vozila. Analizirati i prikazati pozitivne utjecaje autonomne vožnje automobila i njegovog potrebnog okruženja.

1.1 Opis problema

Sustavi autonomne vožnje zahtijevaju veliki broj senzora i stalno očitavanje potrebnih za funkcioniranje. Što više podataka sustav ima to preciznije njegov algoritam donosi odluke. Potrebno je odabrati komponente sustava kako bi zadovoljio određene standarde i mogao funkcionirati pravilno, a opet ostati unutar zadanog budžeta.

1.2 Cilj i svrha rada

Cilj rada je prikazati potrebne sustave za rad i njihovo funkcioniranje. Opisati njihovo djelovanje i same tipove koji su u ponudi na tržištu. Prikazati moguće opcije i primjene autonomnih vozila ovisno o budžetu, te njihovu djelotvornost i samo funkcioniranje.

1.3 Hipoteza

Autonomna vozila su budućnost upravljanja vozilima zbog povećane sigurnosti i efikasnosti koje dodatno rastu poboljšanjem i napredovanjem infrastrukture tj. pametnim prometnicama.

1.4. Metode rada

U radu su korištene sljedeće metode:

- Metoda analize
- Metoda dedukcije
- Metode deskripcije
- Metoda komparacije
- Metoda klasifikacije
- Metoda sinteze
- Metoda apstrakcije

1.5 Struktura rada

Završni rad se sastoji od sedam poglavlja, uključujući uvod i zaključak na kraju rada. Početni dio rada opisuje problem rada i same ciljeve kroz uvod, te govori o pogledu na problem i razlog izrade ovoga rada. Također, u uvodnom dijelu je navedena hipoteza rada i metode koje su korištene za pisanje rada. U drugom poglavlju opisuju se autonomna vozila i njihov razvoj kroz povijest. Dalje kreće podjela po razinama autonomnosti i podjela glavnih sustava vozila. Treće poglavlje se bazira na samim sensorima koji su glavni dio svakog autonomnog vozila, gdje su isti detaljno opisani i prikazane njihove mane i prednosti. Četrto poglavlje pokriva područje komunikacije vozila sa raznim drugim stranama. Peto poglavlje obrađuje detekciju objekata i na taj način pokazuje međusobnu suradnju i kompatibilnost senzorskih komponenti. Rad i simulacija senzora na autonomnom vozilu ispitani su pomoću Matlab simulacije. Svih šest poglavlja u cjelini stvaraju sliku potrebne tehnologije i svih prednosti koje donosi autonomni automobil, te je sa tim informacijama u poglavlju sedam, potvrđena hipoteza. U sedmom poglavlju iznesen je zaključak rada.

2. AUTONOMNA VOZILA

Autonomna vozila imaju mogućnost spoznati svoje okruženje i djelovati u njemu bez ljudskoga utjecaja. Sadržavaju kombinaciju senzora i naprednih upravljačkih sustava koja im omogućava autonomno kretanje sukladno zadanim regulacijama i propisima.

U Europskoj uniji autonomna vozila se klasificiraju prema regulaciji (EU) 2019/2144. Podjela je izvršena na sljedeći način:

Automatizirano vozilo - znači motorno vozilo konstruirano i izrađeno kako bi se kretalo autonomno tijekom određenog vremenskog razdoblja bez stalnog nadzora vozača, ali u odnosu na koje se intervencija vozača ipak očekuje ili je potrebna; [21]

Potpuno automatizirano vozilo - znači motorno vozilo koje je konstruirano i izrađeno kako bi se kretalo autonomno bez ikakva nadzora vozača. [21] (*UREDBA (EU) 2019/2144*)

Razine	Tip automatizacije	Primjer	Mjesto korištenja	Prestanak rada sustava AV
0	Vozač upravlja svim ili dijelom zadataka vožnje			
	Bez automatizacije	Automatizacija nije prisutna nigdje	Nije primjenjivo	Nije primjenjivo
1	Vozačevo sudjelovanje	Prilagodljivi tempomat ili sustav održavanja u traci	Određene ceste	Vozač i dalje upravlja svim bitnim zadacima vožnje
2	Djelomična autonomnost	Prilagodljivi tempomat i sustav održavanja u traci	Određene ceste	Vozač i dalje upravlja svim bitnim zadacima vožnje
3	Sustavi autonomne vožnje upravljaju svim zadacima vožnje			
	Uvjetna autonomnost	Automatizirana vožnja na autocestama	Određena područja i ceste	Vozač preuzima kontrolu nakon upozorenja
4	Visoka autonomnost	Automatizirana vožnja u centru grada	Određena područja i ceste	Sustavi autonomne vožnje sigurno zaustavljaju vozilo
5	Potpuna autonomnost	Automatizirana vožnja svugdje	Svugdje na cesti	Sustavi autonomne vožnje sigurno zaustavljaju vozilo

Tablica 1: Razine autonomnosti vozila s primjerima

Izvor: Mandžuka, S. , Vučina, A. , Škorput, P. : PRIMJENA AUTONOMNIH VOZILA U KRIZNIM SITUACIJAMA

„Razina 0 („no automation“): moguća je samo trenutna intervencija (nema stalnu kontrolu nad vozilom). Izdaje potrebna upozorenja.

Razina 1 ("hands on"): vozač i dalje upravlja vozilom (ruke na upravljaču), ali sustav održava ili mijenja brzinu vozila ovisno o dolaznim podacima (aktivni tempomat). Također, sustav može kontrolom motora ili kočnica usporiti vozilo u slučaju potrebe ili osnovnih funkcija poput promjene trake.

Razina 2 ("hands off"): Upravljanje „bez ruku“ – sustav ima potpunu kontrolu: ubrzanje/usporavanje, kočenje i upravljanje. Vozač je obavezan biti u automobilu za upravljačkim mjestom i biti spreman reagirati ukoliko sustav ne donese pravu odluku.

Razina 3 ("eyes off"): razina na kojoj se vozač može dodatno opustiti i svoju pažnju posvetiti multimediji ili obavezama. Vozilo donosi sve odluke i ima zadano reagiranje u kriznim situacijama sa vremenskim rokom u kojem je vozač dužan uključiti se u upravljanje i donošenje odluka.

Razina 4 ("mind off"): razina gdje vozač ima pravo napustiti vozačko mjesto – potpuna autonomnost vožnje (uz određene iznimke). Autonomna vožnja je dozvoljena samo u područjima koja su za to predviđena (prošla su određena mapiranja prostora i testiranja). Ukoliko se vozilo nađe u kriznoj situaciji a vozač nije preuzeo kontrolu – prebaciti će se na sigurno mjesto (parking) i pričekati vozača da preuzme kontrolu.

Razina 5 („steering wheel optional“): nema potrebe za ljudskom intervencijom. [11]

2.1 Povijest i razvoj tehnologija autonomnih vozila

Prva primjena se događa u jedrilicama i brodovima, da bi od 30tih godina prošlog stoljeća postala sve češći dio zrakoplova. Danas je jedna od glavnih tehnologija avio kompanija upravo autopilot. Nakon toga započinje san američke kompanije General Motors o razvoju autonomnog vozila.

Prvi problemi nastaju zbog puno kompliciranijeg sustava koji je potreban za autonomne automobile. Problemi su počeli od pješaka, loše označenih cestovnih puteva i svih nepravilnosti koji se svakodnevno pojavljuju u prometu. Također, velika i bitna stvar je sama sigurnost te reagiranje vozila u kriznim situacijama.

Prvi pokušaji bili su dosta primitivni, jer su se bazirali na tehnologiji čeličnih dijelova ispod sredine svake trake na taj način donekle držali smjer kretanja vozila (pametne autoceste). Krajem 1970-ih godina pojavio se prvi prototip, a 1993. „projekt PROMETHEUS„ je demonstrirao potpuno samostalno vozilo (Mercedes Benz S-klasa) koja je u normalnom prometu vozila brzinama do 170 kilometara na sat (autoput).

Trenutno najveći napredak pokazuje tvrtka Tesla, kod koje je autonomno upravljanje po autocestama implementirano kao dio serijske opreme u svim modelima. Ostali proizvođači također razvijaju autonomna vozila, dok tvrtka Bosch razvija brojne pomoćne sustave koji bi se trebali naći u istima. [17]

Ernst Dickmanns je bivši profesor aeronautike na Sveučilištu Bundeswehra (u Minhenu), a smatraju ga pionikom ovog područja. Početkom 80-ih godina prerađen je Mercedesov kombi sa daljinskom kontrolom gdje se pomoću računalnih naredbi kontrolirati upravljač, mjenjač i kočnice. Odluke su bile bazirane na podacima u realnom vremenu pomoću kamere. Zbog slabije tehnologije nije bilo moguće koristiti GPS sustav, a navigacija vozila je odrađena uz pomoć sofisticirane računalne vizije. Profesor Dickmanns pronalazi rješenje „4-D pristupom“ pomoću kojega dobiva rekonstrukciju koja se sastoji od tri dimenzije u prostoru i jedne izražene u vremenu. Vrhuncem rada profesora Dickmanns-a smatra se trenutak kada je 1990-ih godina preuredio Mercedes-Benz S-klase. Vozilo je sadržavalo četiri crno-bijele video kamere, milimetarski radar i čak osam mikroprocesora za prepoznavanje objekata i mogućnost autonomnog upravljanja. Na demonstraciji kroz Njemačku i Dansku dva vozila su prešla udaljenost od 1785 km. Tom prilikom 95 % vožnje bilo je autonomno, gdje je autonomnom vožnjom najviše u komadu odvoženo 158 km, najveća brzina kretanja bila je 175 kilometara na sat.

Agencija za obrambene napredne istraživačke projekte (eng. Defense Advanced Research Projects Agency - DARPA) koja je organizirala prvo takvo natjecanje (utrku) pod nazivom „DARPA Grand Challenge“ (2004.g.). Prvo mjesto osvojilo je vozilo Volkswagen Touareg (Stanley) koji je nastao u suradnji između Sveučilišta Stanford i Volkswagenovog Laboratorija za elektronička istraživanja iz Silicijske doline u Americi.[13] Bilo je potrebno savladati put od 212 kilometara kroz deset sati uz simulirane uvjete koje je uspjelo savladati samo pet od 23 natjecateljskih vozila.

Pobjedničkom vozilu – Stanleyju, prepoznavanje puta omogućavaju senzori okoline koji se nalaze na krovu vozila, a oni su pet laserskih daljinomjera koji skeniraju teren 25 metara ispred vozila, video kamera zadužena za snimanje puta izvan dosega laserskih senzora, te dva radara koji očitavaju podatke do 200 metara udaljenosti – pozicionirani sa prednje strane vozila. Laserski elementi pružaju identifikaciju, dok software uspoređuje podatke sa video zapisom na kameri i na taj način stvara sliku područja po kojemu se vozilo može sigurno kretati. Radi lociranja vozila na krovu su postavljene tri antene (GPS).

Radi veće preciznosti u prtljažniku se nalazi inercijska mjerna jedinica i odometar, koriste se zbog određivanja točne brzine i u slučaju zakazivanja GPS sustava. Na krovu se također nalazi bežični E-Stop (eng. Emergency Stop) sustav sačinjen od tri GPS antene i radio antena. Koristi se za sigurno zaustavljanje u kriznim situacijama. Softverski dio odrađuje šest procesora uz pomoć Linux operacijskog sustava. Tri procesora su zadužena za

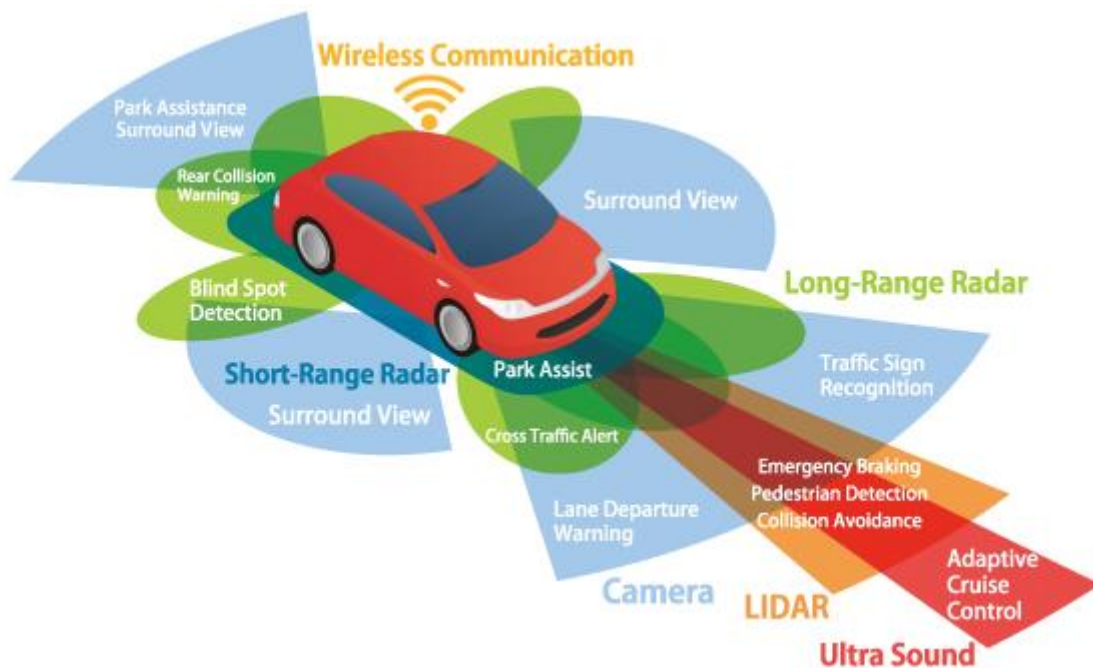
pokretanje softvera za utrku, a jedan za prikupljanje podataka. Preostala dva miruju i služe kao back-up procesori. [13]

2.3 Podjela sustava autonomnih vozila

2.3.1 Sustav senzora

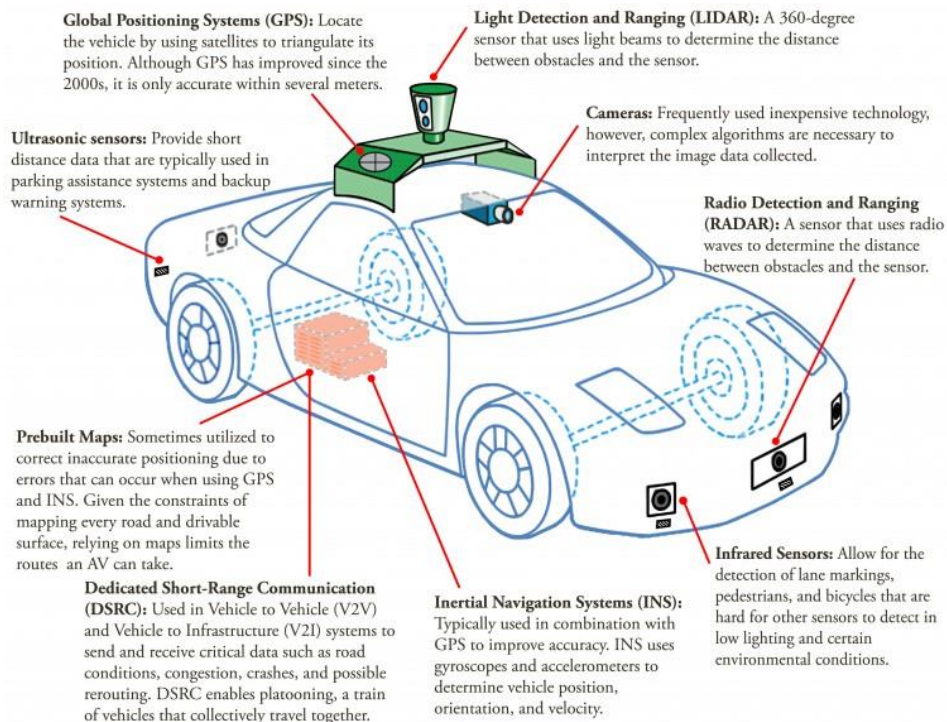
Sustav senzora služi za prikupljanje potrebnih podataka u stvarnome vremenu, a sastoji se od brojnih senzora. Dobivene podatke i informacije koristi za sve potrebne izračune. Neki od njih su: navigacija vozila, stvaranje ruta, prostorna udaljenost (prepreke) i dr. . Sami senzori u ovome sustavu dijele se na dvije grupe:

1. Senzori kratkog dometa: ultrazvučni, infracrveni i kapacitivni senzori.
2. Senzori srednjeg/dugog dometa: RADAR, LIDAR, GPS i računalni vid (eng. Computer vision)



Slika 1: Sustavi senzora na automobilu

Izvor: <https://www.landmarkdividend.com/self-driving-car/> , preuzeto: 5.1.2021. g.



Slika 2: Tehnologija vozila

Izvor: <http://css.umich.edu/factsheets/autonomous-vehicles-factsheet> , preuzeto 5.1.2021.g.

2.3.2 Klijentski sustavi

Klijentski sustav u autonomnim vozilima služi za obradu potrebnih podataka i informacija. Iz toga vozilo može odrediti položaj vozila i interpretirati okolinu. Također, pomoću tih informacija sustav odlučuje o postupcima u nastavku vožnje.

Pozicioniranje, detekcija i praćenje objekta su tri glavna parametra kod interpretacije okoline. Dobivene informacije od senzora sustav dalje prosljeđuje na obradu pomoću postavljenih algoritama koji ih dalje dijele na visoku, srednju i nisku razinu. Na srednjoj razini dolazi do spajanja dobivenih podataka, dok se na visokoj analiziraju i preispituju odluke sustava donesene na prijašnjim informacijama. Nakon toga se zadnja verzija šalje akcijskom sustavu kako bi izvršio naredbu.

2.3.3 Akcijski sustavi

Naredbe koje klijentski sustav odredi šalju se akcijskom sustavu koji ih sprovodi pomoću mehaničkih elemenata sustava. Neki od njih su: kočioni, pogonski i upravljački sustavi.

2.3.4 Korisnički sustavi

Korisnički sustavi su stvoreni kako bi sam korisnik mogao komunicirati sa vozilom. Sve važne informacije hardware-a i software-a mogu biti prikazane korisniku ili izvršiti njegove naredbe po potrebi.

Korisnički sustav korisniku pruža informacije o okolini, prometu i svim uvjetima kako bi se korisnik mogao opustiti u vožnji. Cilj je ukloniti korisničke komande poput upravljača, pedala i ostalih elemenata za vožnju, te ih zamijeniti sa ekranima i glasovnim naredbama pomoću kojih će korisnik unijeti rutu vozila ili ga zaustaviti/pokrenuti. Uz to, ista vozila će pružati i sustave za zabavu vozača (filmovi, aplikacije i dr.) koje bi trebale biti dostupne na ekranima uz mogućnost kontrole preko pametnih telefona.

2.4 Primjena autonomnih vozila

Glavni razlog razvijanja ove tehnologije je transport. Vozila bez vozača će omogućiti transport ljudi privatno ili u obliku dijeljenja prijevoza (robo-taxi). Prednost ovakvog prijevoza je problem dovoljnog broja parkirnih mjesta u gradovima i način transporta koji pruža privatnost u odnosu na klasični javni prijevoz. Trenutni razvoj potpune autonomnosti se bazira na ADAS (eng. Advanced Driver Assistance Systems) sustavu koji je uzrokovao pojavu brojnih drugih korporacija da sudjeluju u utrci za autonomno vozilo. Tu je i Google sa svojim Waymo vozilom, ali i vozila razvijena od strane Lyft-a i Uber-a.



