

# SIGURNOSNI SUSTAVI NA VOZILIMA

---

Labus, Šime

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:775009>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-04**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

Repository / Repozitorij:

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij sigurnosti i zaštite

Šime Labus

# **SIGURNOSNI SUSTAVI NA VOZILIMA**

ZAVRŠNI RAD

Karlovac, 2023

Karlovac University of Applied Sciences  
Safety and Protection Department

Professional graduate study of Safety and Protection

Šime Labus

# **VEHICLES SAFETY SYSTEMS**

Final paper

Karlovac, 2023.

Veleučilište u Karlovcu  
Odjel Sigurnosti i zaštite

Specijalistički diplomski stručni studij Sigurnosti i zaštite

Šime Labus

# **SIGURNOSNI SUSTAVI NA VOZILIMA**

ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Dr. Sc. Vladimir Tudić, prof. v.š.

Karlovac, 2023.



## ZADATAK ZAVRŠNOG / DIPLOMSKOG RADA

|  |   |                             |                        |
|--|---|-----------------------------|------------------------|
| * Ime i prezime                                      | Šime Labus  |                             |                        |
| OIB / JMBG   | 03053031918   | 1209995370018               |                        |
| Adresa   | Hrvatskih branitelja 33, Sukošan                              |                             |                        |
| Tel. / Mob./e-mail                                   |   | 099/341-7200                | sime.labus77@gmail.com |
| Matični broj studenta                                | 0269093263  |                             |                        |
| JMBAG  | 0420421002  |                             |                        |
| Studij (staviti znak X ispred odgovarajućeg studija) | preddiplomski   | X specijalistički diplomski |                        |
| Naziv studija  | Specijalistički stručni diplomski studij Sigurnosti i zaštite |                             |                        |
| Godina upisa   | 2021./2022.   |                             |                        |
| Datum podnošenja molbe                               | 07.06.2023.   |                             |                        |
| Vlastoručni potpis studenta/studentice               |   |                             |                        |

|  |                                    |
|--|------------------------------------|
| * Naslov teme na hrvatskom:<br>Sigurnosni sustavi na vozilima  |                                    |
| * Naslov teme na engleskom:<br>Vehicles safety systems   |                                    |
| Opis zadatka:<br><br>Cilj ovog završnog rada je proučiti načine rada autonomnih vozila, s naglaskom na probleme sigurnosti te pitanja koja se postavljaju. Također, navesti ću i sigurnosne probleme tradicionalnih vozila koji su riješeni razvojem modernih tehnologija. Moderne tehnologije osim što nude rješenja za probleme starijih tehnologija, donose i svoje sigurnosne probleme i čak predstavljaju i neke nove koji se po prvi put javljaju. U radu ću ih navesti te opisati, kao i proučiti budućnost prijevoza temeljenu na autonomnim vozilima. |                                    |
| Mentor: Dr. Sc. Vladimir Tudić, prof. v.š.   | Predsjednik Ispitnog povjerenstva: |

## PREDGOVOR

U ovom Diplomskom radu uspoređujem tradicionalne sa sigurnosnim sustavima modernih i autonomnih vozila, s naglaskom na razvoju autonomne tehnologije. Također, navodim sigurnosne probleme tradicionalnih vozila, koji su poboljšani primjenom moderne tehnologije, te navodim način rada i potencijalne probleme autonomne vožnje.

Želio bih izraziti svoju zahvalnost svim ljudima koji su mi pružili podršku tijekom mog studiranja na Veleučilištu u Karlovcu. Posebno bih se htio zahvaliti mentoru dr. sc. Vladimiru Tudiću, prof. v. š., na njegovoj velikoj pomoći, strpljenju te stručnom vođenju tijekom izrade mog diplomskog rada. Veliko hvala i mojoj obitelji, koja me je podržavala tokom cijelog mog školovanja, kao i prijateljima koji su bili uz mene tijekom studiranja.

Također, želim se zahvaliti pročelnici Odjela Sigurnosti i zaštite, Snježani Kirin, mr. sc., na podršci koju mi je pružila tijekom mog studija.

Hvala svim profesorima na Odjelu Sigurnosti i zaštite Veleučilišta u Karlovcu na njihovim iznimno stručnim predavanjima te na dijeljenju svog znanja, iskustva i vještina. Također, zahvaljujem svim kolegama studentima na njihovoj suradnji i iskustvima koje su podijelili tijekom našeg zajedničkog studija.

Želim još jednom zahvaliti svima koji su mi pružili podršku tijekom studija. Hvala vam puno!

S poštovanjem,

Labus Šime

## SAŽETAK

Posljednjih desetljeća došlo je do brojnih znanstvenih napretka u novim tehnološkim područjima. Shodno tome, jedno od vrlo važnih područja je umjetna inteligencija. Njena je implementacija u svim poslovnim sektorima sve raširenija. Autonomna vozila revolucionizirala su ovu granu industrije, sve više koriste umjetnu inteligenciju, a krajnji je cilj potpuna autonomija, što znači da u (skoroj) budućnosti čovjek više neće upravljati vozilima.

U ovom radu opisan je razvoj sigurnosnih značajki vozila, razvoj autonomije osobnih vozila, autonomna tehnologije rada, istaknute su prednosti i nedostaci takvih vozila, do danas postignute razine autonomije te ciljevi koji se žele postići u budućnosti. Također, dana je i usporedba tradicionalnih sigurnosnih sustava te sustava sigurnosti autonomnih vozila.

**Ključne riječi:** napredak, umjetna inteligencija, sigurnost, osobna autonomna vozila, razine autonomije, tehnologije rada autonomnih vozila, napredni sustavi pomoći vozaču

## **ABSTRACT**

In recent decades, there have been numerous scientific advances in new technological fields. Accordingly, one of the very important areas is artificial intelligence. Its implementation in all business sectors is increasingly widespread. Autonomous vehicles have revolutionized this branch of industry, they increasingly use artificial intelligence, and the ultimate goal is complete autonomy, which means that in the (near) future, humans will no longer drive vehicles.

This paper describes the development of vehicle safety features, the development of the autonomy of passenger vehicles, autonomous work technologies, highlights the advantages and disadvantages of such vehicles, the levels of autonomy achieved to date and the goals to be achieved in the future. Also, a comparison of traditional safety systems and autonomous vehicle safety systems is given.

**Keywords:** progress, artificial intelligence, safety, personal autonomous vehicles, autonomy levels, autonomous vehicle technologies, advanced driver assistance systems



# Sadržaj

|  |    |
|--|----|
| 1. UVOD .....  | 1  |
| 2. AUTOMOBILSKA SIGURNOST .....                                    | 2  |
| 2.1. Zakonski zahtjevi.....  | 4  |
| 3. AUTOMOBILSKI SIGURNOSNI SUSTAVI.....                            | 7  |
| 4. AUTONOMNA VOZILA.....   | 8  |
| 4.1. Razine autonomnosti .....                                     | 9  |
| 4.2. Tehnologija rada osobnih autonomnih vozila .....              | 22 |
| 4.2.1. Senzori kratkog dometa.....                                 | 23 |
| 4.2.2. Senzori dugog dometa .....                                  | 25 |
| 4.2.3. Radar.....  | 26 |
| 4.2.4. Lidar .....   | 29 |
| 4.2.5. GPS.....  | 33 |
| 4.3. Upravljanje podacima i donošenje odluka .....                 | 34 |
| 5. ISTRAŽIVANJA I BUDUĆI CILJEVI ZA AUTONOMNA VOZILA .....         | 43 |
| 6. PRAKTIČNI DIO – SIGURNOST TRADICIONALNIH VS. MODERNIH VOZILA .. | 46 |
| ZAKLJUČAK.....   | 50 |
| PRILOG I.....  | 57 |
| PRILOG II.....   | 58 |

# 1. UVOD

Posljednjih godina raste interes za samovozeća ili autonomna vozila kao način poboljšanja sigurnosti na cestama i smanjenja broja nesreća uzrokovanih ljudskom pogreškom. Međutim, kako se autonomna vozila nastavljaju razvijati i testirati, postavljaju se pitanja o tome koliko su sigurna u usporedbi s tradicionalnim vozilima koja se oslanjaju na ljudske vozače. U ovom radu istražit ću sigurnost tradicionalnih u odnosu na moderna i autonomna vozila, promatrajući prednosti i nedostatke svakog od njih, s naglaskom na probleme koje je moderna tehnologija riješila. Također, proučit ću tehnologije koje koriste autonomna vozila, a koje imaju izravnog utjecaja na cjelokupnu sigurnost svih sudionika prometa. Tehnologija, ljudsko ponašanje, uvjeti na cesti i propisi različiti su čimbenici koji mogu utjecati na sigurnost vozila, a po prvi put se javljaju i etičke i društvene implikacije usvajanja autonomnih vozila, poput utjecaja na zapošljavanje, privatnost i povjerenje u tehnologiju. U konačnici, ovim radom nastojat ću pružiti uravnoteženu analizu modernih tehnologija te usporedbu sigurnosti tradicionalnih, modernih i autonomnih vozila te tako pridonijeti tekućoj raspravi o budućnosti prijevoza.

## 2. AUTOMOBILSKA SIGURNOST

Sigurnosni pojas u tri točke, koji je Volvo uveo 1959. godine, bez sumnje je jedan od prvih značajnih napredaka u sigurnosti putnika u vozilu. Nedvojbeno je spašeno više od milijun života otkako je ovu vrstu remena kreirao njihov inženjer Nils Bohlin, a tvrtka Volvo Cars odrekla se prava na patent ovog izuma kako bi ga mogao koristiti bilo tko. [1]

Uvođenje dječje sjedalice okrenute unatrag dogodilo se 1972. kao rezultat stalne predanosti Volvo Carsa poboljšanju sigurnosti automobila. Kako bi uravnotežili silu na tijelu tijekom polijetanja, astronauti leže na leđima i to je bila inspiracija za njihove inženjere. Jedno od temeljnih pravila za izradu ovakve dječje auto sjedalice je raspodjela opterećenja i smanjenje ozljeda.



Slika 1. Prva autosjedalica okrenuta prema nazad [1]

Ista tvrtka 1978. predstavila je i povišeno sjedalo, kako bi se djeca u dobi od 4 godine i starija mogla voziti u smjeru vožnje i pritom koristiti sigurnosni pojas.



Slika 2. Povišeno sjedalo, [1]

Ne trebamo naglašavati koliko je prije kupnje ključno razmotriti sigurnost automobila ili koliko su moderna vozila sigurnija od starijih. Obično je dovoljno uzeti u obzir ono što je neposredno vidljivo oku ili količinu materijala koji okružuje kabinu automobila da bi se izvukao ovaj zaključak. Da ne spominjemo dodatne pasivne i proaktivne sigurnosne mjere. [2] Kao rezultat velikog broja studija koje su provedene, a koje samo služe da pojačaju ono što već znamo i istaknu neporecivu superiornost koju moderni automobili pokazuju u smislu sigurnosti putnika. Datum proizvodnje uspijeva se nametnuti kao daleko značajniji faktor od, primjerice, dimenzija vozila, čak i kada se u izravnom fizičkom obračunu uspoređuju neusporedive klase vozila. Na ovom mjestu svi ćemo se prisjetiti famoznog testa koji je Fifth Gear svojedobno napravio i koji već dugo kruži internetom, u kojem se urbani Renault Modus pokazao znatno sigurnijim izborom od starog švedskog karavana, iako svi bismo se kladili drugačije na temelju vanjskog izgleda. Australasian New Car Assessment Program, ili ANCAP, želio je usporediti dva identična vozila pa su na lansirnu rampu stavili dvije Toyote Corolle, od kojih je jedna proizvedena 1998., a druga 2015., ubrzale do 64 km/h, a izložio ih čeonom sudaru. Osim dvije zgužvane Corolle, eksperiment je također posve jasno pokazao da je novo 'novo' kada je u pitanju sigurnost. Analizom je utvrđeno da Corolla iz kasnih 1990-ih zaslužuje samo 0,40 bodova od mogućih 16, dakle nula zvjezdica, što znači da će putnici vjerojatno pretrpjeti ozbiljne i potencijalno katastrofalne posljedice u području glave, prsa i nogu [imajte na umu da je posebno Corolla nema ugrađene zračne jastuke], dok je njegov nasljednik s korakom od nekoliko generacija ocijenjen s 12,93 boda, tj. s pet zvjezdica, a ovaj

fiktivni sudar pokazao je da bi se putnici u takvom automobilu izvukli bez ozbiljnih ozljeda. [2]

Euro NCAP je europska organizacija koja ocjenjuje sigurnost novih automobila. Dobrovoljni europski program za procjenu novih automobila [ENCAP] osnovan je u Leuvenu, Belgija, u prosincu 1996., a njegovi početni nalazi objavljeni su u veljači 1997. Njegovo podrijetlo seže u Laboratorij za istraživanje prometa [engl. Transport Research Laboratory] Ministarstva prometa Ujedinjenog Kraljevstva [DfT - Department for Transport], koji je kasnije dobio potporu vlada nekoliko europskih zemalja, kao i Europske unije, a njihov je moto "Za sigurne automobile".

Proizvođači dobrovoljno predaju svoja vozila Euro NCAP-u, koji također može odabrati vozila, iako samo testiranje nije potrebno. [3]

Svake godine Euro NCAP objavljuje ukupnu ocjenu sigurnosti na temelju ispitivanja u četiri ključna područja:

1. zaštita odraslih putnika (za vozača i suvozača);
2. zaštita djece putnika;
3. zaštita pješaka, koja je proširena i na zaštitu biciklista i ranjivih skupina u prometu [engl. VRU - Ranjivi korisnik ceste];
4. sigurnosna podrška, koja procjenjuje tehnologije za izbjegavanje sudara i pomoć vozaču.

Uvođenje ukupne ocjene zvjezdicama napravljeno je kako bi se proširile opcije dostupne prema prethodnom sustavu ocjenjivanja, koji je bio u uporabi od 1997. [4]

## 2.1. Zakonski zahtjevi

Sva nova vozila na tržištu EU-a moraju imati vrhunske sigurnosne sustave do sredine 2022. U nastojanju da značajno smanji broj smrtno stradalih u prometu, Vijeće je donijelo uredbu o općoj sigurnosti motornih vozila, zaštiti osoba u vozilima, te zaštite nezaštićenih sudionika u prometu.

Vijeće i Europski parlament postigli su dogovor o ovoj uredbi u ožujku 2022., a kao rezultat ovih novih propisa broj smrtno stradalih i teško ozlijeđenih osoba na cestama EU značajno će se smanjiti. Osim toga, europska će automobilska industrija postati konkurentnija na globalnoj razini. [5] Zakon o sigurnosti prometa na cestama regulira

prijevoz djece u motornim vozilima na sljedeći način: [6]

- U teretnim vozilima i vozilima s osam sjedećih mjesta [izuzev mjesta za vozača] koja imaju ugrađene pojaseve zabranjeno je prevoziti djecu čija je visina ispod 150 cm ukoliko ne sjede u propisanim auto sjedalicama i nisu propisno vezana,
- U motornim vozilima s najviše osam sjedećih mjesta [izuzev mjesta za vozača] dozvoljeno je prevoziti djecu između 135 i 150 centimetara bez auto sjedalice ili odgovarajućeg postolja pod uvjetom da su smještena na stražnjem sjedalu i vezana sigurnosnim pojasom za odrasle osobe,
- U teretnim vozilima i vozilima s najviše osam sjedećih mjesta [ izuzev mjesta za vozača] koja nemaju ugrađene sigurnosne pojaseve nije dozvoljen prijevoz djece ispod tri godine; također djeca s napunjenih tri i više godina ne smiju se prevoziti na prednjem sjedalu vozila ukoliko je njihova visina manja od 150 cm,
- Zabranjeno je dijete prevoziti u sigurnosnoj sjedalici okrenutoj u suprotnom smjeru od smjera vožnje na sjedalu koje ima ugrađen zračni jastuk ukoliko isti nije deaktiviran,
- Osoba s napunjenih 18 godina koja upravlja biciklom na njemu može prevoziti dijete iznad 8 godina starosti ukoliko bicikl ima posebno sjedalo i držače, a mlađa djeca na biciklu se mogu prevoziti ukoliko isti ima posebno ugrađeno sjedalo s pripadajućom opremom, uz obvezno korištenje kacige,
- Zabranjen je prijevoz djece mlađe od 12 godina putem mopeda i motocikla.