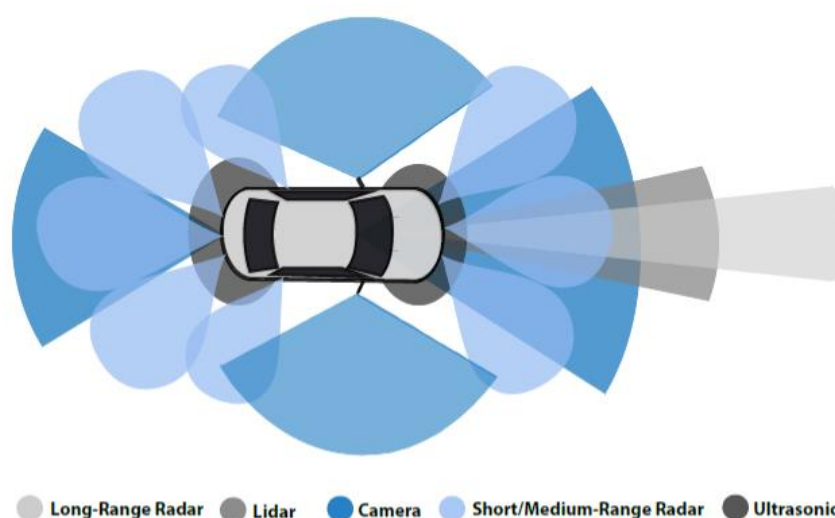
Slika 3: Waymo autonomno vozilo

Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Waymo_Chrysler_Pacifica_in_Los_Altos,_2017.jpg, preuzeto: 6.6.2021.g.

3. SENZORI AUTONOMNOG VOZILA

Ne postoji savršen senzor. Zbog toga se koristi kombinacija više tipova senzora, pa čak i kada je riječ o istom senzoru proizvedenim od strane više proizvođača, treba uzeti u obzir željene parametre. Bitan dio autonomnih vozila je shvaćanje rada svakog senzora i upoznavanje sa njegovim područjem rada i granicama kako bi odabrali najbolju opciju.

U autonomnom automobilu koristi se veliki broj senzora kako bi se pokrila sva područja i predvidjele sve moguće situacije.



Slika 4: Primjer konfiguracije senzora

Izvor: H. Sjafric (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology, Chapman and Hall/CRC

3.1 Radar

Radar (eng. Radio detection and ranging) je senzorska tehnologija koja odašilje radio valove kako bi detektirao i pratio objekte. Razvojem novijih tipova (77 GHz i 79 GHz) dolazi do bolje rezolucije rada i preciznosti, što ima veliku ulogu u razvoju autonomnih vozila. Radar se pokazao kao jedan od najšire korištenih senzora u modernim vozilima. Ima ključnu ulogu u ADAS (eng. Advanced driver assistance systems), ACC (eng. Adaptive cruise control), nadziranje mrtvog kuta i pomoć pri mijenjaju traka.



(a)

(b)

Slika 5: a) Continental long-range radar , b) Bosch mid-range radar

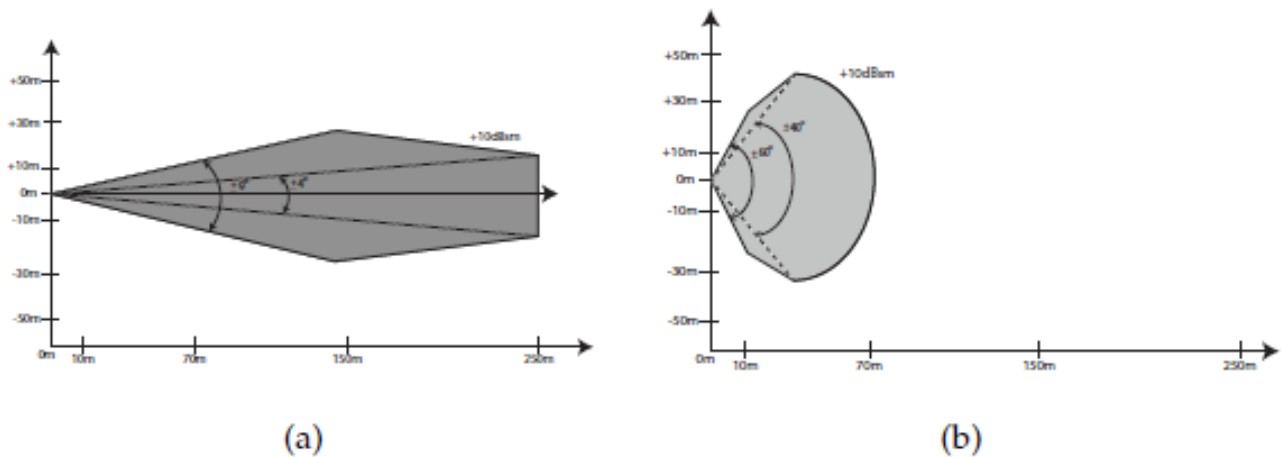
Izvor: Bosch Media Service (Robert Bosch GmbH) / H. Sjafrie (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology

Radarska tehnologija koristi eho tj. emitira impulse radio valova koji se reflektiraju od objekata u okolini. Povratni valovi donose informacije o smjeru, udaljenosti i veličini. Radar može odrediti smjer kretanja i brzinu pomoću više uzastopnih zraka i računanja potrebnih podataka. Da bi dobili dodatne informacije o poziciji potrebno je postaviti više radara na različita mjesta i skenirati isti objekt. Doppler radar dodatno povećava mogućnost analize faze valova i promatra razlike u poziciji, obliku i izgledu povratnog vala. Na taj način dobivena informacija dalje utječe na žaljene promjene u sustavu. Npr. pozitivna promjena pokazuje da se objekt kreće prema radaru, a količina promjene se koristi za određivanje brzine.

Zbog moguće pokrivenosti na velikim udaljenostima i Doppler funkcije, radar je postao glavni senzor za detekciju i praćenje udaljenih objekata. Pruža veliki broj prednosti kao što su: korištenje neovisno o osvjetljenosti okoline, neovisan je o elementarnim uvjetima, radi na velikim brzinama, tolerancija na vjetar, pruža odličnu rezoluciju na udaljenostima od čak 250 metara i cijena mu je prihvatljiva.

Negativna strana su lošiji rezultati kod ne-metalnih objekata i njegov uzak početni kut. Postoje opcije za podesiti početni kut ovisno o brzini kretanja objekta.

Primjer: Kada se vozilo kreće velikom brzinom – sustav smanji početni kut kako bi dobio veću udaljenost, ali u slučaju gradske – sporije vožnje, početni kut se postavlja na maksimalnu vrijednost kako bi mogao očitati bliske objekte kao što su pješaci, biciklisti i ostali sudionici.



Slika 6: a) Kut radara na velikoj udaljenosti , b) Kratka udaljenost
 Izvor: "ARS 408-21 Premium Long Range Radar Sensor 77 GHz Datasheet" by Continental.
 ©2017 Continental AG / H. Sjafric (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology

3.2 Lidar

Lidar (eng. Light detection and ranging) je tehnologija bazirana da istim principima kao radar tj. određuje lokaciju i udaljenost objekta ovisno o povratnoj informaciji vala (energije). Lidar koristi lasersku svjetlost umjesto radio valova.

Koristi se zbog visoke rezolucije i detekcije ne-metalnih objekata. Pruža mogućnost 3D mapiranja prostora i okruženja te se zbog toga primjenjuje u autonomnim vozilima. Tvrtke poput Tesle i Rimac automobila rade posebne 3D mape kako bi imali preciznu lokaciju i navigaciju u prostoru.

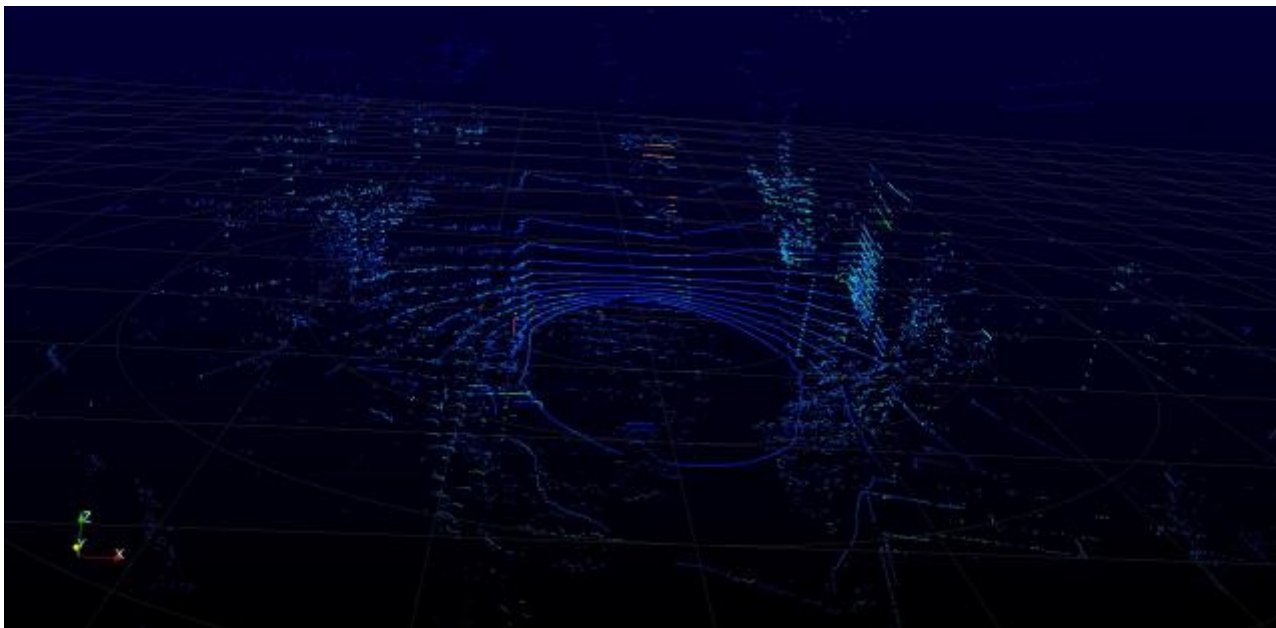
Zbog zdravlja ljudi potrebno je limitirati snagu svjetlosnih zraka na klasu 1 laserskih proizvoda. Lidar odašilje veliku količinu uzastopnih zraka (nekoliko stotina tisuća u sekundi). Moderni lidar uređaji odašilju kanalno zrake tj. vertikalno poredane zrake kako bi odmah mogli odrediti i visinsko skeniranje. Taj način je jedan od ključnih dijelova prepoznavanja objekata.

Sastoji se od tri glavne komponente:

- Laserske diode – odašilju zraku
- Foto-diode – primaju povratnu zraku
- Servo-montirano ogledalo – horizontalno i vertikalno usmjeravanje

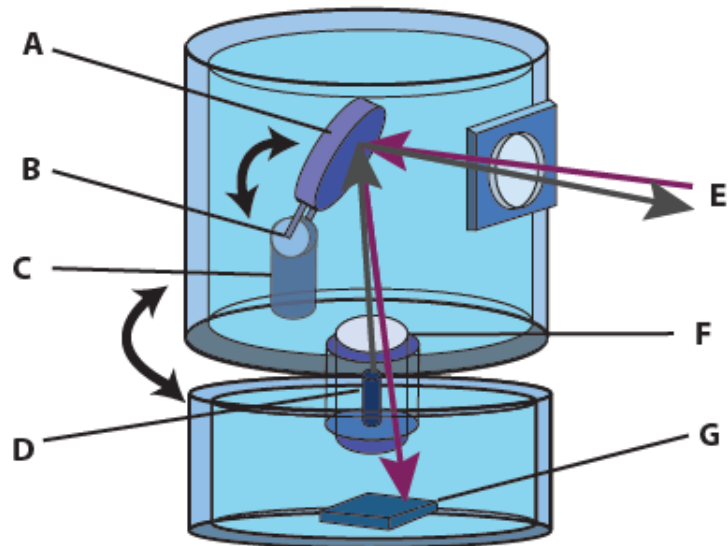
Povratnu informaciju obrađuje procesorska jedinica i stvara „point cloud dana“ tj. skupinu piksela koji predstavljaju udaljenost i točnu lokaciju te na kraju stvaraju 3D koordinate.

Daljnjom obradom podataka algoritmi prepoznaju objekte kao što su drugi automobili, ljudi itd.



*Slika 7: Prikaz sirovih podataka na senzoru (3D)
Izvor: H. Sjafrie (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology*

Na slici 7 su prikazane ključne komponente senzora i prikaz njihovog rada. Laserska zraka se navodi kroz ogledalo koje rotira servo motor. Ogledalo se može i nagnuti kako bi emitiralo zrake različitih kutova. Optički enkoder daje povratnu informaciju servo motoru kako bi mogao precizno kontrolirati ogledalo. Povratne signale prima detektor (skup foto-dioda) i procesira ih preko jedinice za procesiranje senzorskih signala.



A : Tilting Mirror B : Optical Rotary Encoder C : Servo Motor D : Laser Source
E : Objects F : Optical Rotary Encoder G : Receiver

Slika 8: Pojednostavljeni prikaz djelovanja lidar senzora
 Izvor: H. Sjafric (2019.): *Introduction to Self-Driving Vehicle Technology*

Prednost malog raspona zraka i dugačkog odašiljanja je razlog zbog kojega se ovaj senzor koristi za 3D mapiranje prostora. Koristi se i za natkrivene prostore te područja gdje nisu dostupne GNSS / GPS usluge.

Uz sve dobre primjene ove tehnologije u autonomnim i pametnim vozilima – jedini problem lidar senzora je cijena. Zbog trenutne visoke cijene puno novih automobila serijske proizvodnje ne sadrži ovu tehnologiju.

Upravo zbog toga se trenutno razvija „solid-state“ lidar koji nema rotacijskih dijelova kako bi smanjili cijenu i veličinu samog senzora.

Negativna strana ove tehnologije je njena neotpornost na elementarne uvjete zbog reflektiranja u magli i prašini. U slabim vremenskim uvjetima stvaraju određeni dio smetnji pa ih je nekada teže koristiti od radara, ali taj problem je riješen pomoću algoritama za filtriranje. Također, postavljanje senzora iza stakla u automobilima dodatno poboljšava njegov rad u smislu smetnji, ali na toj lokaciji postoji problem sa percepcijom od 360 stupnjeva i radom drugih senzora (kamere i senzori za kišu).

3.3 Ultrazvučni senzori

Moderni ultrazvučni senzori pružaju puno više od parking-senzora. Koriste se unutar vozila za kontrolu naredbi bez dodira (zračne komande). Odašilju zvuk i u odnosu na povratnu informaciju računaju potrebne podatke (udaljenost). Zbog širokog kuta otvaranja i preklapanja signala može se odrediti točna pozicija – sličan princip kao satelitska navigacija.



Slika 9: Bosch ultrazvučni parking senzori

Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VW_Golf_VII_-_Parking_sensor_02.jpg,

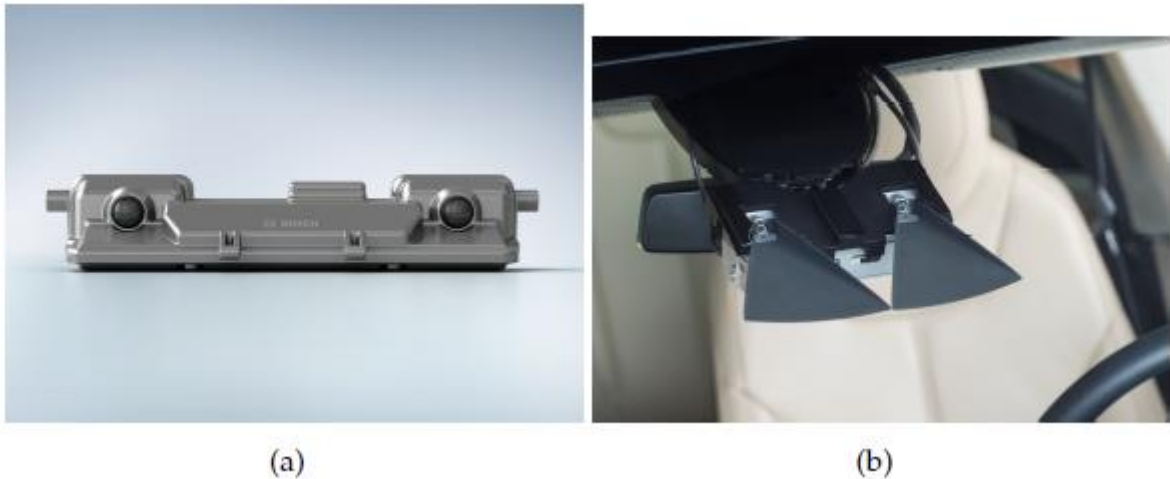
Pozitivna strana je cijena, primjena u parking sensorima i nije osjetljiv na vremenske uvjete.

Senzor ne daje puno informacija, većinom samo udaljenost od objekta, ali je prikladan za autonomna vozila zbog očitavanja i ne-metalnih objekata.

Negativna strana je njegova jednostavnost i niska rezolucija, te njegova namjena da radi većinom pri malim brzinama. Osjetljiv je na visoke frekvencije koje se mogu pojaviti u gradskim gužvama te zbog toga može zakazati u određenom trenutku i imati kriva očitavanja.

3.4 Kamere

Kamere u automobilima se koriste za razne prikaze, ali i za razne ADAS inovacije poput upozorenja za napuštanje trake, upozorenja brzine sve do autopilota tj. autonomne vožnje.



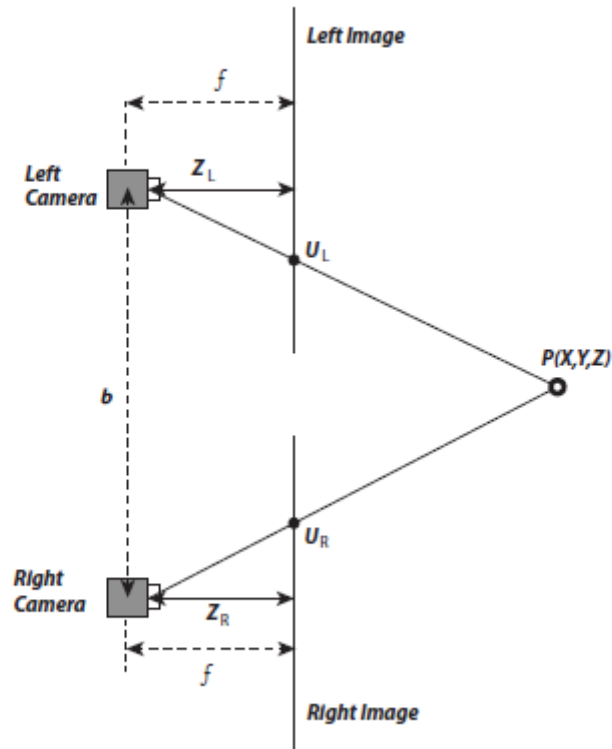
Slika 10: a) Bosch stereo video kamera, b) Lokacija kamere na prednjem staklu
Izvor: H. Sjafric (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology

Kamere su pasivni senzori za razliku od prethodno navedenih senzora. Pasivno primaju svjetlosne zrake i ne prenose aktivno nikakvu energiju. Sastoje se od 3 glavne komponente:

- optika
- senzor prikaza
- procesor prikaza

Sam dizajn kamere ovisi o njejoj primjeni. Kamera sa slike 9 b) se nalazi na prednjem dijelu vozila i ona ima leću za velike udaljenosti i filter kako bi mogla vidjeti u uvjetima niskog osvjetljenja. Dok kamere za pogled iza vozila najčešće koriste široki kut i malu udaljenost. Senzor prikaza i procesor zaduženi su da snime, filtriraju i obrade prikaz u digitalni oblik koji se može prikazati. Kamere u autonomnim vozilima su puno kvalitetnije i sadrže snažan procesor digitalnog signala koji im omogućava detekciju objekata, čitanje znakova i ostale zadatke.