Zakonski zahtjevi za autonomna vozila mogu se razlikovati od zemlje do zemlje i države do države, jer se zakoni i propisi još uvijek razvijaju kao odgovor na napredak u tehnologiji autonomnih vozila. Međutim, neki od općih zakonskih zahtjeva za autonomna vozila su:

1. Certifikacija vozila: Autonomna vozila moraju dobiti certifikat od relevantnih transportnih tijela, koja testiraju i odobravaju sposobnost vozila da sigurno radi na cestama unutar određene jurisdikcije.

2. Odgovornost i osiguranje: U slučaju nesreće koja uključuje autonomno vozilo, odgovornost i osiguranje su pitanja koja zahtijevaju pojašnjenje. Vlade i

osiguravajuća društva trebaju razviti zakone i politike kako bi odredili tko će biti odgovoran u slučaju nesreće i kako će se šteta pokriti.

3. Privatnost podataka: Autonomna vozila generiraju ogromne količine podataka o svom okruženju, performansama i putnicima. Moraju postojati zakoni i propisi koji reguliraju privatnost podataka, sigurnost i vlasništvo.

4. Pristupačnost: Autonomna vozila trebaju biti dizajnirana, proizvedena i njima treba upravljati na takav način da su dostupna svim članovima društva, uključujući one s invaliditetom.

5. Kibernetička sigurnost: Autonomna vozila su ranjiva na kibernetičke napade, koji mogu potencijalno ugroziti njihovu sigurnost i pouzdanost. Vlade i proizvođači imaju odgovornost razviti standarde kibernetičke sigurnosti i postupke za zaštitu od takvih napada.

Ovo su neki od zakonskih zahtjeva za autonomna vozila. Međutim, kako se tehnologija bude razvijala, postojat će stalna potreba za ažuriranjem i prilagođavanjem propisa kako bi se išlo u korak s tehnologijom koja brzo napreduje.

### 3. AUTOMOBILSKI SIGURNOSNI SUSTAVI

Sigurnosni sustavi automobila su tehnologije dizajnirane i ugrađene u automobile za sprječavanje nesreća, smanjenje utjecaja nesreća i povećanje ukupne sigurnosti. Evo nekih uobičajenih sigurnosnih sustava automobila koji se nalaze u većini modernih vozila:

1. Sustav protiv blokiranja kotača (ABS): Ovaj sustav sprječava blokiranje kotača tijekom naglog kočenja, što može uzrokovati proklizavanje ili gubitak kontrole.

2. Elektronička kontrola stabilnosti (ESC): Ovaj sustav prati kretanje vozila i pomaže u sprječavanju proklizavanja ili gubitka kontrole u hitnim manevrima ili tijekom naglih skretanja.

3. Zračni jastuci: Zračni jastuci su dizajnirani da zaštite vozača i putnike u slučaju sudara. Aktiviraju se trenutno tijekom jakog sudara kako bi ublažili putnike i zaštitili ih od ozljeda glave i tijela.

4. Nadzor mrtvog kuta: Ovaj sustav pomaže identificirati i upozoriti vozača na druga vozila u mrtvom kutu automobila, smanjujući mogućnost sudara tijekom mijenjanja traka na autocesti.

5. Upozorenje na sudar sprijeda: upozorava vozača ili automatski aktivira kočnice ako se vozilo previše približi onom ispred, smanjujući šanse za sudar.

6. Upozorenje o napuštanju prometne trake: Ovaj sustav upozorava vozača kada vozilo napusti voznu traku bez davanja signala, smanjujući rizik od sudara zbog neočekivanog zanošenja bočne trake.

7. Prilagodljivi tempomat: Ovaj sustav održava sigurnu udaljenost od vozila ispred automatskim podešavanjem brzine vozila ili primjenom kočnica u slučaju naglog zaustavljanja.

Gore navedeni neki su od značajnih sigurnosnih sustava ugrađenih u suvremena vozila, a značajno su pridonijeli smanjenju nesreća i smrtnih slučajeva na cestama.



## 4. AUTONOMNA VOZILA

Automobilska industrija nastavila je rasti od izuma prvih automobila. Taj se tempo još više ubrzao posljednjih godina predstavljanjem prvih električnih automobila na tržištu. Automobilski sektor pokazao je fleksibilnost u odgovoru na potrebe i trendove sadašnjih i budućih generacija društva. Uobičajen primjer složenog sustava umjetne inteligencije je autonomno vozilo. Najčešće korištena metoda u trenutnom istraživanju autonomnih vozila je serijska obrada informacija i osnovni računalni okvir, koji ima četiri modula: percepciju, planiranje, donošenje odluka i kontrolu. Međutim, računalna učinkovitost, razumijevanje okoliša i sposobnosti samoučenja ovog računalnog okvira vođenog podacima su slabi.

Razumijevanje i obrada podataka o percepciji okoline iz senzora koji se odnose na razinu kognitivne psihologije ljudskog procesa vožnje bio je dugo ignoriran problem. Izgradnja modela računala za autonomnu vožnju sa selektivnom pažnjom i sposobnostima samoučenja ključ je za rješavanje ovog problema. Ovaj model mora imati mehanizam za pamćenje, zaključivanje i iskustveno ažuriranje, što mu omogućuje rukovanje prometnim scenarijima s visokim šumom, dinamikom i slučajnošću. Dodatno, izvedba mehanizma povezanog s događajem ima veći utjecaj na razumijevanje prometnih scena od podataka iz percepcije scenarija s jednim atributom. Potpuno autonoman automobil je onaj koji ne vozi samo nas, već i sam sebe. Prije nego što se možemo potpuno opustiti i prepustiti vožnju automobilu, tehnologija u vozilima mora napredovati kroz pet razina pomoći vozaču. Klasifikacija autonomnih vozila: [11]

Razina 1: Napredni sustav pomoći vozaču [ADAS] pomaže nam pri kočenju, ubrzavanju i upravljanju.

Razina 2: Kočenje, ubrzavanje i upravljanje mogu biti u isto vrijeme kontrolirani autonomno, iako mi i dalje moramo pratiti uvjete i obavljati preostale zadatke.

Razina 3: vozač mora biti spreman i sposoban preuzeti kontrolu kada to zahtijeva ADS i mora izvršiti sve zadatke kada nije pod optimalnim uvjetima

Razina 4: ADS obavlja zadatke vožnje i nadgleda okoliš u određenim uvjetima bez potrebe da mi obraćamo pozornost.

Razina 5: ADS u potpunosti upravlja vozilom u svim uvjetima a da nitko ne mora

obratiti pozornost ili biti uključen u vožnju.

#### 4.1. Razine autonomnosti

Tijekom vremena promijenilo se mnogo poduzeća posvećenih stvaranju autonomnih vozila. Samovozeći automobil prikazan je 1939. godine na sajmu General Motorsa, a pokretao ga je električni krug. Automobil pokretan radarom, laserima i umjetnim vidom DARPA je predstavila 1980. godine.

Iste godine Mercedes-Benz je razvio i vozilo s računalnim nadzorom vida, a 1995. usavršio je vozilo s računalnim vidom i računalnim upravljanjem. Autonomni RS7 bilo je samovozeće vozilo koje je Audi predstavio 2014. godine; Audi SQ5 bio je samovozeće vozilo sa sustavom autonomne vožnje 2015. Google je također predstavio 25 samovozećih vozila s navigacijskim softverom 2015.[19] Tesla je stvorio najpoznatija autonomna vozila na cesti danas.

Uz Teslu, važni brendovi su Mercedes, Ford, Audi, BMW i Nissan. [12] Neki primjeri modela autonomnih vozila na različitim razinama uključuju Tesla Model S na razini 3, Nissan Qashqai s ProPilotom na razini 2 i Googleov prototip samovozećeg automobila na razini 4.

##### Druga razina

Ovu razinu autonomije karakterizira koordinacija dva ili više zadataka, ograničavajući potpunu ljudsku kontrolu nad vozilom. Adaptivni tempomat i automatsko kočenje u nuždi dva su primjera ove razine tehnologije. Prijenos kontrole na stroj, tj. vožnja bez ikakvih smetnji ne eliminira potrebu da vozač bude u potpunosti uključen.

Riječ je o naprednom sustavu pomoći vozaču (ADAS). Današnji automobili uglavnom su opremljeni sustavima koji odgovaraju razini 2, a najpoznatiji proizvođač je Tesla sa svojim vozilima, Model S (Slika 3.), Model X (Slika 4.), Model Y (Slika 5) i Model 3 (Slika 6), te General Motors s poluautonomnom značajkom vožnje autocestom pod nazivom Super Cruise, dostupnom na novom Cadillacu CT6 (Slika 7). [12]



Slika 3. Tesla Model 2, izvor [39]



Slika 4: Tesla Model X, izvor [39]



Slika 5 : Tesla Model Y, izvor [39]



Slika 6: Tesla Model 3, izvor [39]





Slika 7: Cadillac ct6, izvor [39]

Sva nova Tesla vozila standardno su opremljena vrhunskim hardverom koji trenutačno omogućuje korištenje značajki autopilota. Međutim, u budućnosti će moći voziti potpuno autonomno zahvaljujući softverskim ažuriranjima koja će s vremenom postati bolja. Vrhunske sigurnosne i upotrebljive značajke Autopilota napravljene su kako bi olakšale teret najizazovnijih situacija u vožnji. Automobil Tesla s vremenom će postati još sigurniji i sposobniji kao rezultat dodavanja novih značajki i poboljšanja postojećima zahvaljujući autopilotu. Autopilot omogućuje automobilu da automatski upravlja, ubrzava i koči unutar svoje trake.

Trenutne značajke autopilota ne čine automobil autonomnim; umjesto toga, zahtijevaju aktivni nadzor vozača. [22] Autopilot je vrhunska tehnologija za pomoć vozaču koja povećava udobnost i sigurnost tijekom upravljanja vozilom.

Svaki novi automobil Tesla dolazi s autopilotom kao standardnom opremom.

Tesla predstavlja nove značajke koje smanjuju stres i povećavaju sigurnost tijekom vožnje. Autopilot, poboljšani autopilot i potpuno autonomna vožnja dostupni su paketi.

[40]

**Autopilot** dolazi sa sljedećim značajkama i funkcijama: Prilagođava brzinu vašeg automobila brzini okolnog prometa korištenjem prometno prilagodljivog tempomata. Automatsko upravljanje: koristi prilagodljivi tempomat kako bi vam pomogao upravljati unutar trake koja je jasno označena. [40]

Značajke **poboljšanog autopilota** uključuju:

*Navigacija s autopilotom:* aktivno usmjerava vaše vozilo od rampe do rampe izvan nje, uključujući prijedloge traka, navigaciju između razmaka, automatsko uključivanje pokazivača smjera i ispravljanje izlaza. Kada je aktivirano automatsko upravljanje, ono pomaže pri prebacivanju u susjednu traku na autocesti.

*Automatsko parkiranje:* Samo jednim dodiranjem možete automatski paralelno ili okomito parkirati svoj automobil.

*Poziv:* koristi mobilnu aplikaciju ili ključ za manevriranje vašeg automobila u zatvorenom prostoru i iz njega.

*Pametno kretanje :* kako bi vas locirao na parkiralištu, vaš će se automobil kretati kroz zahtjevnija okruženja i parkirna mjesta, obilazeći objekte prema potrebi.

[40]

Potpuna sposobnost **samostalne vožnje** uključuje: uz mogućnosti i značajke autopilota i poboljšani autopilot.

*Kontrola prometnih i stop znakova (Beta):* uz vaš aktivni nadzor, ova značajka prepoznaje stop znakove i semafore i automatski usporava vaš automobil dok se približava.

*Nadolazeće:* Autosteer na gradskim ulicama [40]

Trenutno aktivirane značajke autopilota, poboljšanog autopilota i potpuno samostalne vožnje zahtijevaju aktivan nadzor vozača i ne čine vozilo autonomnim. Pouzdanost koja nadilazi pouzdanost ljudskih vozača mora se postići kako bi bila moguća puna autonomija, što dokazuje regulatorno odobrenje i veliko iskustvo. [40]

Super Cruise značajka je General Motorsovog sustava poluautonomne vožnje autocestom. Super Cruise je pomoć pri upravljanju vozilom bez ruku. Nudi vožnju bez ruku, koja je jednostavna i praktična, koristeći vrhunsku tehnologiju. Super

Cruise ne vodi računa o svakom aspektu vožnje niti obavlja svaki zadatak za koji je vozač sposoban. Kada to dopuštaju uvjeti na cesti, omogućuje vožnju bez ruku, ali vozač i dalje mora paziti na cestu. Super Cruise nudi se samo na cestama koje su izolirane od nadolazećeg prometa i nikada se ne smije koristiti u izazovnim ili opasnim situacijama u vožnji. To uključuje korištenje vozila u područjima gdje postoje građevinske zone, kada su oznake na trakama nedovoljne i vidljivost loša, u tunelima, kada vučete prikolicu, na rubu ceste, na izlaznoj traci autoceste ili na drugim mrljama ili opasnim situacijama poput kiše, susnežice, magle, leda ili snijega. Za održavanje automatske kontrole upravljanja automobilom na cestama, Super Cruiseova tehnologija za pomoć vozaču koristi mrežu kamera, prepoznavanje Global Positioning System (GPS), podatke poboljšane GPS-om, kartu visoke preciznosti i podatke poboljšane GPS-om. Kamera koja prepoznaje traku detektira označene trake na cesti kako bi pomogla vozilu da automatski upravlja i zadrži položaj u traku. GPS koristi ispravke u stvarnom vremenu i podatke karte za određivanje lokacije vozila. Kako bi ubrzao ili zakočio vozilo kao odgovor na druga vozila na njegovoj putanji koja se kreću u istom smjeru, sustav koristi prilagodljivi tempomat. Ključno je naglasiti da ovaj sustav ne funkcionira kao sustav za izbjegavanje sudara i neće upravljati niti kočiti kako bi izbjegao sudar. [41]

Samo dijelovi mreže autocesta SAD-a i Kanade koji su snimljeni LIDAR uređajima i dodani u sustav ispunjavaju uvjete za aktivaciju Super Cruisea. Takve ceste već pokrivaju više od četvrt milijuna kilometara, a stalno se grade nove. Ova metoda također povećava sigurnost. Na taj način sustav u automobilu nije prepušten (samo) svojim sensorima da "znaju" što ga čeka u sljedećim kilometrima. To je, između ostalog, iskorišteno da automobil automatski prilagodi brzinu kada naiđe na zavoj na cesti kojom se vozi. [42]