Slika 9 a) prikazuje stereo kameru – to su dvije mono kamere koje su okrenute u istom smjeru kako bi se mogla računati udaljenost. (Slika 10)



Slika 11: Kalkulacija udaljenosti pomoću stereo kamere
 Izvor: H. Sjafric (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology

Obje kamere imaju istu fokalnu udaljenost (f), točka $P(X,Y,Z)$ je projektirana kao U_L i U_R . Udaljenost između njih je disparitet i računa se kao:

$$d = f \cdot b / z$$

gdje je b udaljenost između dvije kamere. A z je udaljenost između kamere i stvarne točke P .

Računa se kao:

$$z = f \cdot b / \text{disparitet}$$

Glavna prednost stereo kamere je mogućnost traženja pomoću drugih senzora kako bi se stvorila stalna slika okruženja. Za tu metodu se koriste razni algoritmi (Area-based algorithms) koji razmatraju mali dio jedne slike i traže točno taj dio u sljedećoj. „Feature-based algorithms“ su algoritmi koji traže jedinstvene dijelove slike da bi ih spojili – koriste se kada nije potrebna cijela slika prostora nego manji specifičan dio koji sadržava rubove, kutove i linije. Epipolarna geometrija se koristi kao baza za smanjenje kompleksnosti pretraga u algoritmima. Na taj način pomoću epipolarnih linija slika se veže na sljedeću. Time je omogućeno generiranje 360 stupnjeva slike.

U usporedbi sa drugim senzorima, kamere prepoznaju širi spektar frekvencija (boje). Ta tehnologija im omogućava razne tehnološke prednosti poput prepoznavanja znakova, prometnih traka itd... .

Prednost je cijena, koja je manja u usporedbi sa tehnologijama poput radara ili lidar-a. Treba obratiti pažnju na negativne strane poput osjetljivosti na osvjetljenje i vremenske uvjete. Kamere imaju problem sa radom kada u njih udara direktno sunčevo svjetlo.

3.5 GNSS

GNSS je globalni navigacijski sustav satelita (eng. Global navigation satellite systems) koji je nastao u vojnim primjenama. Preteče GNSS-a su Navstar tj. GPS koji je razvijen od strane američkog ministarstva obrane.

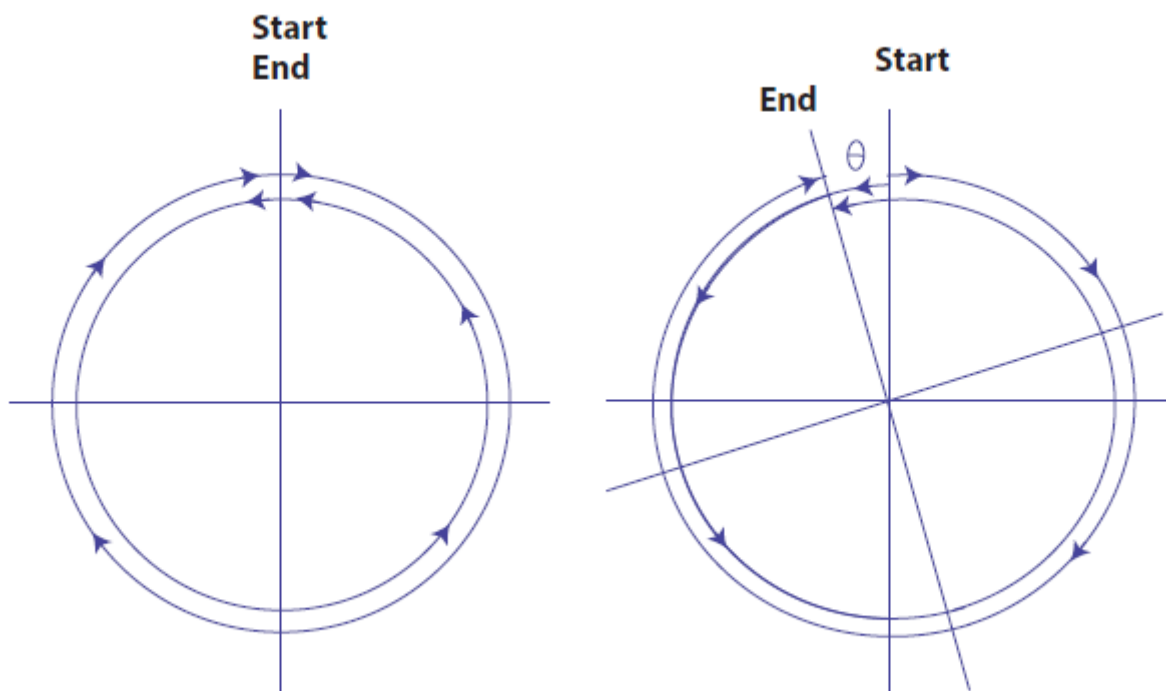
U Europskoj Uniji je razvijen Galileo, u Rusiji GLONASS, a u Kini BeiDou sustav.

GNSS sustavi su jedna od ključnih tehnologija za autonomna vozila. Njihove informacije omogućuju digitalnu kartu i prikaz na ekranu, te opciju lociranja vozila u svakom trenutku. GNSS ne pruža maksimalnu preciznost pa se uz njega koristi i niz drugih senzora kako bi lokacija vozila bila što preciznija u stvarnome vremenu.

3.6. Inercijski mjerni uređaji

Tipično se sastoji od tri žiroskopa i tri akcelometra koji zajedno pružaju slobodu od šest stupnjeva. Bilježi koordinate X,Y i Z, ali i kotrljanje, nagibanje i naginjanje (eng. roll, pitch, and yaw). Neki napredniji modeli imaju i magnetometre kako bi imali slobodu od devet stupnjeva kretanja.

Koriste inercijske senzore pokreta (žiroskop). Preko njih očitavaju orijentaciju autonomnih vozila. Postoje mehanički i optički žiroskopi.



Slika 12: Sagnac efekt – djelovanje optičkih žiroskopa
 Izvor: H. Sjafric (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology

Na slici 11 je prikazan način rada optičkih žiroskopa. Na desnoj slici se vidi način kada su optičke zrake u suprotnim smjerovima, dok su na lijevoj strani stacionarni. Razlika u fazama zraka daje vrijednost kutne brzine.

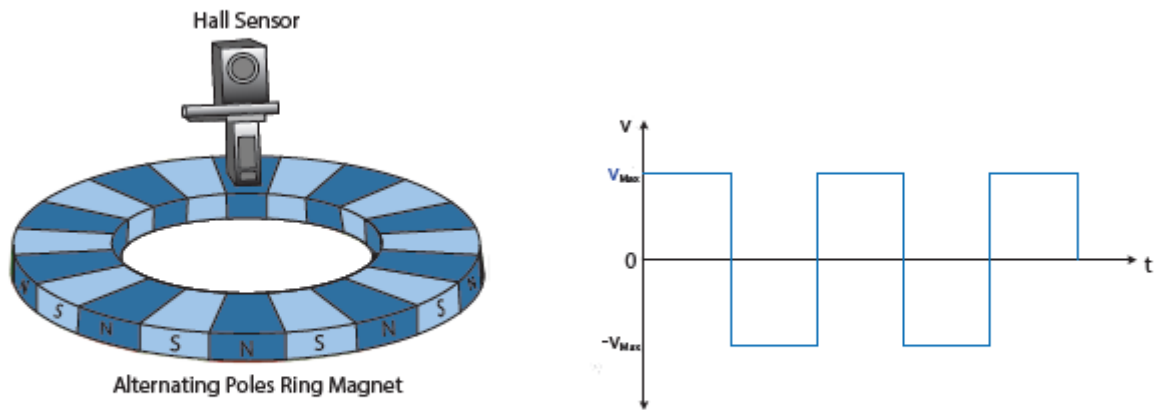
To su pasivni senzori koji su osmišljeni kako bi očitavali parametre u svim uvjetima. Autonomna vozila pouzdaju se u dotok bitnih informacija – koje im osiguravaju inercijski mjerni uređaji.

Neki uređaji u sebi imaju i dodan barometar kako bi mogli uračunati i tu vrijednost u algoritmu.

3.7 Odometar (mjerni kotač)

Poseban senzor koji je osmišljen da mjeri odaljenost koju napravi vozilo tako da množi rotaciju kotača sa promjerom kotača. U autonomnim vozilima implementira se u obliku senzora brzine vrtnje kotača. Nadzire broj okretaja svakog kotača posebno u odnosu na brzinu kretanja vozila. Pomoću njega je implementiran i ABS sustav koji zahtjeva točnu informaciju o brzini okretanja kotača.

Aktivni senzor brzine kotača koristi prsten sa izmjenjivim magnetskim polovima (slika 12). Izmjena magnetnih polova se detektira magnetnim otporom na Hall senzorima i pretvara u pulsno-širinski modulirani signal (PWM).



*Slika 13: Aktivni senzor brzine kotača – Hall efekt senzor
Izvor: H. Sjafric (2019.): Introduction to Self-Driving Vehicle Technology*

Vrijednosti očitane sa ovog senzora se kombiniraju sa vrijednostima koje pružaju GNSS i inercijski mjerni uređaji putem algoritama kao što je Kalman filter, te na taj način pružaju konstante točne informacije.

4. KOMUNIKACIJA

Glavni dio komunikacije autonomnih vozila je da budu kooperativna. Sustav za komuniciranje vozila i infrastrukture (eng. Vehicle to Infrastructure) i vozila prema drugim vozilima (eng. Vehicle to Vehicle - V2V) su oboje od velike važnosti za kooperativnost autonomnih vozila. Također, V2X (eng. Vehicle to Everything) ili komunikacija vozila prema svemu u okolini – pruža potrebne informacije, te pridonosi na preciznosti rada sustava.

Komunikacija vozila i infrastrukture važna je za prometnu koordinaciju i upravljanje autonomnim vozilima. Na infrastrukturu su postavljeni sustavi za nadziranje koji prikupljaju potrebne podatke u prometu. Ti podatci se analiziraju u stvarnom vremenu i koriste se u protoku prometa. Ide se ka tome da informacije koje pruža infrastruktura upravljaju vozilom preko bežičnih komunikacijskih sutava (kratkog dometa) radi gustoće prometa, samog razmaka među vozilima i brzine kretanja. Sama komunikacija vozila sa drugim vozilima (V2V) pruža suradnju između obližnjih vozila bez potrebe za intervencijom ranije spomenutih sustava (V2I). Cilj lokalne razmjene podataka i upravljanja između samih vozila stvorilo bi dodatnu sigurnost i bolji tijek prometa (eng. Traffic flow). Na taj način bi smanjili potrebu za skupom i naprednom infrastrukturom na svakom koraku, jer bi vozila odrađivala jedan dio direktno. Svakako je cilj imati što precizniji i pouzdaniji sustav koji koristi podatke iz svih podsustava.

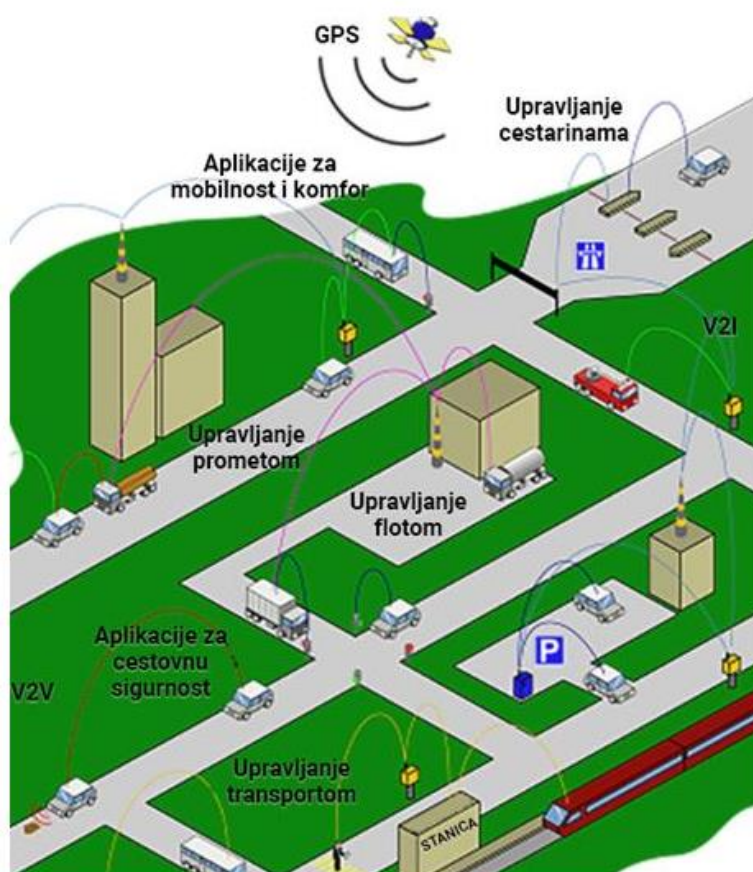
Kako bi sustav funkcionirao potrebno je razviti standard komunikacije kojim bi se služili tehnolozi i automobilska industrija radi komunikacije. To bi bila komunikacija kratkog i širokog dometa (eng. Short and long range communication) kojim se služi okruženje vozila u sustavu.

U Europi se koristi (odluka EU – 2008.g.) frekvencijski pojas u iznosu od 5.875-5.905 MHz u spektru sigurnosnih ITS aplikacija. Po prijedlogu EU koristi se bežična komunikacija kratkog dometa (ITS-G5), koja je nastala kao bolja verzija standarda 802.11. kojemu domet dozvoljava udaljenost od 1 kilometra, ali se dvostruko manja vrijednost smatra pouzdanom. Bežična komunikacija kratkog dometa u EU koristi ad-hoc mrežnu topologiju (bez fiksne strukture) koja omogućava da vozila i ostali učesnici sustava prometa imaju lokalnu komunikaciju bez posredničkog sustava. Postoji rizik od preopterećenja budući da podatci ne idu kroz posrednički veći sustav. Cilj je smanjiti zagušenja u komunikaciji DCC mreža. DCC je spoj različitih tehnika kojima se izbjegava veće opterećenje mrežnog kanala.

Pojavom 5G mobilne mreže očekuje se veliki broj dodatnih usluga koje bi povećale kvalitetu i sigurnost komunikacije vozila prema svim ostalim korisnicima (V2X) .

4.1 Kooperativno prometno okruženje

Skup sustava u prometu čija komunikacija se vrši dvosmjerno naziva se kooperativno prometno okruženje, te je vrlo bitan element u kvaliteti prijenosa informacija. Samo okruženje je sačinjeno od ljudi, tehnologija i drugih čimbenika čiji zadatak je da vozilo komunicira bežično sa svim drugim sudionicima prometa.



Slika 14: Kooperativno prometno okruženje
Izvor: <http://www.marben-products.com/> , preuzeto: 9.1.2021.g.

Slika 13 predstavlja primjer funkcioniranja kooperativnog prometnog okruženja i komunikacije među vozilima. Sustav pruža puno korisnih informacija u stvarnome vremenu.

Nova generacija inteligentnih transportnih sustava, koji dijele informacije na manjim udaljenostima su podijeljeni na sljedeći način:

- komunikacija između samog korisnika i vozila
- komunikacija između vozila
- komunikacija između vozila i infrastrukture

- komunikacija između infrastrukture i mreže

Za kooperativne vrijedi da pridonose dostupnosti informacija u stvarnom vremenu i kontroliraju promet. Povećavaju sigurnost i pomažu u izbjegavanju kritičnih situacija uz pomoć sigurne udaljenosti.



Slika 15: V2X primjer

Izvor: <http://www.ieeevtc.org/vtc2018spring/>, preuzeto: 9.1.2021.g.

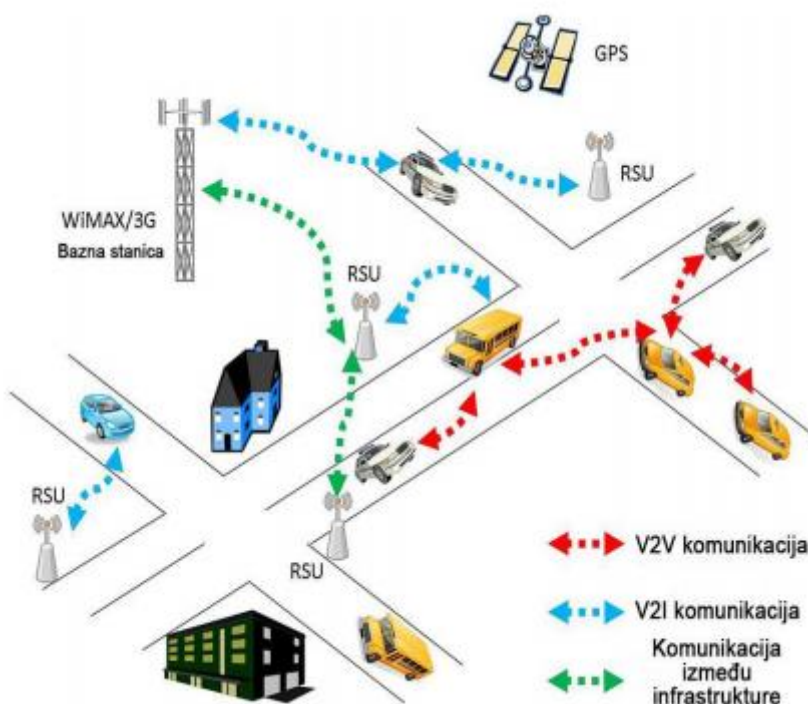
Slika 14 prikazuje primjere vrsta komunikacije kod autonomnog vozila. V2X donosi sljedeće prednosti: pomoć vozaču kao „pametni“ asistent, izbjegavanje kolizije, nadzor položaja i brzine kretanja. Uz pomoć infrastrukture regulira se promet, brzina, razmjena informacija i dr. Komunikacija između vozila i pješaka (V2P) pomaže pri dodatnoj sigurnosti i izbjegavanju nezgoda. Sva komunikacija se odvija preko glavnog servera tj. komunikacije vozila sa mrežom – V2N.

Napredovanjem komunikacijskih tehnologija napreduje i sam prometni sustav zbog dostupnosti i protoka novih podataka i načinima pametnog upravljanja. Cilj je pružiti vozilima što više senzora kako bi mogli očitati što više korisnih podataka u stvarnom vremenu. Potrebna je i potpora drugih sustava kako bi se ti isti podatci razmjenjivali, a vozači imali sve potrebne informacije (ili sama vozila).