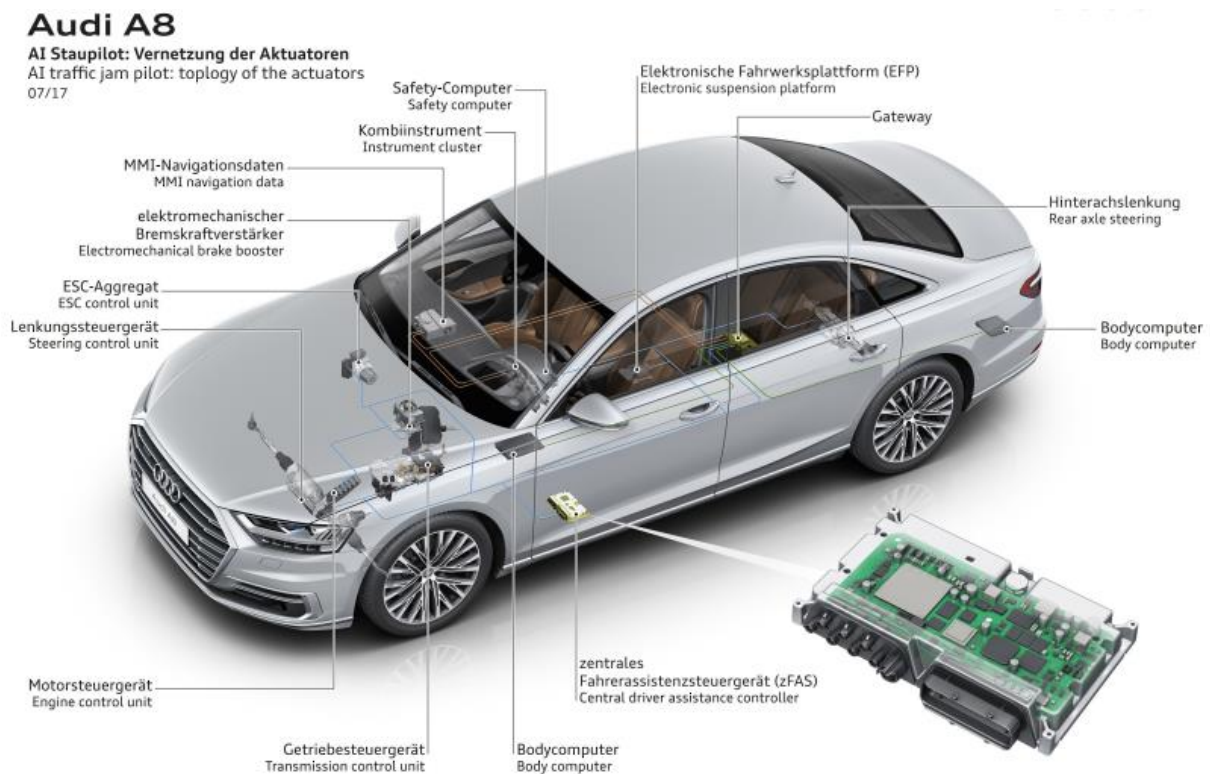
### Treća razina

Treća razina autonomije doseže se kada vozilo treba samo upravljati, ubrzavati, usporavati i nadzirati okolinu. Još uvijek postoji potreba za vozačem na ovoj razini. Vozila se na ovoj razini kategoriziraju u sustave automatizirane vožnje (ADS) ili visoko automatizirana vozila (HAV). Ova razina je poznata kao uvjetna automatizacija. Od druge do treće razine primjetan je porast mogućnosti vozila.[22]

Kada se govori o razini 3, misli se na automatiziranu uvjetnu vožnju. Na ovoj razini automobili mogu poduzeti neke radnje "sami", poput prolaska pored sporijeg automobila. Ovdje se takve odluke donose pomoću umjetne inteligencije. Međutim, ova razina još uvijek zahtijeva ljudski nadzor; čovjek bi trebao biti na oprezu i spreman preuzeti odgovornost u svakom trenutku. Model Audi A8 s Traffic Jam Pilotom, kombinacijom optičkog mjernog uređaja s vrhunskim sensorima i obradom podataka, predstavljen je 2019. i postao je prvo globalno autonomno vozilo treće razine.

No, sustav u Njemačkoj nikada nije dobio regulatorno odobrenje od Audija. Kao rezultat toga, Honda se uspjela etablirati kao prvi svjetski proizvođač autonomnih vozila.[43]

Na nekim dionicama, obično autocestama, vozilo ove razine može upravljati autonomno, ali vozač uvijek mora biti spreman preuzeti kontrolu u slučaju nužde. Kao ilustraciju ove razine prikazan je automobil Audi A8 sa sustavom AI traffic jam pilot. (slika 8)



Slika 8: Vozilo treće razine. Izvor [37]



Značajka Traffic Jam Pilot za Honda Sensing Elite (Slika 9) omogućuje automobilu kontrolu kočnica, upravljanja i gasa. Kao rezultat, automobil može održavati udaljenost, brzinu i položaj trake, sve bez asistencije vozača sve. Razina 3 koristi podatke iz sustava upravljanja vozilom, desetak vanjskih senzora i 3D karata globalnog navigacijskog satelita visoke rezolucije. Automobil S Honda Sensing Elite može održavati centriranje trake dok prati drugi automobil unaprijed određenom brzinom i sigurnom udaljenosti. Sustav upozorava vozača, a zatim mu pomaže u obilasku i promjeni prometnih traka ako otkrije da se vozilo ispred nas kreće sporije od naznačene brzine. Bez potrebe za stalnom kontrolom vozača, pilot u prometnoj gužvi može lako voziti automobil kroz gust promet. Sustav ima mogućnost skeniranja ceste tijekom vožnje autocestom i pokretanje promjene pojasa kako bi sam prošao. Iako neke od ovih funkcija mogu obavljati spomenuti Tesla autopilot i Cadillac Super Cruise, kao i drugi sustavi koji su trenutno na tržištu, vozači uvijek moraju obratiti pozornost. [22]



Slika 9: Automatski traffic jam, Honda Sensing Elite, izvor: [44]

Potpuno novo električno vozilo Mercedes-Benz EQS i redizajnirani Mercedes-Benz S-klase iz 2021. dva su dodatna vozila s automatizacijom vožnje u razini 3 koja čekaju regulatorno odobrenje. Drive Pilot je naziv Mercedesove inovacije.[22]

Tesla se kreće u smjeru korištenja samo kamera za vožnju, dok Mercedes koristi

pristup korištenju nekoliko različitih vrsta senzora. Drive Pilot oslanja se na radar, lidar, kamere, ultrazvučne i senzore vlage kako bi se orijentirao na cestu i pružanje značajki za pomoć vozačima. Na određenim cestama i određenim brzinama, sustav omogućuje vozačima da se odreknu kontrole vozilu i prestanu obraćati pažnju na cestu. Dva Mercedesova modela, S-klasa (slika 10) i EQS limuzine, bili su prvi koji su u Njemačkoj imali pilot sustav pogona.

Očekuje se da će prodaja ovog sustava razine 3 predstaviti Teslinom autopilotu razine 2 značajni izazov. Drive Pilot korisnicima pruža mogućnost da duže vrijeme maknu ruke i oči s volana dok sustav ne upozori da preuzmu kontrolu.

Sustav razine 3 trenutno se može koristiti samo na nekoliko njemačkih cesta i ima najveću brzinu od 60 km/h (37 mph), tako da se zasad može koristiti samo u usporenim prometnim situacijama. Međutim, očekuje se da će se u budućnosti proširiti njegova funkcionalnost.[45]



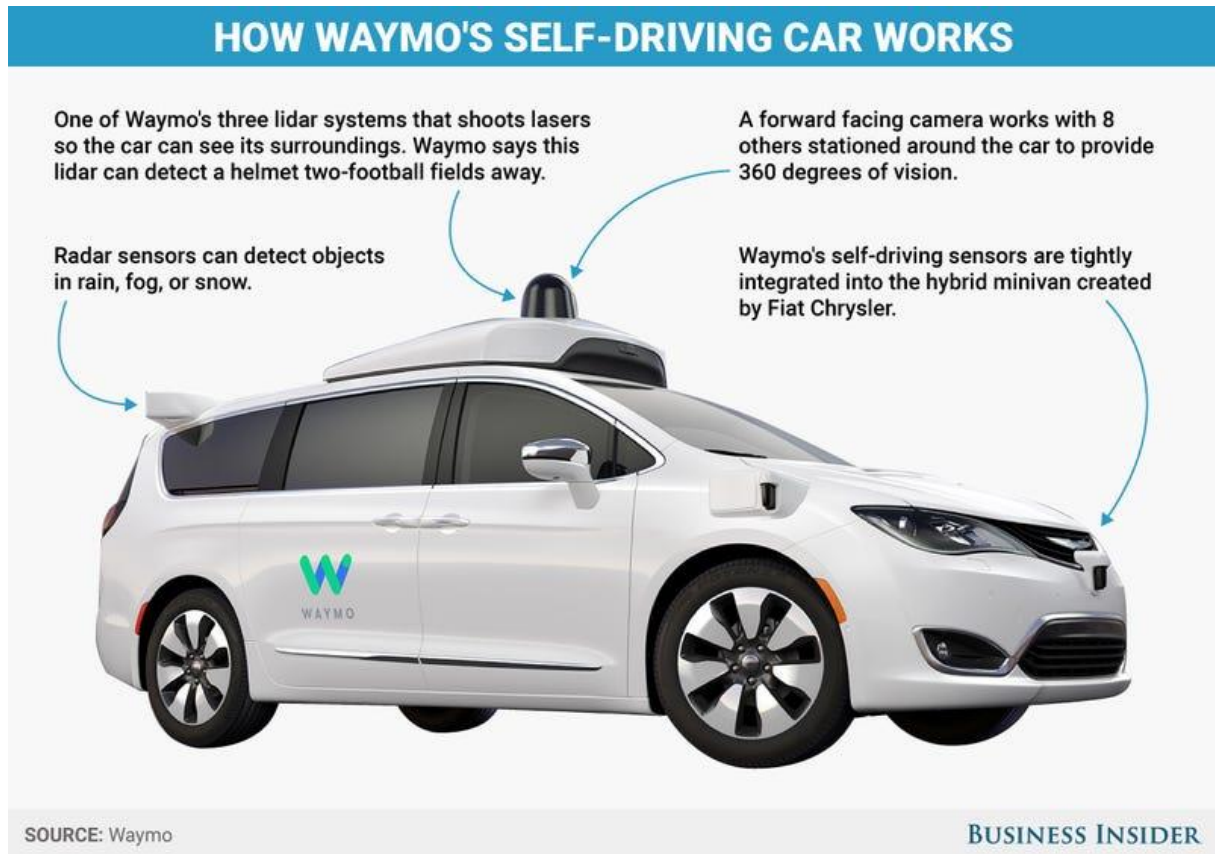
Slika 10. Senzori DrivePilot-a, Mercedes Benz S klasa, izvor [46]

#### Četvrta razina

Čovjek nije potreban na ovoj visokoj razini automatizacije. Vozilo samo kontrolira sve dok vozač može preuzeti u bilo kojem trenutku ako je potrebno.

Četvrta razina označava da je, u određenim okolnostima, automobil sposoban izvršiti sve zadatke vezane uz vožnju. Ovo su testni automobili koji se trenutno koriste za

testiranje na cesti. Kao specifična ilustracija ove razine služi Googleov (slika 11) projekt autonomnih vozila Waymo LLC. Četvrta razina, prema članku "DesignNews", navodno je dostignuta 2018. godine i označila je značajan napredak za autonomna vozila.



Slika 11: Waymo. Izvor: [38]

Googleova inicijativa Waymo najbolja je ilustracija vozila razine 4. Dok je testni vozač spreman u slučaju da nešto pođe po zlu, Waymo vozila već neko vrijeme rade bez vozača u SAD-u. [47]

Waymo je podružnica Alphabet, matične tvrtke Googlea i američke tvrtke koja razvija tehnologiju autonomne vožnje. Google koristi samovozeće automobile za prikaz ulica na Google kartama, a Waymo vodi uslugu samovozećeg taksija u širem području Phoenixa u Arizoni pod nazivom "Waymo One". U suradnji s nekoliko proizvođača automobila, uključujući Audi, Chrysler, Toyota i Lexus, Waymo je razvio sustave za autonomna vozila. Posao također stvara vlastite modele autonomnih

vozila. Waymo je raspravljao o pokretanju plaćene usluge vožnje bez vozača u Kaliforniji još od svog početnog testiranja. Prva vožnja autonomnog vozila bez pratnje na javnoj cesti dogodila se u Teksasu 2015. Alphabet je stavio Waymo u poziciju da pruži uslugu vožnje bez vozača koja će se natjecati s Uberom, Lyftom i taksijima. [48] Unatoč tome što nisu dostupna široj javnosti, autonomna vozila razine 4 koriste se u drugim kontekstima. Na primjer, Googleov Waymo surađivao je s Lyftom kako bi ponudio Waymo One, potpuno autonomnu komercijalnu uslugu dijeljenja vožnje. Vozači mogu unajmiti autonomna vozila koja mogu sama voziti. U slučaju da ADS treba nadjačati, u svakom vozilu i dalje postoji sigurnosni vozač. Do kraja 2019. usluga je bila ponuđena samo u regiji Metro Phoenix (Arizona), ali namjerava se proširiti na Floridu i Kaliforniju u bliskoj budućnosti. [22]

Primarni cilj Wayma je razviti Waymo Driver. I softver i hardver čine Waymo Driver. Zajedno, hardver i softver mogu stvoriti sliku okoline oko vozila i omogućiti sigurnu vožnju. Pogled na svijet od 360 stupnjeva omogućuje paket senzora hardverske komponente koji se sastoji od lidara, kamera, radara i računalne platforme temeljene na umjetnoj inteligenciji. S druge strane, softverski dio prikuplja informacije od senzora kako bi se odgovorilo na četiri ključna pitanja:

1. Gdje sam?
2. Što se nalazi oko mene?
3. Što će se slijedeće dogoditi?
4. Što trebam napraviti?

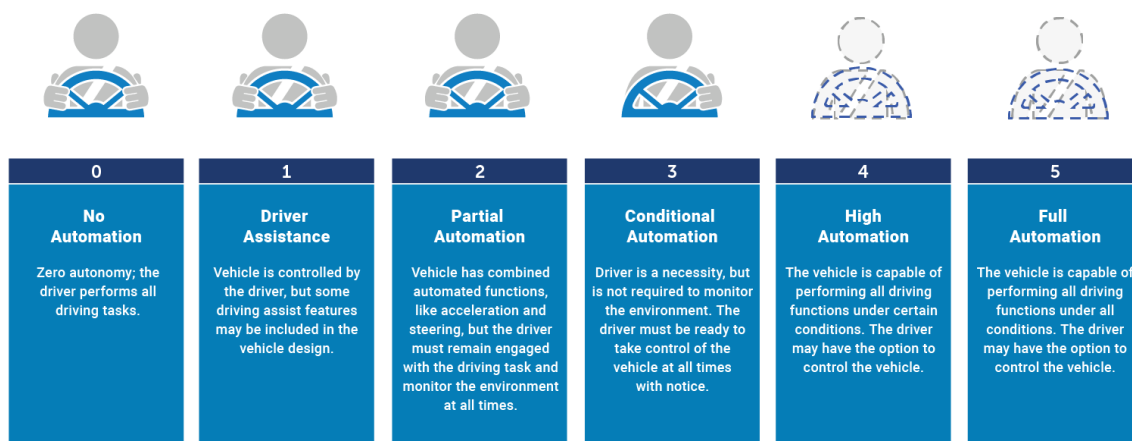
Korištenjem tehnologije strojnog učenja, sustav Waymo Driver analizira složene podatke prikupljene iz širokog spektra senzora za identifikaciju objekata kao što su pješaci, biciklisti, automobili, zgrade i još mnogo toga. Waymo Driver također reagira na signale i znakove, uključujući nijanse semafora i improvizirane znakove za zaustavljanje.[49]

Godine 2015. Waymo je dovršio prvu potpuno autonomnu vožnju javnom cestom u automobilu bez gasa ili papučice i bez ljudskog vozača. Vozila razine 4 obično su unaprijed programirana da voze samo unutar određenog područja i da ne prelaze ograničenje brzine od oko 30 mph. Vozilo Waymo One je testirano kao autonomni taksi [22], tako da se prvenstveno koriste za usluge javnog prijevoza kao što su taksiji.