Zbog novonastalih potreba došlo je do razvoja ad-hoc mreža. Ad-hoc mreže vozila nemaju uravnoteženu topologiju zbog stalnog kretanja vozila. Ova tehnologija ima svoje mane (prekidi, gubitak informacija). Standardi mobilnog umrežavanja (bežično) su sljedeći:

- bluetooth IEEE 802.15.1 za privatne mreže
- standard 802.11 za bežične mreže.

Ad-hoc mreže su u početku nastale kao podskupina mobilnih mreža. Posjeduju jedinstvene karakteristike: dinamičan rad, kratko trajanje, dobar kapacitet, broj korisnika nije ograničen, poznati parametri rada (čvorovi).



Slika 16: Komunikacija u ad-hoc mreži
Izvor: <https://bib.irb.hr/>, preuzeto: 6.1.2021.g.

Na slici 15 prikazana je kooperativni komunikacijski sustav koji upozorava korisnike o brzini kretanja, mogućim situacijama, naglim promjenama i dr. Sustav komunikacije između vozila ima dodatne informacije koje mu daje sustav između vozila i infrastrukture, ali i između samih pod elemenata strukture.

4.2 V2X

Vozilo prema svemu (eng. Vehicle to Everything) – je tip komunikacije koji stvara socijalnu inteligenciju, djelovanje ITS-a kao poboljšanje prometnog sustava promatra se podjelom sustava vezanih uz infrastrukturu i kooperaciji vozila i sustava.

Kooperacija vozila i sustava:

- navigacija;
- sustavi upozorenja;
- pametna kontrola brzine vozila;
- sustavi za krizne situacije.

Sustav se sastoji od više sudionika prometa, a obuhvaća sve od vozila pa do ostalih korisnika i infrastrukture. Svako od njih se promatra kao sustav za sebe, ali su i svi ti sustavi dio glavnog sustava. Sustav vodi računa o upravljačkim i operativnim potrebama prometnog sustava. Svaki sustav dobiva potrebne informacije kako bi mogao reagirati na vrijeme i ostvariti sigurni promet bez kriznih situacija. Sustav promatra prethodne situacije i na temelju njih predviđa moguće ishode i pruža važne informacije svim ostalim sustavima. Ovaj način predstavlja veću sigurnost i učinkovitiji promet zbog dostupnosti i protoka informacija.

4.3 V2V

V2V je tehnologija koja pruža komunikaciju između vozila, ali i povratnu informaciju (dvosmjerna komunikacija). Ovakvi sustavi za komunikaciju pružaju puno veću sigurnost u prometu i znatno manji broj kriznih situacija (nesreća, gužvi i dr.). Mreža sustava sadržava dvije vrste čvorova (jediničnih sustava): jedna vrsta su vozila, dok su druga prateće stanice koje imaju radni domet od 1000 metara. Obavijest drugim vozilima o promjeni smjera kretanja ili ceste ili informacije o stanju na križanjima. Direktna komunikacija između samih vozila pruža veću sigurnost u vidu smanjenja nesreća, smanjenja troškova, uštede vremena i goriva zbog obrade podataka u stvarnome vremenu. Glavni cilj je omogućiti siguran promet i dostupnost informacija (sa senzora) koje dalje idu u obradu unutar sustava.

Potrebne informacije koje sustav pruža:

- stanje prometa na raskrižjima;
- stanje prometa na autocestama;
- otkrivanje prepreka;
- upozorenja naglih zaustavljanja;
- izvješća o nesrećama.



Slika 17: Komunikacija među vozilima
Izvor: <http://www.kapsch.net/>, preuzeto: 10.1.2021.g.

Na slici 16 prikazan je primjer bežične komunikacije i razmjene informacija među pristupnim točkama. Komunikacija se vrši putem bežičnih mreža i fiksnog dijela infrastrukture na kojega su spojene bazne stanice. Tehnologije koje se koriste su bežične i najčešće se koriste WLAN i GSM.

Prednost autonomnih vozila je to da su oni sami pristupne točke, pa ne zahtijevaju veliku/nikakvu pripremu od strane infrastrukture. Takav način funkcioniranja specifičan je za ad – hoc mreže jer protok informacije ide preko čvorova koji su autonomni.

Standard „IEEE 1609“ – spada pod DSRC i koristi se za komunikaciju na manjim udaljenostima u sustavima za V2V i V2R. Pružaju velik prijenos podataka, ali imaju određena kašnjenja. DSRC sadrži sedam kanala:

- prvi kanal - sigurna komunikacija
- drugi kanal - sigurnu komunikaciju (kritični uvjeti)
- treći kanal – sigurna javna komunikacija (velika potrošnja)
- četvrti, peti, šesti i sedmi kanal - nesigurni

Zadnja četiri kanala su nesigurna jer se nalaze u sigurno/nesigurnom području.

Trenutno najbolja tehnologija po svim parametrima za prijenos podataka je u SAD-u, dok je Europa najlošija. IEEE 802.11b – protokol za bežičnu komunikaciju u sustavima između vozila, uz manje probleme uspostavljanja komunikacijske veze zbog brzine kretanja vozila. Zbog tih problema stvorena je nova verzija standarda „IEEE 802.11p“ pomoću koje se vrši komunikacija vozila pri velikim brzinama.

Parametri	IEEE 802.11b	IEEE 802.11p
Propusnost kanala	20 MHz	10 MHz
Prijenos podataka	1-11 Mbps	3-27 Mbps
Vrijeme utora	20 μ s	16 μ s
SIFS vrijeme	10 μ s	32 μ s
Preambula duljine	96 μ s (kratko), 192 μ s (dugo)	32 μ s
Vrijeme propagacije	< 2 μ s	<4 μ s
CW min	31	15
CW max	1023	1023

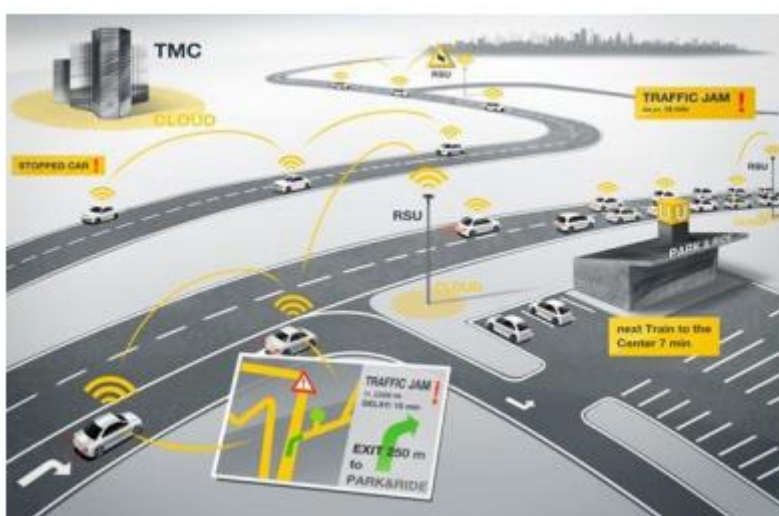
Tablica 2: Usporedba kanala komunikacije

Izvor: Bilgin, B. E.; Gungor, V. C.: Performance comparison of IEEE 802.11 p and IEEE 802.11 b for vehicle-to-vehicle communications in highway, rural, and urban areas, International Journal of Vehicular Technology 2013.

Tablica 2 prikazuje usporedbu kanala komunikacije ovih protokola.

4.4 V2I

Razmjena podataka između vozila i infrastrukture vrši se bežično i pruža dodatnu sigurnost u prometu. Komunikacija vozila i infrastrukture se vrši na način da vozila služe kao izvor trenutnih informacija i promjena u prometu, koje daljnja obrada koristi za povećanje sigurnosti. Koriste se senzori za mjerenje broja vozila na prometnicama zbog gustoće prometa, brzine, ubrzanje vozila, udaljenosti i slično te se ti podatci koriste kako bi pružili informacije korisniku vozila ili se koriste za direktno donošenje odluka, ovisno o stupnju autonomnosti.



Slika 18: Komunikacija vozila i infrastrukture
Izvor: <https://www.kapsch.net/>, preuzeto: 10.1.2021.g.

Na slici 17 je prikazan sustav u kojemu komuniciraju vozila sa infrastrukturom, ali i između samih vozila. Također, vozači dobivaju obavijesti o trenutnim uvjetima u prometu.

Sustav komunikacije unutar V2I sustava sadržava: OBU (eng. On Board Unit) tj. jedinicu unutar vozila koja nadzire vozilo, daje podatkovnu i govornu komunikaciju i određuje njegovu poziciju. Osim OBU-a, pomoć na cesti pruža RSU (eng. Road System Unit) i komunikacijski kanal sa potrebnom razinom sigurnosti. Bitno je pretpostaviti sve bitne točke u prometu i na njima postaviti sustave (raskrižja, gužve).

Također, za komunikaciju sa infrastrukturom, kao i kod sustava između vozila se koriste DSRC sustavi kratkog dometa. Kao pomoć glavnom sustavu koriste se i pomoćne tehnologije:

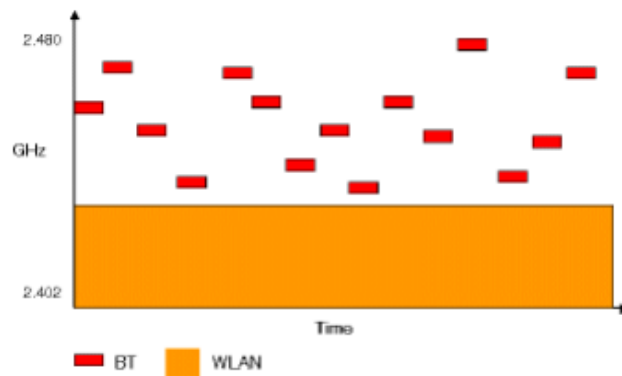
Bluetooth – bežični oblik komunikacije koji služi za povezivanje sustava i razmjenu podataka (informacija) uz visoku razinu sigurnosti, gdje se komunikacija vrši na kraćoj udaljenosti (u većini tipova). Prednost ove tehnologije je istovremena obrada i primanje podataka.

Bluetooth klase:

- klasa 3 - radio (do 1 metra)
- klasa 2 radio/mobilni uređaj (do 10 metara)
- klasa 1 industrijski radio (do 100 metara).

Rad bluetooth tehnologije vrši se u otvorenom području čiji raspon varira od 2.4 do 2.485 GHz Dostupna skoro svugdje u svijetu, najčešće je klasa 2 (2.5 mW energije). Primjena u sustavu komunikacije između vozila i infrastrukture, razmjena podataka vozila i sustava na semaforu ili raskrižju. Trenutno postoji više verzija bluetooth sustava koji kontroliraju promet. Tehnologija se nalazi u svim modernim uređajima uz mogućnost određivanja točke pozicije, što dalje spajanjem dvije različite adrese preko MAC adresa i izračunom donosi točno trajanje puta vozila.

Slika 18 prikazuje AFH (eng. Adaptive Frequency Hopping) bluetooth tehnologiju u odnosu na klasičnu WLAN tehnologiju, njeno djelovanje smanjuje interferencije koje se javljaju zbog zauzetosti spektra od 2.4 GHz, prouzrokovano većem broju bežičnih tehnologija u tom području. Ova tehnologija radi na principu skakanja po 1 MHz na 79 različitih frekvencija i koristi sve slobodne frekvencije te omogućava kvalitetan prijenos i minimalizira smetnje.



Slika 19: AFH tehnologija
 Izvor: <http://www.mogi.bme.hu/>, preuzeto 10.1.2021.g.

4.5 V2U

Sustav kooperativne komunikacije između vozila i korisnika (eng. vehicle to user), tu se radi o telekomunikacijskim uslugama u obliku mobitela (eng. hands-free), FM i radio sustava, navigacija i drugo. Ovaj sustav rezultira boljom održivošću (troškovi), dotoku trenutnih informacija. Sustavi za navigaciju pružaju informacije o vremenu, stanju promet, alternativnim rutama i drugo. RDS sustav koji je ugrađen u sustave poruka i znakova u prometu, a dalje ugrađen i u automobilske prijarnike pruža važne prometne informacije u stvarnome vremenu.

Pomoću radio sustava vrši se prijenos raznih bitnih informacija kao i obavijesti na kanalu za promet - TMC (eng. Traffic Message Channel) koji vozaču na ekranu prikazuje informaciju koja je njemu razumljiva pomoću dekodera. Radio sustav i TMC pružaju kvalitetan prijenos prometnih informacija prema vozilu i njihova primjena je kvalitetnija i bolja od trenutnih automatskih govornih poruka. Postoji problem sa ograničenim kapacitetom i problem kod odašiljanja poruka koje nisu dovoljno prilagođene samom vozaču (individualno) zbog RDS-ovog širokog područja. Budući da se radi o jednosmjernoj transmisiji vozač nema mogućnost postaviti pitanje u slučaju nedoumice. Tu su i navigacijski sustavi koji geoprostorno pozicioniraju vozilo sa velikom preciznošću (par metara pogreške). U Europi se koristi Galileo sustav koji funkcionira uz pomoć 30 satelita i mjeri sve potrebne informacije i parametre.

5. DETEKCIJA OBJEKATA

Jedna od glavnih funkcija autonomnog vozila je detekcija objekata. Ona je nužna za funkcioniranje, sigurnost, izbjegavanje nesreća i prepoznavanje okoline. Cilj autonomnog vozila je replicirati sve funkcije koje obavlja ljudski vozač. Neke od tih funkcija su sljedeće:

- prepoznavanje objekata u kretanju (vozila, pješaci)
- prepoznavanje infrastrukture (cesta, znakovi, semafori i dr.)

Kompjutersko učenje (eng. Deep learning) je jedna od novih tehnologija kojom autonomno vozilo savladava te zadatke.

Detekcija objekata se dijeli na dva glavna problema:

- lokalizacija objekta (određivanje granica zamišljenog okvira oko objekta)
- klasifikacija objekta (kategoriziranje detektiranog objekta u jednu od predefiniраниh kategorija)
- semantička segmentacija (podjela slike u semantički važne dijelove i klasifikacija istih dijelova u jednu od predodređenih semantičkih regija)



Slika 20: Lokalizacija i klasifikacija objekata
Izvor: [GoodFreePhotos.com](https://www.goodfreephotos.com/) / CC-Zero-1.0, preuzeto: 6.6.2021.g.

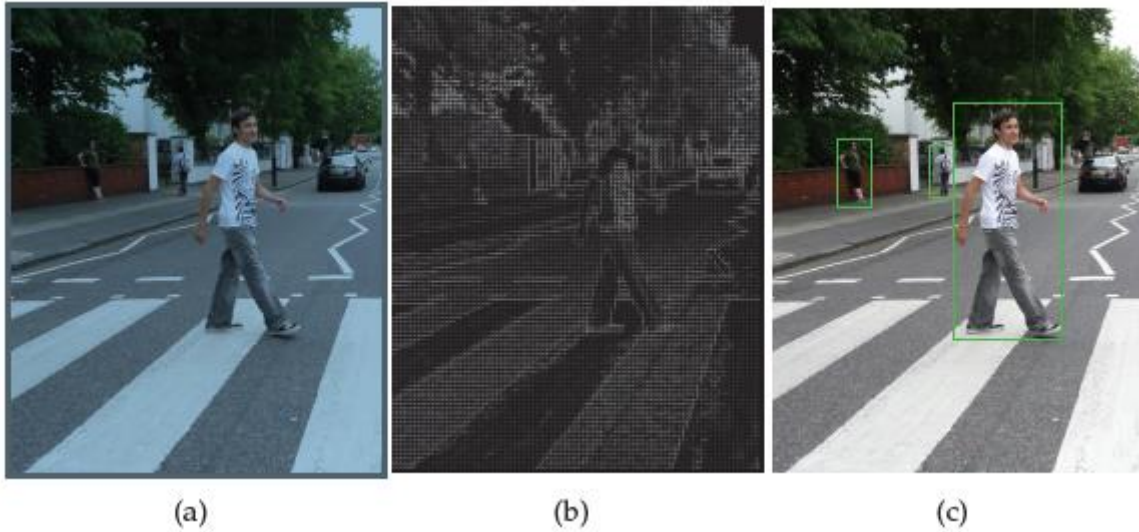


Slika 21: Semantička segmentacija

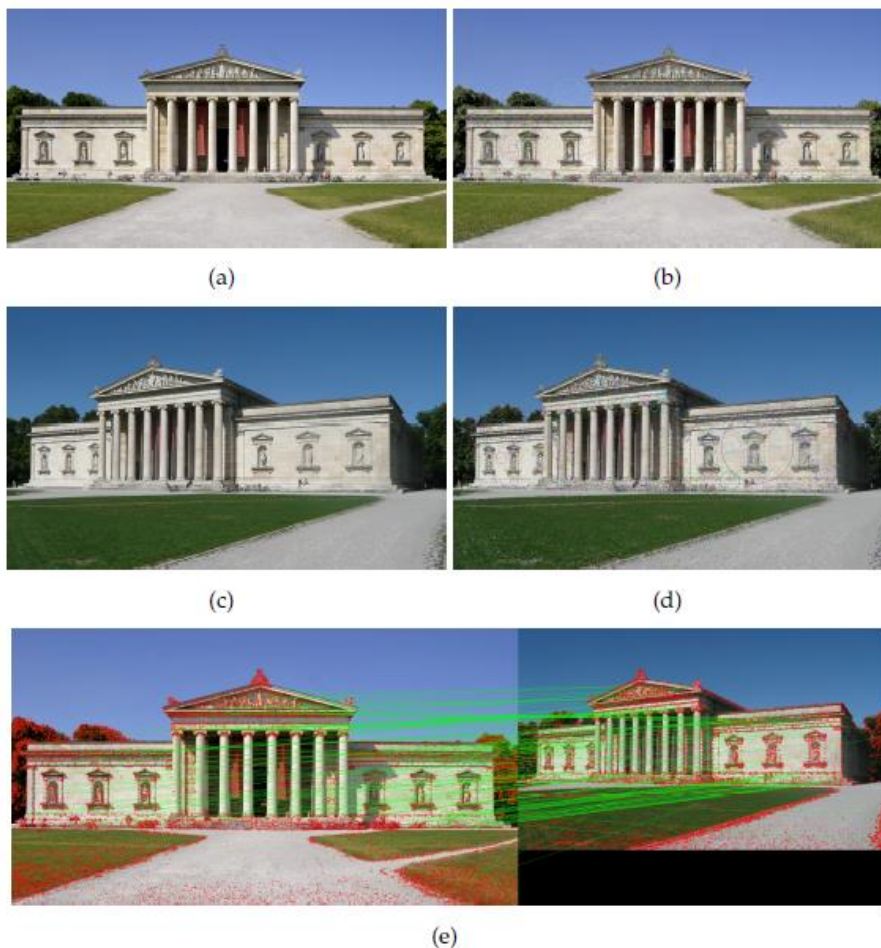
Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Old_Nenana_Highway,_Ester,_Alaska,_showing_cars_lining_the_road_during_Angry,_Young_and_Poor_Festival.jpg, preuzeto: 6.6.2021.g.