Peta razina autonomije vozila znači da je vozač potpuno nepotreban. Ova vozila imaju zadaće usmjerene prema operativnim i taktičkim razmatranjima, te operativne radnje poput upravljanja, usporavanja, kočenja, ubrzavanja i nadzora.

Sposobnost reagiranja na nepredviđene okolnosti, poput sudara, kao i promjena trake, skretanje, čitanje i poštivanje prometnih znakova, sve su to primjeri taktičkih aspekata.

Na ovoj razini jedina odgovornost osobe je odlučiti kamo ide i, eventualno, gdje će se usput zaustaviti. [22]



Slika 12 . Klasifikacija autonomnih vozila, [13]

Kao što prikazuje slika 12., autonomno vozilo može samostalno voziti i "osjećati" svoju okolinu bez potrebe za ljudskom kontrolom. Automobil bez vozača ili samovozeći automobil drugi su nazivi za autonomno vozilo. Putuje između lokacija bez ljudskog operatera koristeći kombinaciju senzora, aktuatora, sustava strojnog učenja i sofisticiranih algoritama. "Senzori prikupljaju informacije o okolini u stvarnom vremenu, uključujući geografske koordinate, brzinu i smjer automobila, njegovo ubrzanje i prepreke na koje vozilo može naići" [4]

Za prikupljanje podataka o lokaciji, kao što su zemljopisna širina i dužina, automobilski navigacijski sustav opremljen je geografskim informacijskim sustavom (GIS) i globalnim sustavom pozicioniranja (GPS).

Ovaj sustav koristi sljedeće alate: [13]

- Lokacijski sustav koristi inercijski navigacijski sustav (INS) [5] za izračunavanje relativne lokacije vozila. Podaci o prometu, objektima uz cestu i sl. čuvaju se u Elektronskoj karti [EM]
- Za samovozeća vozila razine 2 i razine 3, HD Map je elektronička karta koja se trenutno nudi za upotrebu u autonomnim vozilima. Glavna metoda planiranja rute je usklađivanje karte, koja određuje lokaciju automobila. Okoliš se primarno opaža pomoću tri različite tehnike: radarske percepcije, vizualne percepcije i laserske percepcije.
- Ideja o vremenu refleksije i snazi signala refleksije koristi se u laserskoj percepciji za proizvodnju podataka o oblaku ciljanih točaka, uključujući lokaciju, stanje i oblik.
- Kada je u pitanju izbjegavanje sudara i situacija kočenja u nuždi, koristi se LIDAR. LIDAR sustavi svake sekunde oslobađaju brojne laserske impulse. Ti impulsi stupaju u interakciju s objektima u tom području, a zatim se odbijaju od njih. Izvođenjem izračuna na temelju brzine svjetlosti i prijeđene udaljenosti pulsa, ovo pomaže u stvaranju trodimenzionalnog prikaza. Izračunavanjem količine vremena potrebnog da se val koji emitira radarski senzor vrati, radarska percepcija može se koristiti za mjerenje udaljenosti.
- Samovozeći automobili koriste komunikaciju između vozila kratkog dometa za interakciju s okolinom i drugim vozilima. Podaci moraju biti u stvarnom vremenu i redundantni da bi se ova komunikacija dogodila.
- Mrežna propusnost od 12 do 24 Gbps potrebna je za napredni infotainment i nekomprimirane podatke ADAS [Advanced Driver Assistance Systems] senzora. [13]

Ad-hoc mreže za vozila [VANET] nastaju primjenom principa mobilnih ad hoc mreža [MANET] – spontanom stvaranjem bežične mreže mobilnih uređaja – na domeni vozila.” Za komunikaciju između vozila povezani automobili koriste VANET. Autonomno vozilo mora koristiti isti komunikacijski standard kao trenutna tehnologija povezanih automobila kako bi se olakšala integracija s autonomnim vozilima.

## 4.2. Tehnologija rada osobnih autonomnih vozila

Kontroverzna tehnologija koja brzo napreduje je autonomna vožnja. Ljudi vjeruju da će autonomna vozila donijeti bolju budućnost poboljšavajući mobilnost za djecu, starije osobe i osobe s invaliditetom, a istovremeno smanjujući troškove infrastrukture i poboljšavajući sigurnost na cestama. S druge strane, mnogo je ljudi zabrinuto zbog hakiranja automobila, vjerojatnosti nesreća sa smrtnim ishodom i gubitka poslova povezanih s vožnjom. Bez sumnje, mnogi ljudi autonomnu vožnju smatraju složenom i problematičnom tehnologijom. Razumijevanje načina rada samovozećih automobila i senzora koje koriste za navigaciju i prepoznavanje objekata na cesti kako bi izbjegli sudare pomoći će nam da bolje shvatimo koliko su sigurni. Podaci senzora otkrivaju heterogene i multimodalne karakteristike koje su dalje uključene u okvir korisnih pravila odlučivanja. Posljedično, senzori su ključni za donošenje odluka o autonomnom vozilu [AV] [17]

Senzori su alati koji promjene okoliša ili promatrane događaje pretvaraju u mjerenja koja se mogu obraditi. Na temelju načina na koji funkcioniraju, senzori se dijele u dvije kategorije. Proprioceptivni senzori, koji se nazivaju i senzori internog stanja, detektiraju interne podatke kao što su sila, kutna brzina, opterećenje kotača, napon baterije i druge interne varijable i bilježe dinamičko stanje dinamičkog sustava. Proprioceptivni senzori uključuju kodere, inercijske mjerne jedinice (IMU), inercijske senzore (žiroskope i magnetometre) i senzore lokacije (GNSS prijammici). S druge strane, eksteroceptivni ili vanjski senzori stanja percipiraju i prikupljaju podatke iz okoline sustava, kao što je izračunavanje udaljenosti ili intenziteta svjetla. Eksteroceptivni senzori uključuju kamere, LiDAR, radio detekciju i mjerenje udaljenosti (radar) i ultrazvučne senzore. Senzori također mogu biti dinamički ili pasivni po prirodi. Automatizirana vožnja uvelike se oslanja na autonomne senzore koji vozilima omogućuju nadzor okoline, otkrivanje prepreka koje se približavaju i sigurno planiranje ruta. [18]

Zajedno sa softverom i računalima u automobilu, senzori će na kraju omogućiti sustavu automatizacije da preuzme potpunu kontrolu nad vozilom, štedeći vozačima značajnu količinu vremena izvršavanjem zadataka mnogo učinkovitije i sigurnije. [19, 20] Pasivni senzori, poput kamera, dobivaju energiju iz okoline i proizvode

informacije. Aktivni senzori, poput LiDAR-a i radarskih senzora, emitiraju energiju u okoliš i mjere "odgovor" okoliša na tu energiju kako bi proizveli rezultate. U AV uređajima senzori su bitni za percepciju okoline i lokalizaciju vozila, što je potrebno za planiranje putanje i donošenje odluka prije kontrole kretanja vozila. AV koristi nekoliko kamera za vid, radarske senzore, LiDAR senzore i ultrazvučne senzore kako bi osjetio okolinu. Relativni i apsolutni položaji vozila također se određuju pomoću dodatnih senzora, uključujući Globalni satelitski navigacijski sustav (GNSS), Inercijalnu mjernu jedinicu (IMU) i senzore brojača kilometara na vozilu.