Detekcija objekta vrši se sljedećim koracima (slika 21):

- pred procesiranje – normalizira sliku tj. izvornu sliku rotira i mijenja veličinu, podešava intenzitet kako bi što bolje odgovarala uređaju.
- izvlačenje funkcija – uklanja nepotrebne dijelove slike i čuva jedino bitne informacije za klasifikaciju, stvara „mapu funkcija“.
- klasifikacija – posljednji korak koji mapu funkcija spaja sa ranije definiranim kategorijama.



Slika 22: Detekcija objekta u tri koraka (a,b,c)
 Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Abbey_Road_Crossing.jpg, preuzeto: 6.6.2021.g.



Slika 23: Podudaranje objekata (eng. Object matching)
 Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Glyptothek_in_München_in_2013.jpg, preuzeto 6.6.2021.g.

Na slici 23 je prikazana MSER (eng. Maximally Stable Extremal Regions) detekcija. Ova metoda prepoznaje skup piksela koji su nepromjenjivi.



(a)

(b)

Slika 24: MSER detekcija

Izvor: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chevry-sousle-Bignon-FR-45-carrefour_D33_&_D146-e.jpg, preuzeto: 6.6.2021.g.

6. MATLAB I NJEGOVE APLIKACIJE

Matlab je programski jezik visoke razine, nastao krajem 1970. godine, a koristi se za izvođenje kompleksnih matematičkih radnji kroz numeričko i matrično računanje. Također, posjeduje brojne podaplikacije u sebi, te je pomoću njih moguće programirati, vizualizirati i simulirati zadani problem. Matlab ima brojne primjene, a neke od njih su: ispitivanje parametra, mjerenja, izvršavanje računalnih naredbi, obrada signala, analiziranje podataka, komunikacija, izrada algoritama i drugo.

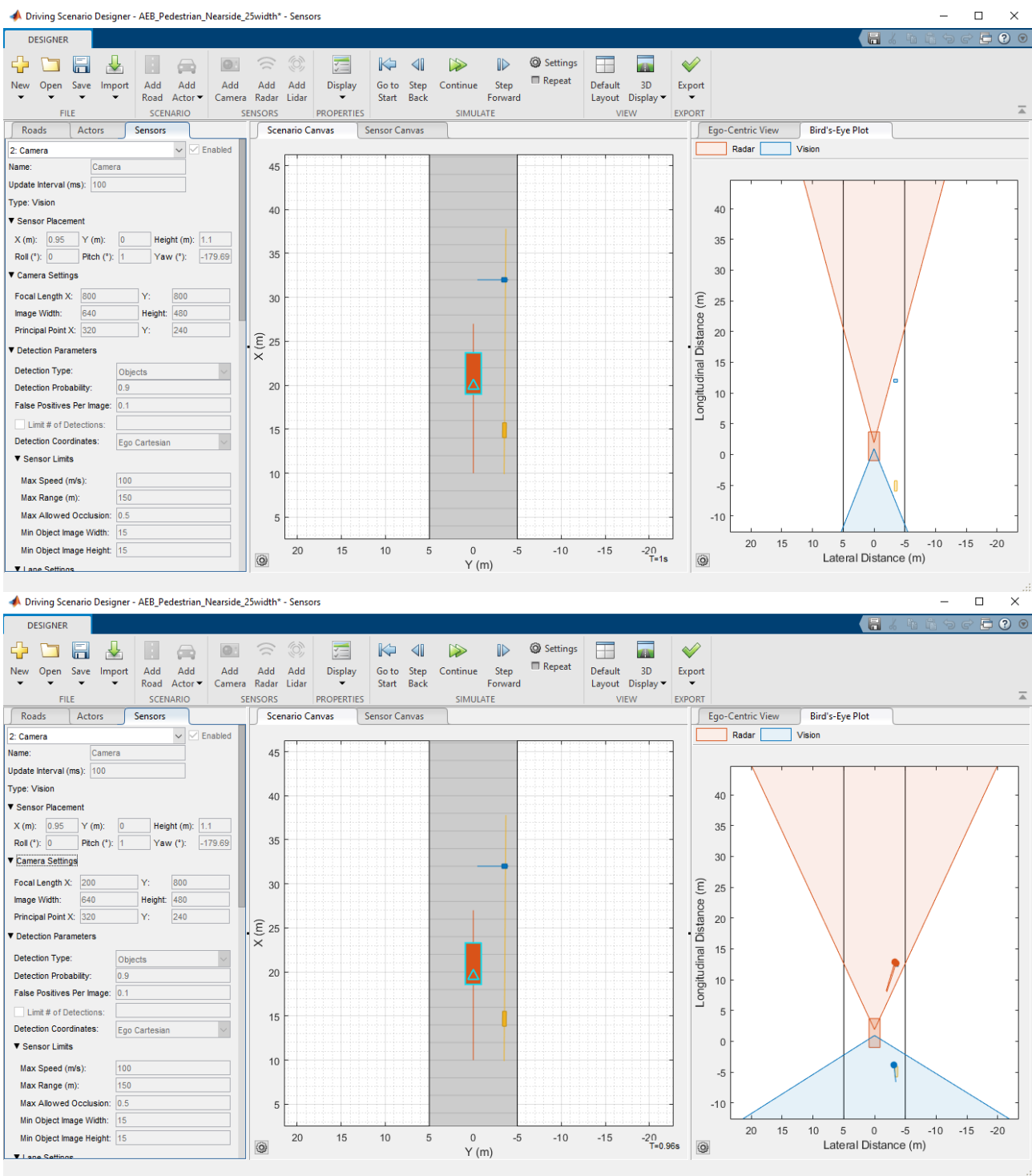
Simulink je program baziran na Matlabu-u, a koristi se za modeliranje, simuliranje i analiziranje dinamičnih sustava. Sadrži početno sučelje bazirano na blok dijagramima. Povezan je sa Matlab-om i podatke je moguće uvesti ili urediti direktno sa Matlab-a. Ovaj program se koristi u automatizaciji i obradi signala kod kompleksnijih sustava.

Driving Scenario Designer je aplikacija unutar samog Matlaba koja pruža sintetičku simulaciju. Pokazala se izvrsna za testiranje osnovnih značajki u autonomnim sustavima vožnje. Sama aplikacija pruža mogućnost kreiranja vlastitog scenarija u prometu i postavljanje brojnih senzora na vozilo. Svako vozilo, senzor i element u simulaciji je moguće podesiti na željene parametre. U sljedećim simulacijama (scenarijima) korišteni su radar, lidar i kamera (eng. vision). Na taj način je prikazano da pojedini senzori bolje funkcioniraju u određenim uvjetima, a svakako je potrebno detaljno testirati razne moguće ishode u prometu kako bi sustav pokrio sve moguće opcije i situacije. [22]

Autonomno vozilo sadrži veliki broj gotovih podsustava koji su zaduženi za određene radnje. U nastavku su simulirane neke od tih opcija. Sigurnost je jedan od najvažnijih dijelova samoga sustava pa su tako i obrađeni sustavi za praćenje prometnih traka, držanje vozila unutar istih, detekcija ceste i okoline, reagiranje vozila u kriznim situacijama, pravilno kretanje u prometu i naglo zaustavljanje.

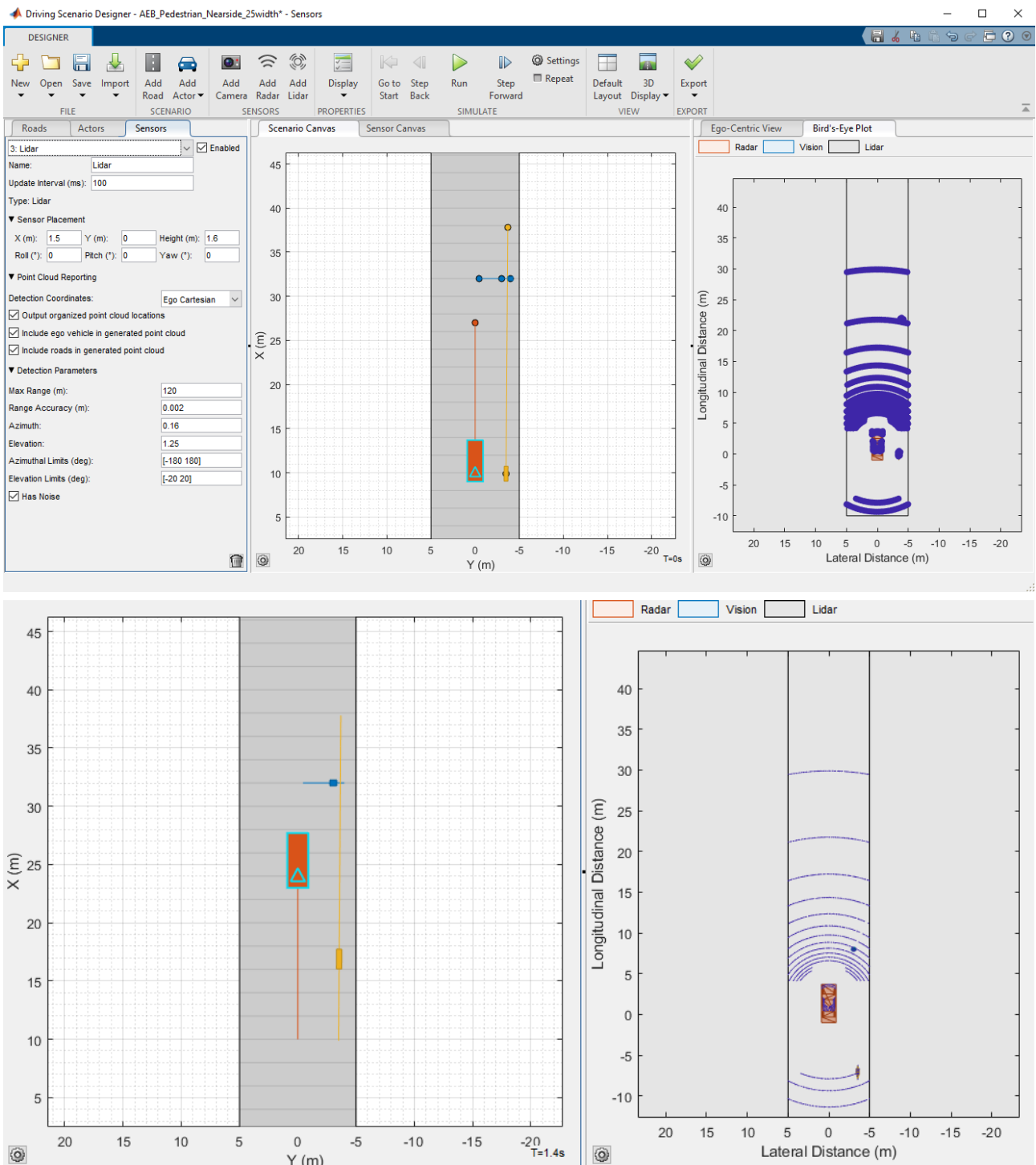
6.1 Simuliranje prometnih scenarija

Pomoću prethodno navedenih programa i aplikacija obrađeni su sljedeći prometni scenariji kako bi se prikazao rad senzora i sustava autonomne vožnje.



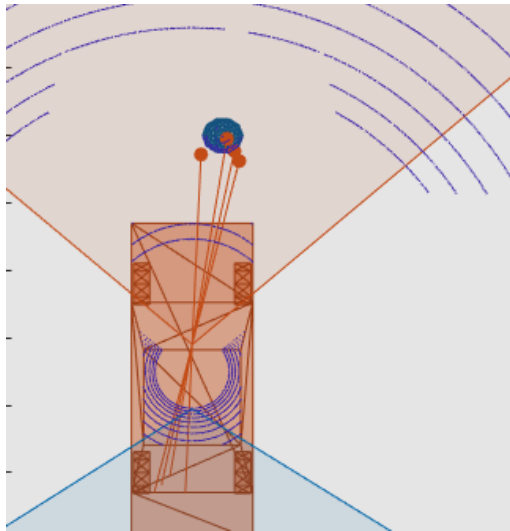
Slika 25: Primjer postavljanja parametara senzora
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Slika 25 prikazuje na primjeru rad senzora. U ovome slučaju to su radar sa prednje strane vozila i kamera pozicionirana na krov, okrenuta prema zadnjoj strani. Jasno se vidi na gornjoj slici da vozilo ima određeni prostor koji nije pokriven. Potrebno je podesiti parametre senzora kako bi vozilo imalo bolji uvid u situaciju oko sebe. Smanjenjem dometa dobiven je veći početni kut koji pomaže u bliskim susretima vozila sa drugim sudionicima.



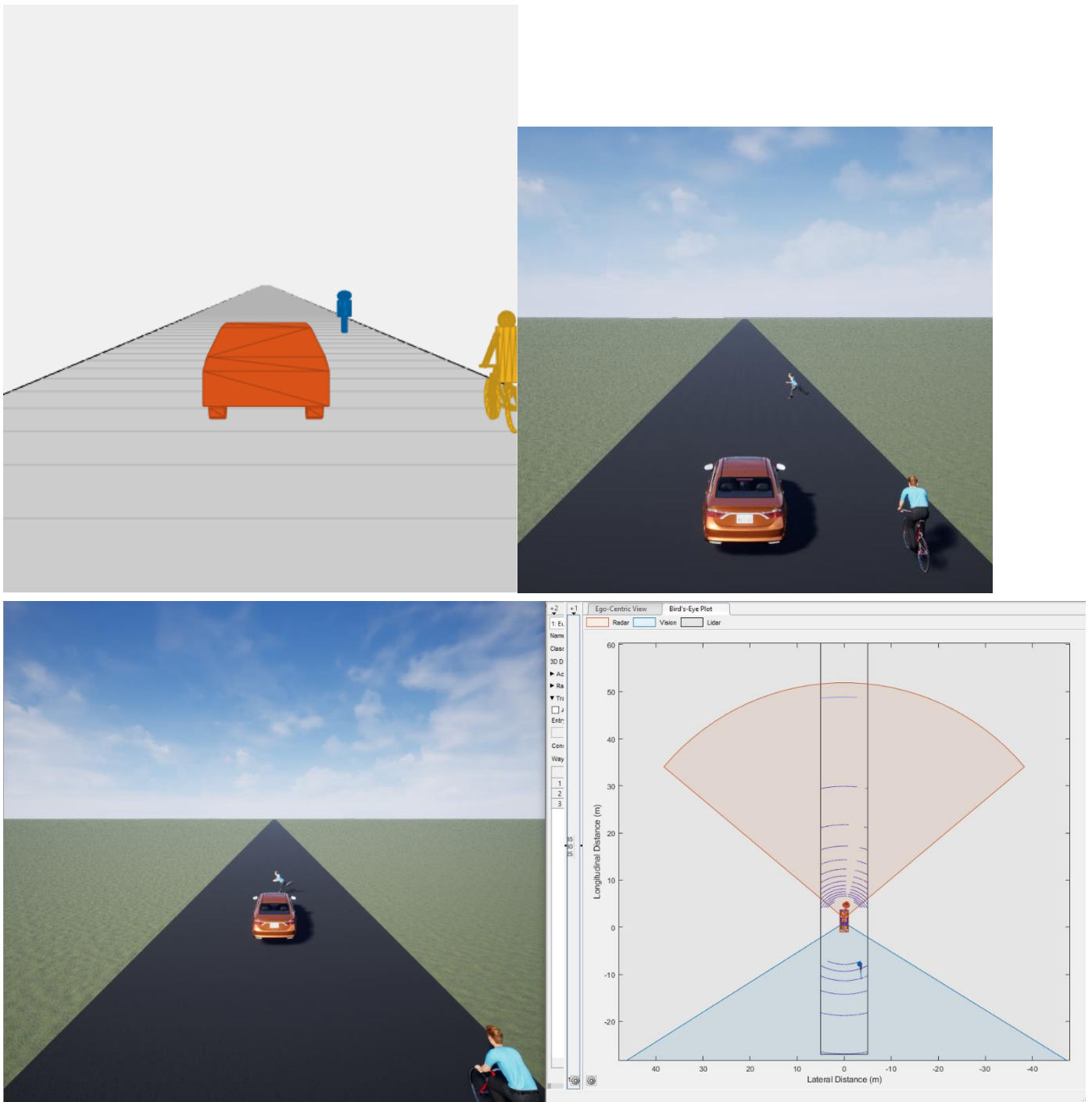
Slika 26: Primjer LIDAR detekcije
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Slika 26 prikazuje primjer LIDAR sustava pozicioniranog na krov vozila i njegov rad, te mogućnost istovremenog detektiranja pješaka i biciklista sa obje strane vozila.



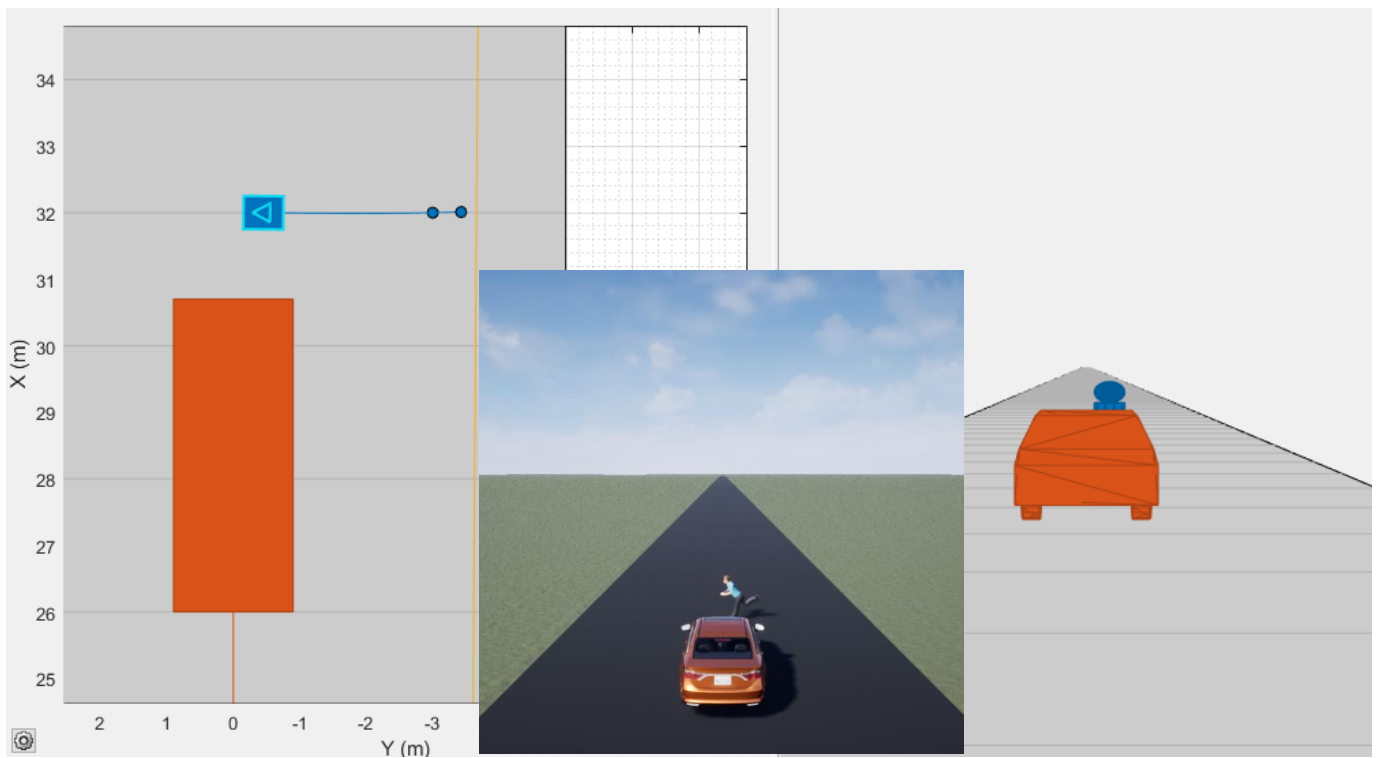
Slika 27: Vozilo sa tri sustava senzora
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

U slučaju kada su na vozilu postavljena sva tri senzora, kao na slici 27, dobiva se jasna slika i detekcija. Ovaj način smanjuje mogućnost pogreške budući da više senzora detektira iste objekte.



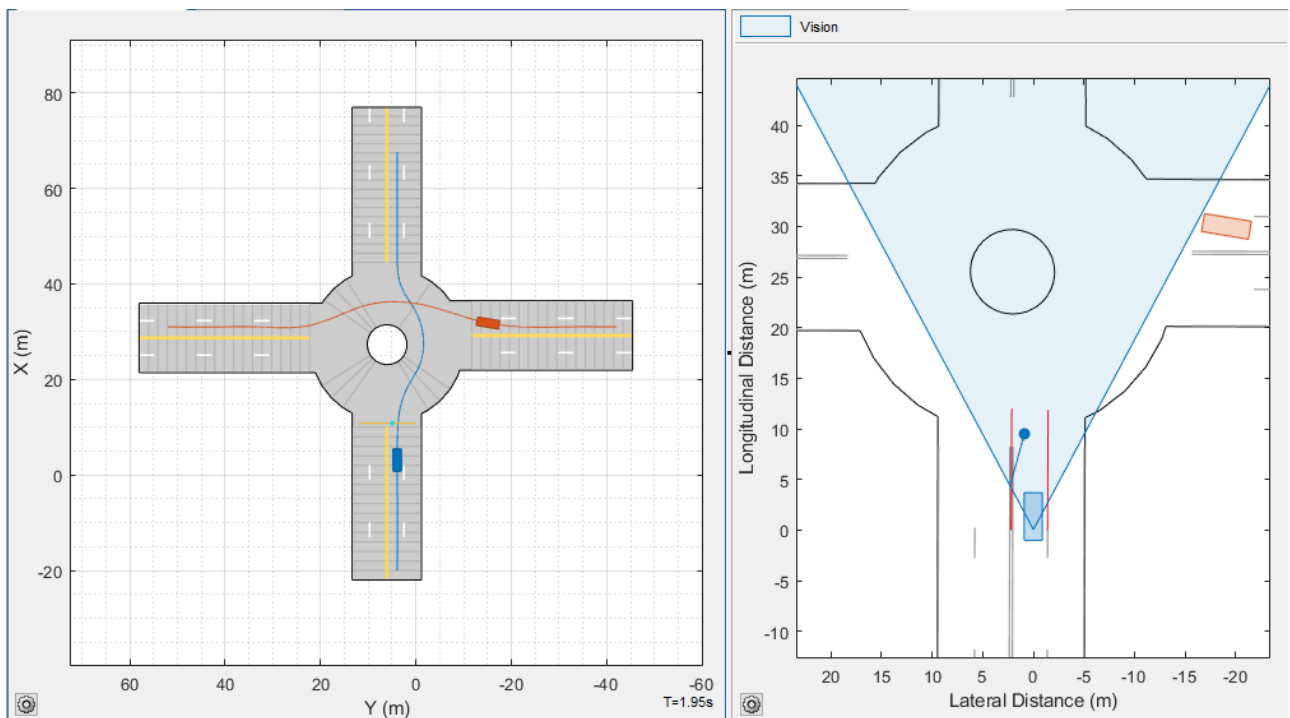
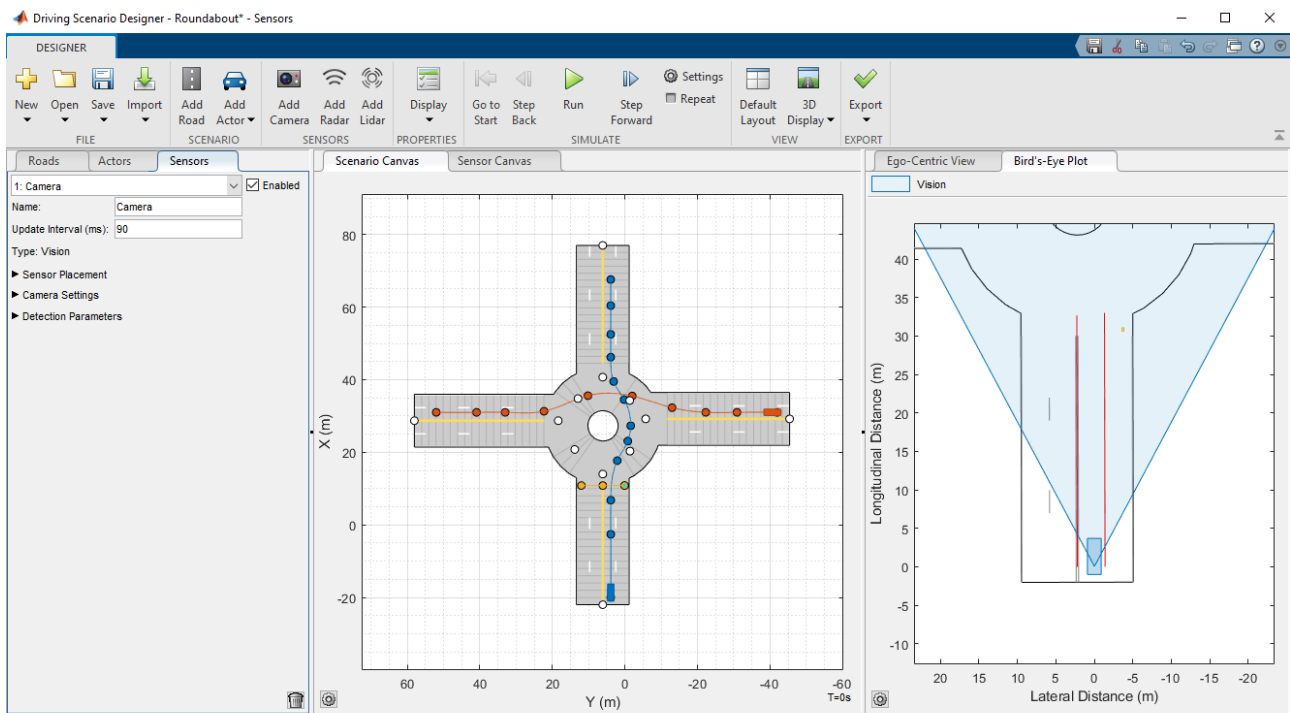
Slika 28: 3D simulacija scenarija
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Slika 28 prikazuje 3D vizualizaciju zadanog scenarija i jasnije prikazuje prometnu situaciju. Ovdje se vozilo kreće i detektira biciklista u pokretu sa desne strane i pješaka koji pretrčava cestu. Radom senzora detektirane su obje situacije.



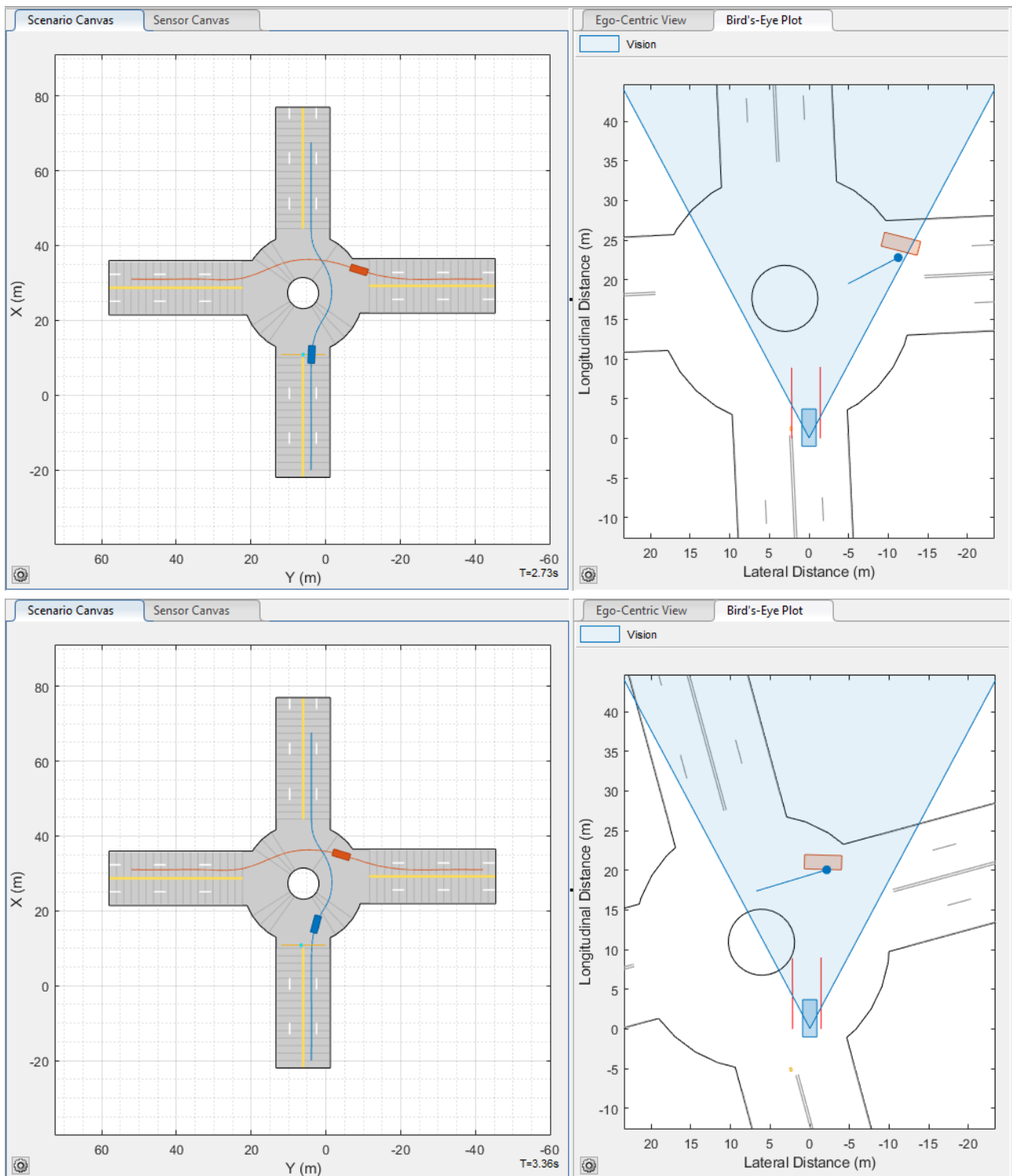
Slika 29: 3D simulacija - naglo zaustavljanje
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Slika 29 je nastavak scenarija iz slike 28. Vozilo nakon detekcije krizne situacije i biciklista u desnoj traci donosi odluku da je potrebno sigurnosno zaustavljanje.



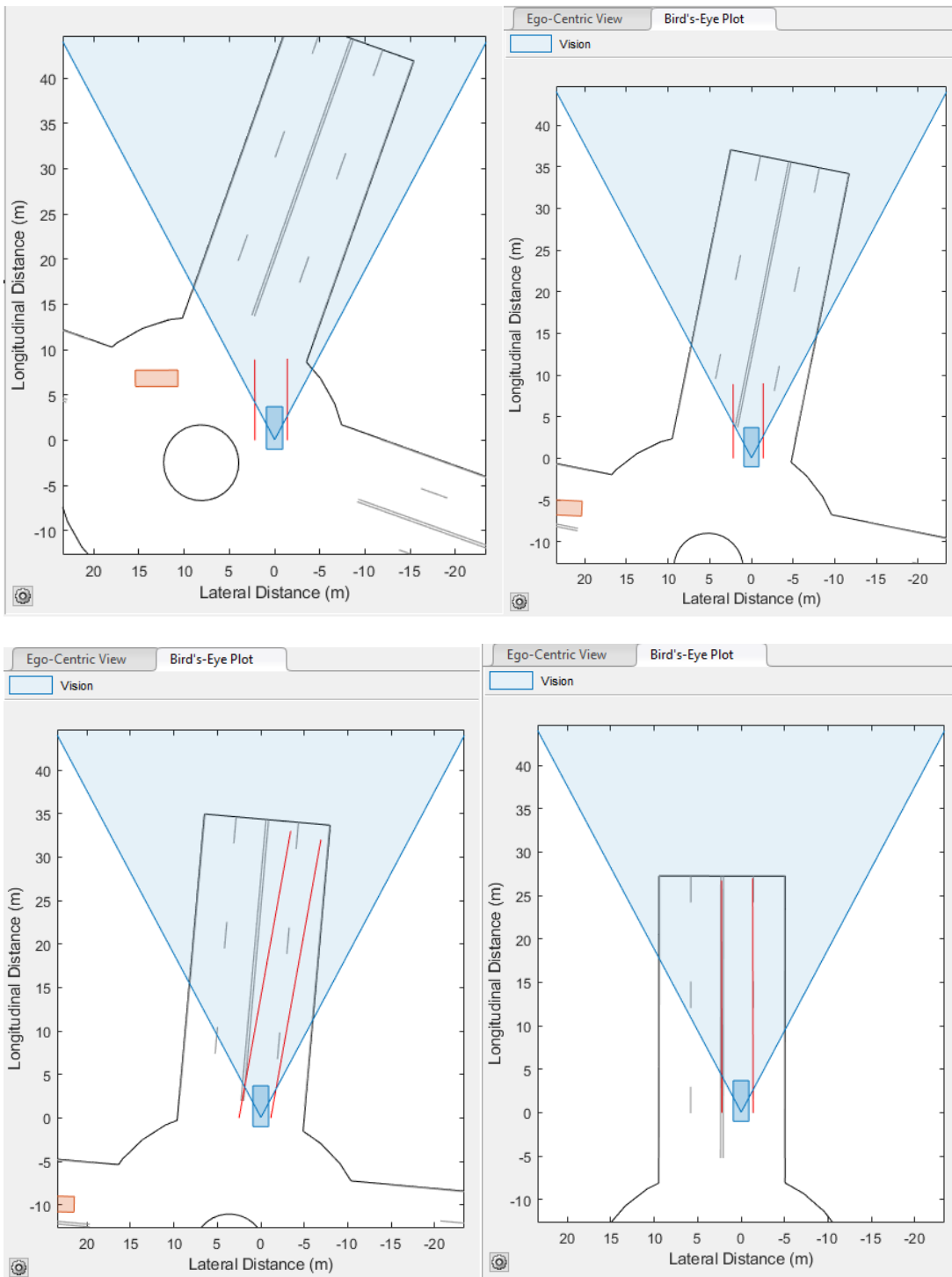
Slika 30: Simulacija scenarija - kružni tok
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Sljedeći zadani scenarij u simulaciji je promet u kružnome toku. Konstruirani scenarij je na slici 30. Vozilo pomoću kamere koja je orijentirana prema naprijed prati prometne trake, kretanje drugih vozila i ostale sudionike.



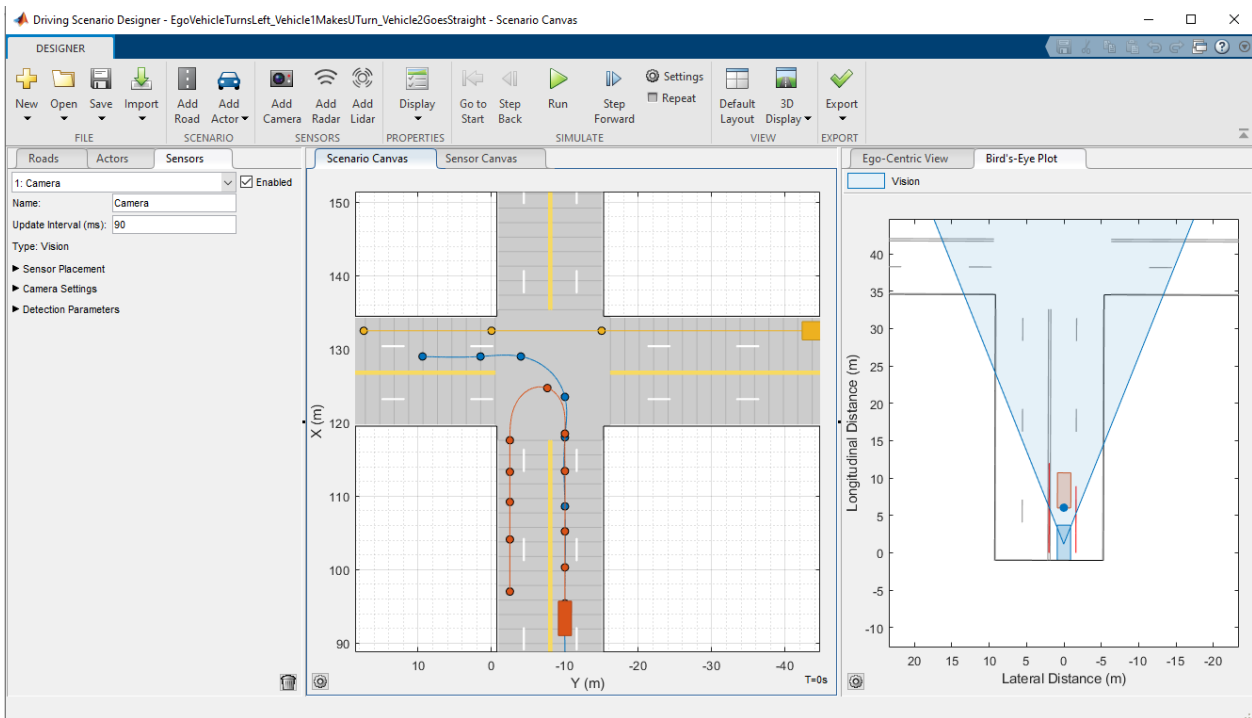
Slika 31: Kružni tok - nailazak na vozilo
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Slika 31 prikazuje ulazak vozila u kružni tok i detekciju drugog vozila prema kojemu prilagođava svoje kretanje.



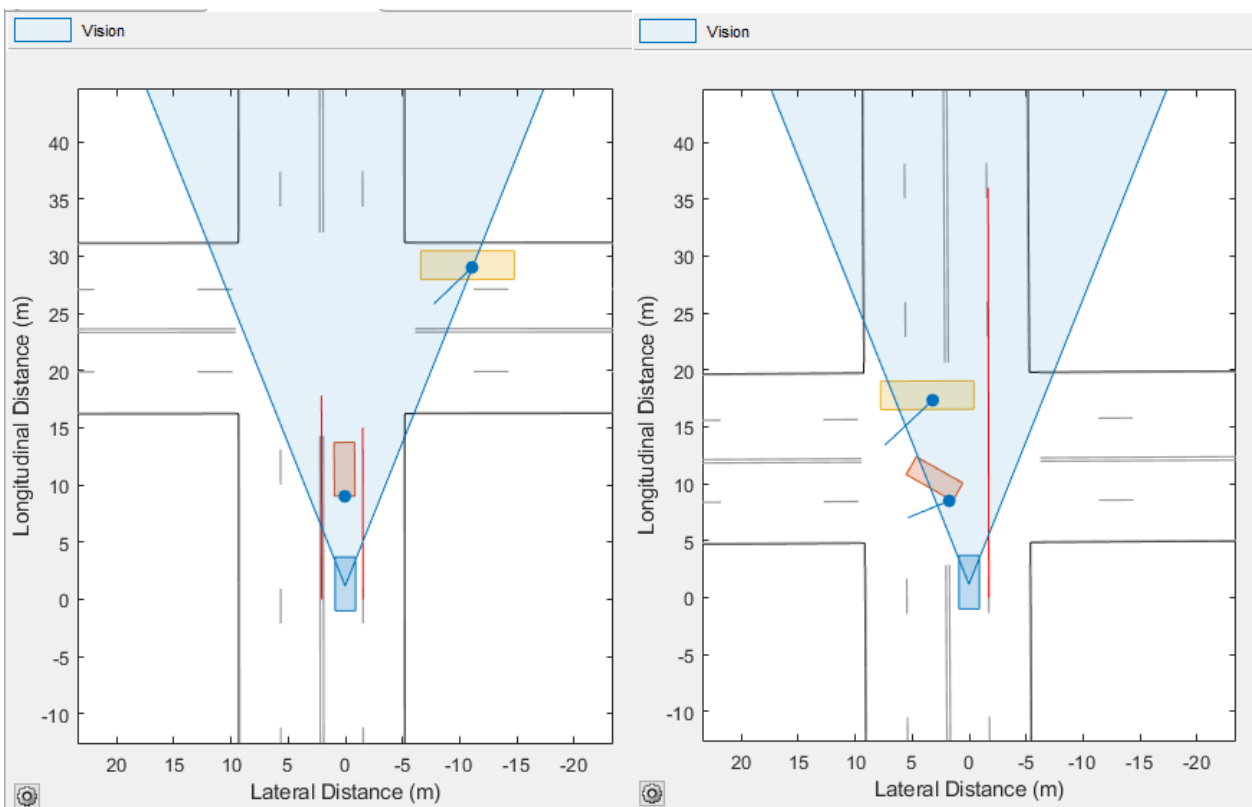
*Slika 32: Kružni tok - izlazak i detekcija traka
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.*

Slika 32 prikazuje izlazak vozila iz kružnog toka. Vozilo u ovom slučaju pomoću kamere određuje prometnu traku i nastavlja se kretati unutar iste.



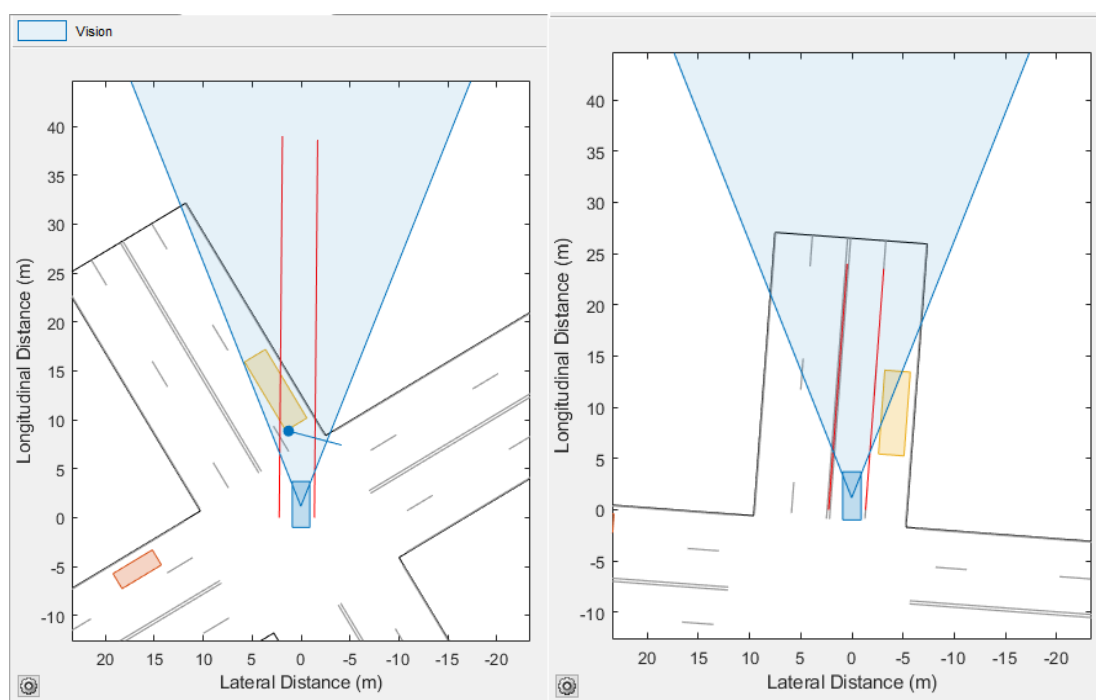
Slika 33: Scenarij – raskrižje
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Sljedeći prometni scenarij je raskrižje. Na slici 33 je prikazano raskrižje sa vozilima koja se kreću paralelno sa promatranim vozilom. Potrebno je detektirati kretnje vozila i odabrati putanju kretanja ovisno o njihovom.



Slika 34: Raskrižje - detektiranje drugih vozila i smjera kretanja
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

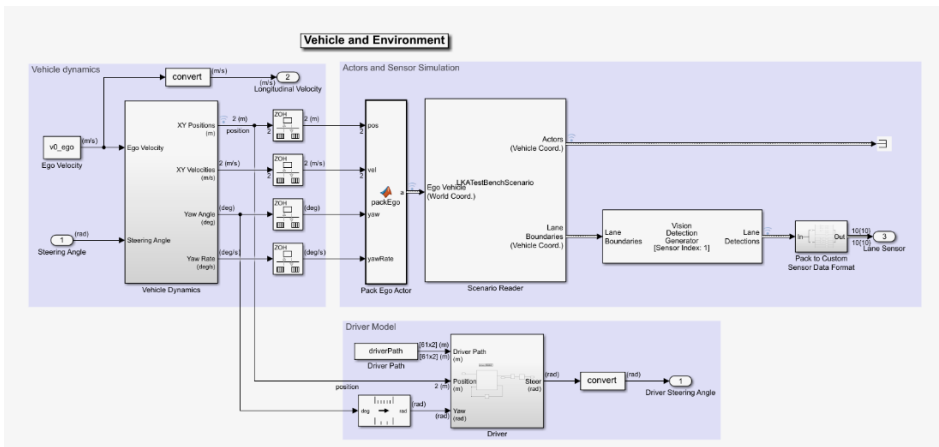
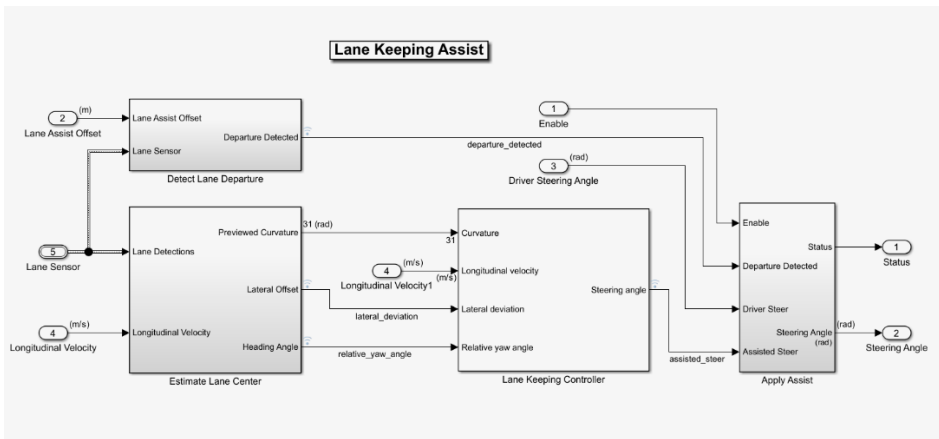
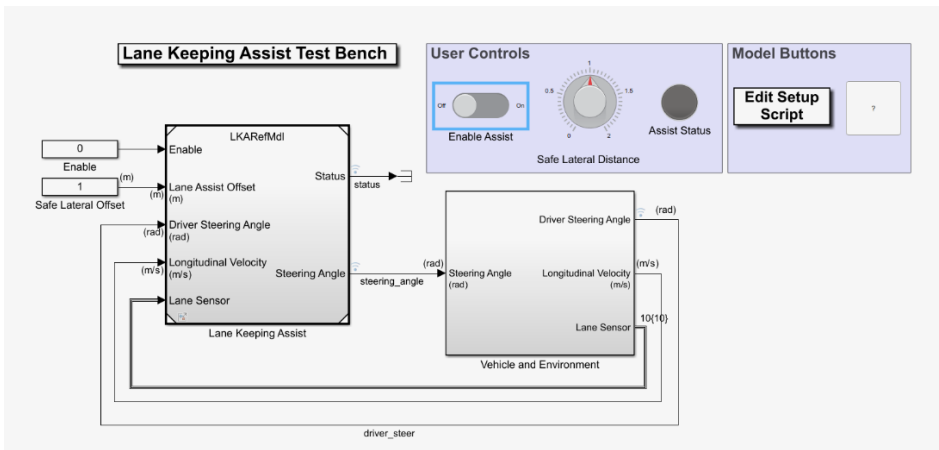
Slika 34 prikazuje detektiranje prometne trake i dva vozila koji se kreću svojim putanjama. Crveno vozilo izvodi polukružno okretanje.



Slika 35: Raskrižje - detektiranje i odabir trake
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

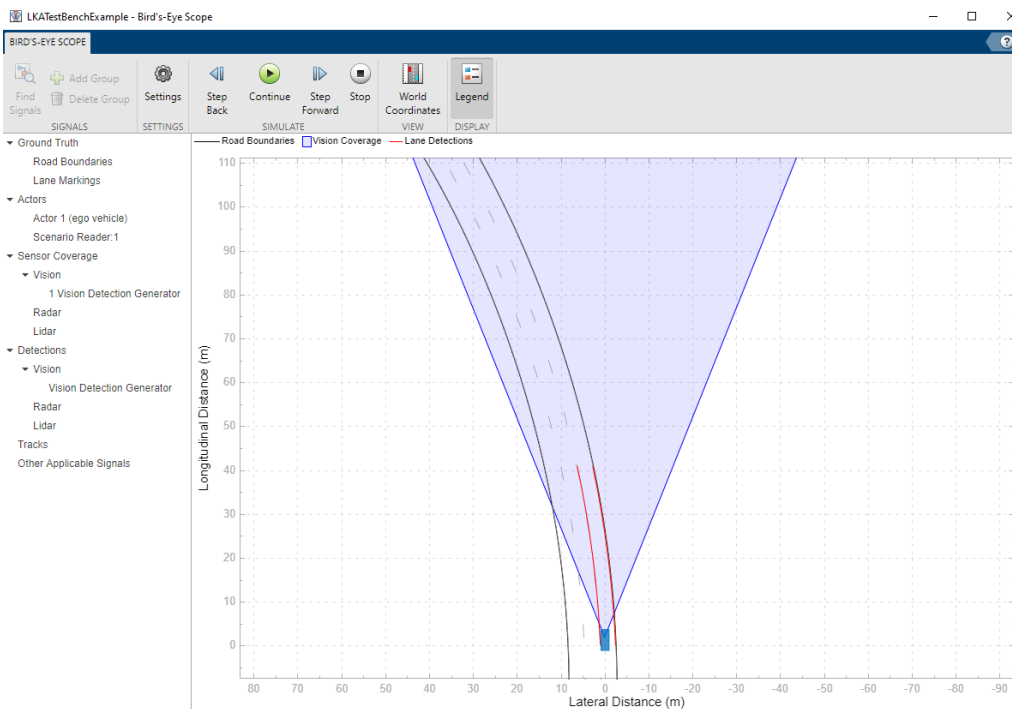
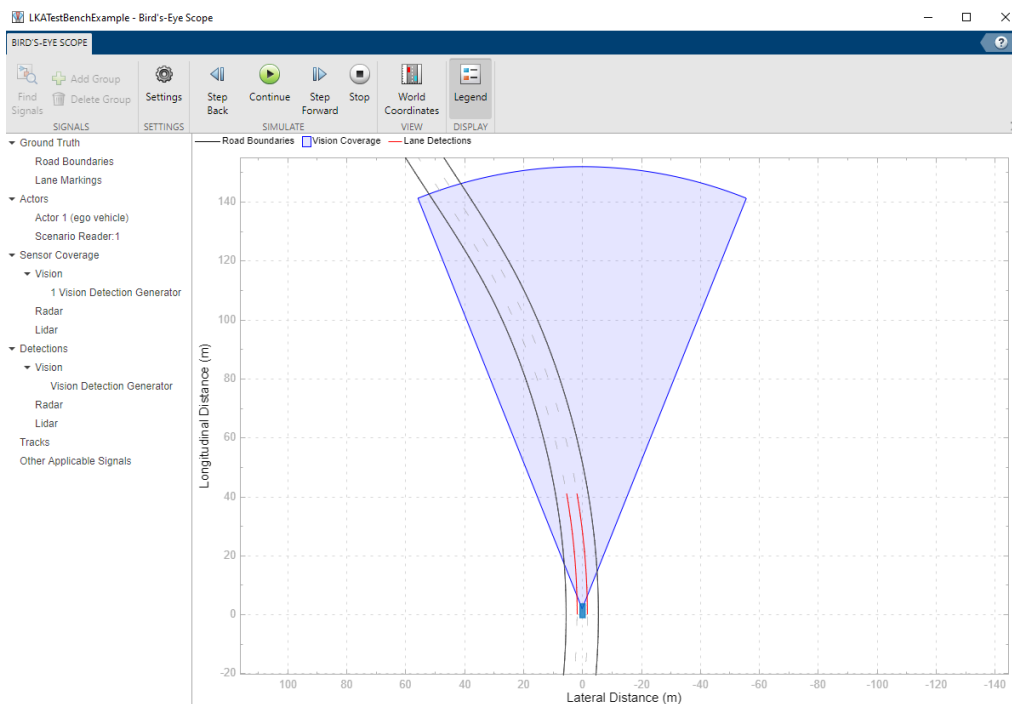
Nakon polukružnog okretanja vozila ispred potrebno je odabrati traku za nastavak kretanja uz oprez na vozilo ispred. Nakon prolaska vozila detektirana je prometna traka koja je slobodna za promet i nastavak putanje promatranog vozila, kao što je prikazano na slici 35.

Program Matlab na svojoj stranici (mathworks) posjeduje primjere gotovih sustava koji sadrže napravljeni sustav – algoritam za određene radnje. U nastavku testiranja odabran je model koji vrši držanje vozila unutar zadanih traka u simulink-u. Ovaj model omogućava paljenje i gašenje asistencije po potrebi, te je na taj način testiran scenarij. Podatci i očitavanja su spremljeni i prikazani na grafovima radi usporedbe. [22]



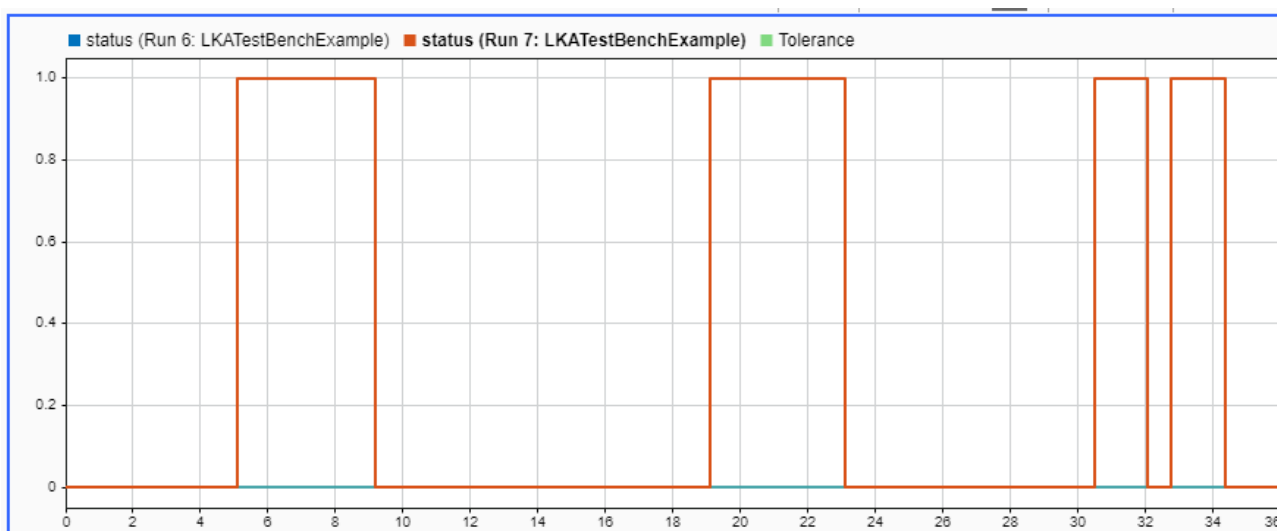
Slika 36: Simulink - Lane Keeping Assist with Lane Detection
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Na slici 36 prikazan je gotov model ovoga sustava i njegovi podsustavi za sva potrebna upravljanja i praćenja. [22]



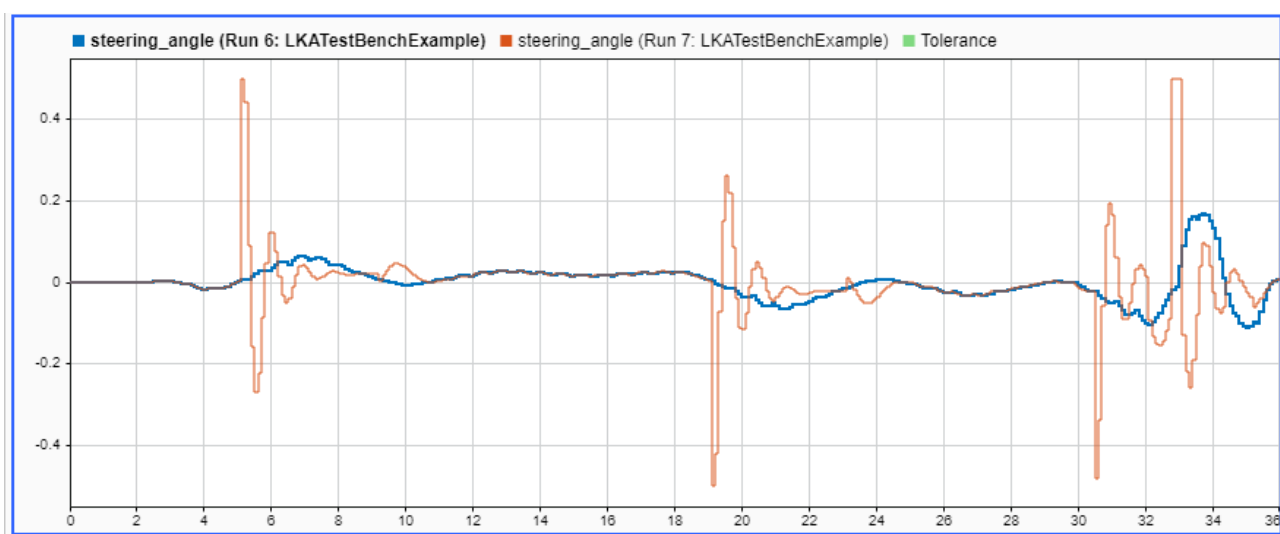
*Slika 37: Prikaz razlike - sa ili bez uključene asistencije
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.*

U simulaciji se vidi kako vozilo mijenja trake koje istovremeno detektira, krećući se po svojoj zadanoj putanji. U trenutku paljenja asistencije – vozilo ostaje voziti u svojoj traci i ne dopušta prelazak u drugu, kao što je prikazano u primjeru na slici 37.



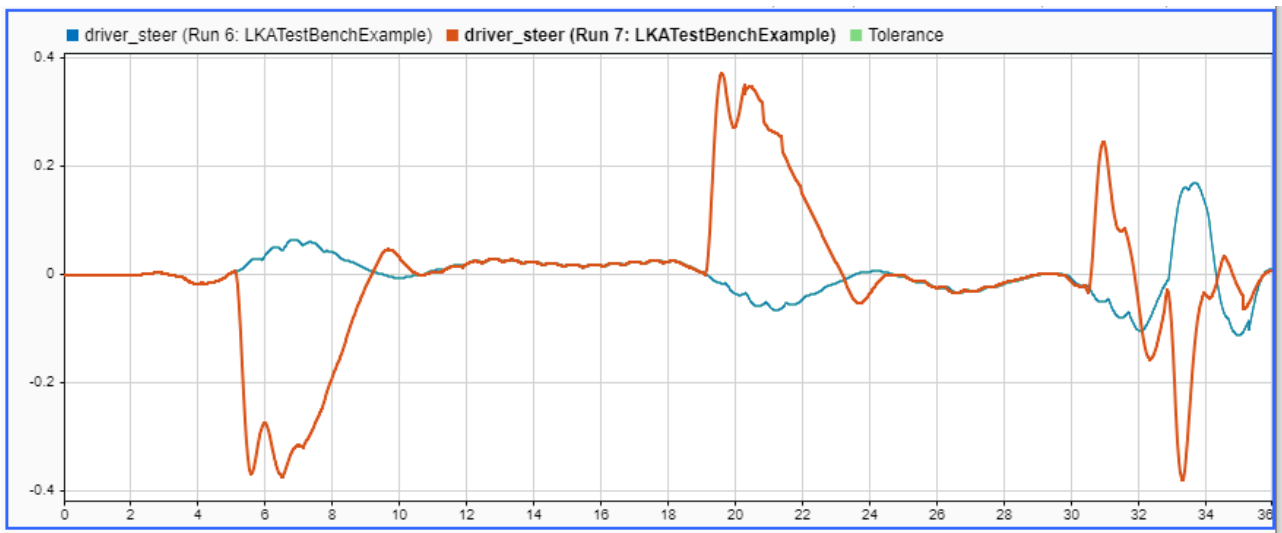
Slika 38: Graf - status / stanje
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Na slici 38 crvenom bojom je označeno sedmo testiranje koje je imalo uključenu asistenciju držanja vozila unutar trake. Plavom bojom je označeno šesto testiranje gdje je ista bila isključena. Jasno se vidi da je kod sedmog testiranja sustav intervenirao u više navrata kako bi vozilo ostalo unutar trake.



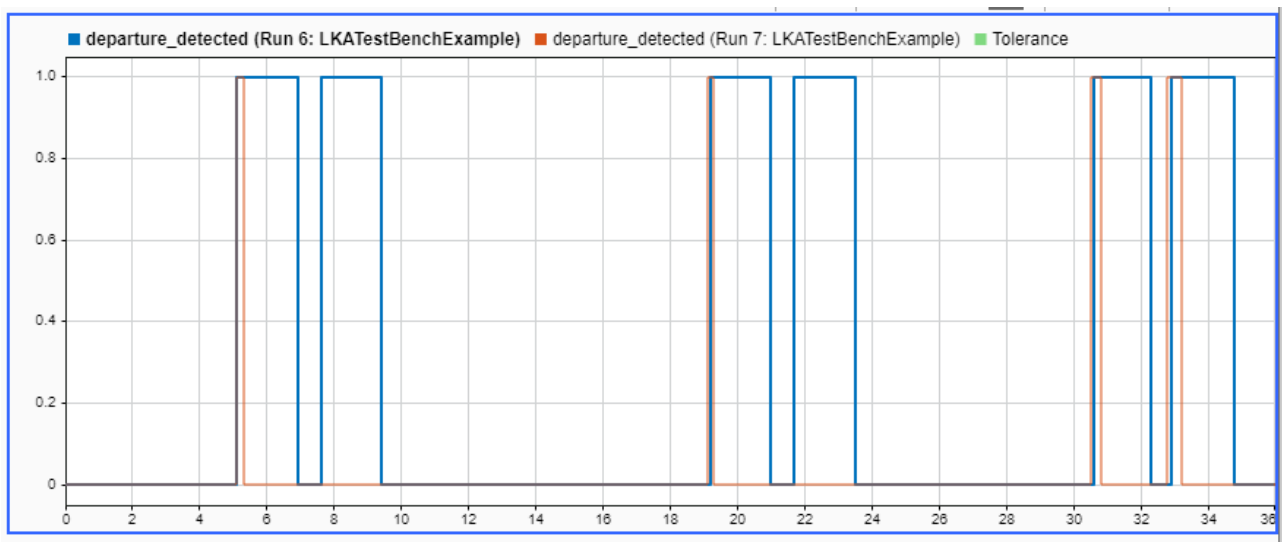
Slika 39: Graf - kut skretanja
Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

U svakoj potrebi za zadržavanje vozila unutar trake bilo je potrebno kretanje upravljača kako bi se vozilo zadržalo, dok kod slobodnog kretanja i mijenjanja traka (plava boja) su isti ti pokreti dosta manji.



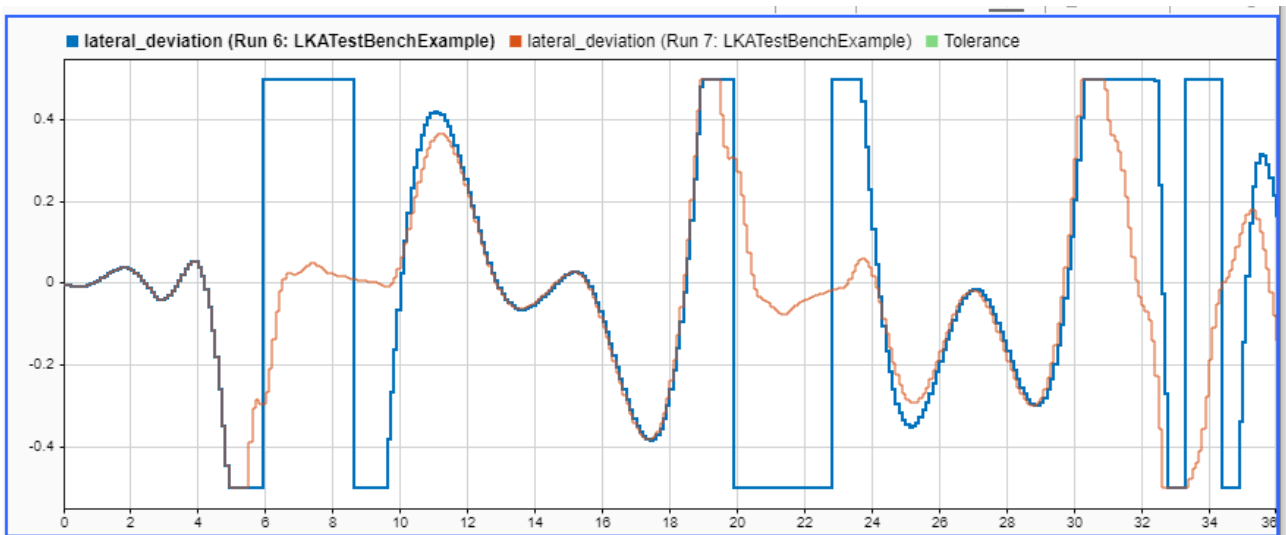
Slika 40: Graf - vozačevo upravljanje
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Graf 40 također prikazuje upravljanje vozila, ali je bazirano na potrebi upravljanja dok je slika 39 prikazivala samo promjenu u kutu volana.



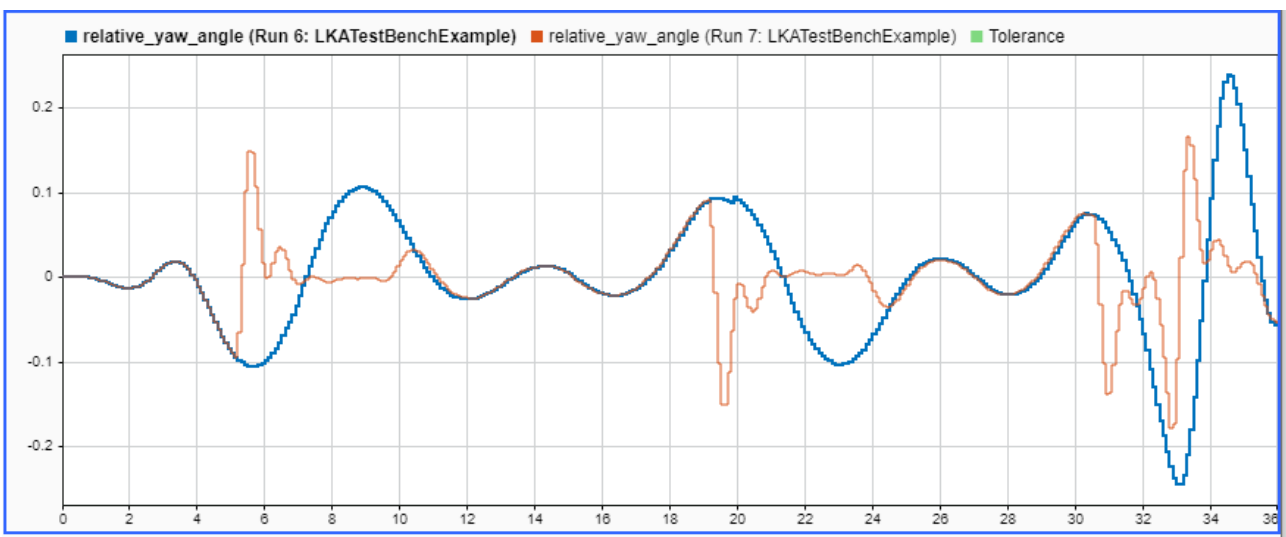
Slika 41: Graf - detekcija napuštanja predviđene putanje
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Na slici 41 je prikazana detekcija vozila prilikom promjene trake, crveni signali su puno kraći jer prilikom njihove pojave sustav sprječava promjenu i zadržava ga unutar svoje trake.



Slika 42: Graf - lateralna devijacija
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Slika 42 prikazuje graf lateralne devijacije, gdje se vidi da vozilo prilikom asistiranja radi veći broj manjih pomaka kako bi kontroliralo smjer kretanja.



Slika 43: Graf - napuštanje pravca (eng. yaw)
 Izvor: autor / © 1994-2021 The MathWorks, Inc.

Na posljednjem grafu (slika 43) vidi se veći broj manjih promjena kuta upravo zbog interveniranja sustava da bi održalo vozilo unutar potrebne trake. Naprednijim i „finijim“ sustavom, te promjene su sve manje i ne primijete se u samoj vožnji.

7. ZAKLJUČAK

Razvojem tehnologije dolazi do sve većeg broja autonomnih vozila pete razine. Također, njihova upotreba će tek doći do izražaja početkom pokrivenosti prometnica sa 5G mrežom. Sama autonomna vozila pružaju veću sigurnost, efikasnost, održivost prometa te još brojne druge dobrobiti. Zaključuje se da su autonomna vozila luksuz koji nam donosi napredak tehnologije i budućnost – mogućnost da uđemo u autonomno vozilo koje ne zahtjeva prisustvo vozača i dovede nas na željeno odredište.

Kompjutersko učenje znatno ubrzava napredak same tehnologije. Semantičke metode pokazuju odlične rezultate i rješavaju brojne prepreke poput percepcije, a sve tehnologije na okupu idu prema tome da će autonomno vozilo u budućnosti moći u potpunosti se ponašati kao ljudski vozač, ili možda čak i bolje.

Matlab je odličan način za simulirati prometne scenarije i na taj način prikazuje ponašanje vozila u određenim situacijama, djelovanje postavljenih senzora i razne parametre potrebne za ispitivanje sustava. U radu je obrađeno više prometnih scenarija i vidljivo je da senzori pružaju bolji uvid u trenutno stanje ili i mogućnost očitavanja podataka i situacija koje vozač ne može istovremeno pratiti. Također, napredni algoritmi uz pomoć tih podataka i prijašnjih događaja u prometu, predviđaju i izbjegavaju moguće krizne situacije.

LITERATURA

KNJIGE

- [1] Bilgin, B. E.; Gungor, V. C.(2013): Performance comparison of IEEE 802.11 p and IEEE 802.11 b for vehicle-to-vehicle communications in highway, rural, and urban areas, International Journal of Vehicular Technology.
- [2] Bishop R.H.,(2002):The mechatronics handbook, ISA--The Instrumentation, Systems, and Automation Society, CRC Press,
- [3] Buehler M., Iagnemma K., Singh S.(2010):The DARPA Urban Challenge: Autonomous Vehicles in City Traffic, Springer Tracts in Advanced Robotics series,
- [4] Cheng. H. (2011): Autonomous Intelligent Vehicles; Springer-Verlag London Limited,
- [5] Fossen T., Pettersen K. Y., Nijmeijer H.(2017) :Sensing and Control for Autonomous Vehicles, Springer International Publishing AG,
- [6] Fossen T., Pettersen K. Y., Nijmeijer H.(2017) : Sensing and Control for Autonomous Vehicles; Springer International Publishing AG,
- [7] Gao M., Emadi Y. , A. (2005):Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design. 1st ed. CRC Press,
- [8] H. Sjafrie (2019) : Introduction to Self-Driving Vehicle Technology, Chapman and Hall/CRC.
- [9] Kočić J., Jovičić N., Drndarević V.(2018):Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles,
- [10] Liu, S., Tang, J., Zhang, Z.(2017.):Computer architectures for autonomous driving, IEEE Comput. Archit. Lett.,
- [11] Mandžuka, S. , Vučina, A. , Škorput, P. : PRIMJENA AUTONOMNIH VOZILA U KRIZNIM SITUACIJAMA
- [12] Martinez-Diaz M., Soriguera F., Pérez I.(2018): Autonomous Driving: A Birds Eye View
- [13] Opačić A. (2007): Autonomna vozila - automobili budućnosti, Ekscentar, no. 10, pp. 114-115, List studenata Geodetskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu ekscentar,
- [14] Rajasekhar M.J. , Jaswal A.K. (2015) : Autonomous vehicles: The future of automobiles, IEEE International Transportation Electrification Conference (ITEC),
- [15] Szikora P., Madarász N(2017):.Self-driving cars – human side, IEEE 14th International Scientific Conference on Informatics

IZVORI SA INTERNETA

- [16] <http://www.businessinsider.com/google-apple-tesla-race-to-develop-driverless-cars-by-2020-2016-7/#tesla-is-aiming-to-have-its-driverless-technology-ready-by-2018-1;n.aspx>, preuzeto: 5.1.2021. g.
- [17] <https://autozona.rtl.hr/kolumna/kolumna/autonomna-vozila/> , preuzeto: 6.1.2021. g.
- [18] <https://www.techopedia.com/driverless-cars-levels-of-autonomy/2/33449>, preuzeto: 12.2.2021. g.
- [19] <https://autoalliance.org/wp-content/uploads/2017/07/Automated-Vehicles-Levels-of-Automation.pdf>, preuzeto: 9.1.2021. g.
- [20] <http://www.ncsl.org/research/transportation/autonomous-vehicles-self-driving-vehicles-enacted-legislatio> , preuzeto: 22.2.2021. g.

[21] UREDBA (EU) 2019/2144 EUROPSKOG PARLAMENTA I VIJEĆA

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32019R2144&from=EN>,
preuzeto: 6.6.2021. g.

[22] <https://www.mathworks.com> , preuzeto 1.8.2021.g.

POPIS SLIKA

Slika 1: Sustavi senzora na automobilu.....	6
Slika 2: Tehnologija vozila	7
Slika 3: Waymo autonomno vozilo	8
Slika 4: Primjer konfiguracije senzora	9
Slika 5: a) Continental long-range radar , b) Bosch mid-range radar.....	10
Slika 6: a) Kut radara na velikoj udaljenosti , b) Kratka udaljenost	11
Slika 7: Prikaz sirovih podataka na senzoru (3D).....	12
Slika 8: Pojednostavljeni prikaz djelovanja lidar senzora	13
Slika 9: Bosch ultrazvučni parking senzori	14
Slika 10: a) Bosch stereo video kamera, b) Lokacija kamere na prednjem staklu.....	15
Slika 11: Kalkulacija udaljenosti pomoću stereo kamere	16
Slika 12: Sagnac efekt – djelovanje optičkih žiroskopa.....	18
Slika 13: Aktivni senzor brzine kotača – Hall efekt senzor	19
Slika 14: Kooperativno prometno okruženje.....	21
Slika 15: V2X primjer	22
Slika 16: Komunikacija u ad-hoc mreži.....	23
Slika 17: Komunikacija među vozilima	25
Slika 18: Komunikacija vozila i infrastrukture	26
Slika 19: AFH tehnologija	28
Slika 20: Lokalizacija i klasifikacija objekata.....	29
Slika 21: Semantička segmentacija	30
Slika 22: Detekcija objekta u tri koraka (a,b,c)	31
Slika 23: Podudaranje objekata (eng. Object matching)	31
Slika 24: MSER detekcija	32
Slika 25: Primjer postavljanja parametara senzora	34
Slika 26: Primjer LIDAR detekcije.....	35
Slika 27: Vozilo sa tri sustava senzora	36
Slika 28: 3D simulacija scenarija	37
Slika 29: 3D simulacija - naglo zaustavljanje.....	38
Slika 30: Simulacija scenarija - kružni tok	39
Slika 31: Kružni tok - nailazak na vozilo	40
Slika 32: Kružni tok - izlazak i detekcija traka.....	41
Slika 33: Scenarij – raskrižje.....	42
Slika 34: Raskrižje - detektiranje drugih vozila i smjera kretanja	42
Slika 35: Raskrižje - detektiranje i odabir trake	43
Slika 36: Simulink - Lane Keeping Assist with Lane Detection	44
Slika 37: Prikaz razlike - sa ili bez uključene asistencije	45
Slika 38: Graf - status / stanje	46
Slika 39: Graf - kut skretanja	46
Slika 40: Graf - vozačevo upravljanje	47
Slika 41: Graf - detekcija napuštanja predviđene putanje	47
Slika 42: Graf - lateralna devijacija	48
Slika 43: Graf - napuštanje pravca (eng. yaw)	48

POPIS TABLICA

Tablica 1: Razine autonomnosti vozila s primjerima	3
Tablica 2: Usporedba kanala komunikacije	26