#### 4.2.1. Senzori kratkog dometa

Za razliku od infracrvenih senzorskih sustava, koji će detektirati oznake prometnih traka bez rasvjete i pješake u situacijama slabog osvjetljenja, ultrazvučni senzori daju precizne podatke kratkog dometa. Posao ultrazvučnih senzora je locirati objekte i izračunati njihovu udaljenost od njih.

Vremenski raspon između trenutka kada je zvuk ili signal poslan u smjeru objekta i vremena potrebnog da se signal vrati senzoru koristi se za izračunavanje udaljenosti do objekta.

Ultrazvučni primopredajnici, pojačala i generatori izlaznih signala čine ultrazvučne senzore. Posao primopredajnika je stvoriti ultrazvučni val, nakon čega mora čekati da pogođeni objekt reflektira njegov zvuk ili jeku. Koristeći poznatu brzinu kretanja ultrazvučnog signala kroz zrak, uređaj za formiranje izlaznog signala izračunava vrijeme od kada je zvuk emitiran i vraćen kao eho, te se odatle određuje udaljenost od objekta. Ova vrsta senzora koristi se u sensorima za parkiranje za automobile kako bi pomoću zvučnog signala pokazali koliko smo blizu ili koliko daleko od objekta ili prepreke. Mogu se postaviti na prednju, bočnu ili stražnju stranu bilo kojeg motornog vozila i dizajnirani su za sva motorna vozila. [21]

Primarna funkcija ovih senzora je olakšati parkiranje u situacijama u kojima bi inače bilo teže i riskiralo bi oštećenje vlastitog ili tuđeg automobila. Oni rade tako da mogu odrediti koliko je vozač blizu zida ili druge prepreke. Broj zvukova će se sve glasnije i intenzivnije povećavati kako se približavamo prepreci. Ultrazvučni sustav parkiranja oslanja se na senzore koji su pažljivo postavljeni i integrirani u odbojnice kako bi



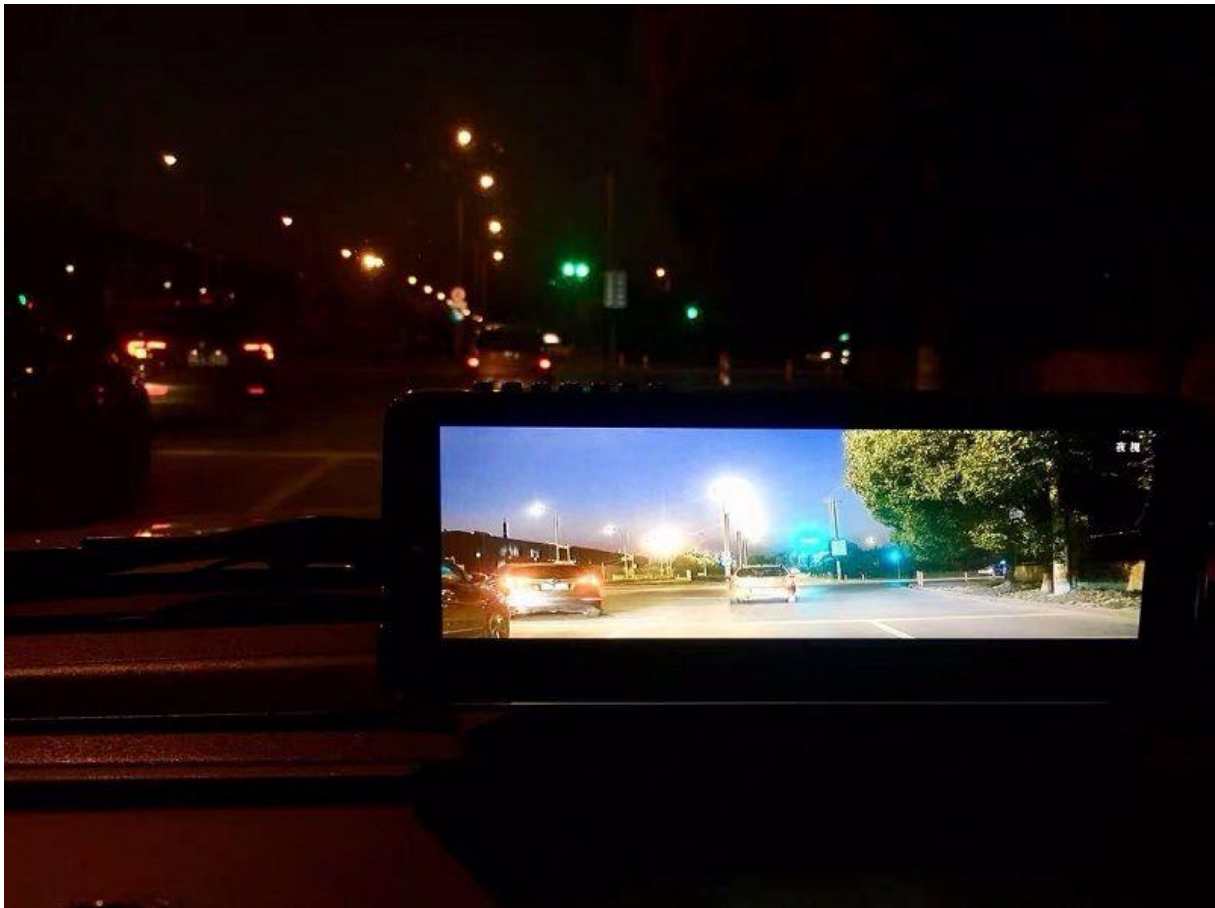
pokrili veliko područje. Upravljačka jedinica je odgovorna za rad senzora koji su postavljeni na stražnji branik i, po želji, na prednju stranu. Kada se uključi stupanj prijenosa za vožnju unatrag, senzori se automatski uključuju i šalju ultrazvučni impuls koji putuje kroz zrak, pokrećući sustav.

Ultrazvučni puls će se odbiti od bilo koje prepreke i vratiti na senzor, gdje će biti detektiran i prijavljen kontrolnoj jedinici.

Nadležna jedinica koristi količinu vremena koje je prošlo između emitiranja pulsa i prijema kako bi odredio koliko je udaljena prepreka. Maksimalni domet detekcije je otprilike između 0 i 1 metra. Postoji prekidač za uključivanje ili isključivanje ultrazvučnog sustava parkiranja ako vozač odluči ne koristiti pomoć pri parkiranju. To se može pronaći u kabini, obično na sredini ploče s instrumentima ili na središnjoj konzoli. [22]

Infracrveni senzori u vozilima, odnosno infracrvene kamere za noćno gledanje, (slika 13) povećavaju sigurnost putnika i osobnu sigurnost, što naravno dovodi do manjeg broja nesreća. Infracrvene kamere za noćno gledanje mogu raditi na aktivan ili pasivan način. Prednosti i nedostaci svakog od ovih sustava su različiti. Pojam "pasivni sustav" odnosi se na tehniku detekcije toplinskog zračenja koje emitiraju vozila, pješaci i drugi objekti uz cestu, dok "aktivni sustavi" koriste infracrvene izvore svjetlosti za osvjetljavanje udaljenih objekata. [22]

Slika 13. prikazuje infracrvenu kameru koja pokreće prikaz noćnog vida na panel monitoru. Ovisno o vozilu, opcije prikaza za noćno gledanje variraju, pa se može aktivirati na monitoru navigacije ili zaslonu na vjetrobranskom staklu [engl. head-up zaslon] Vrijeme odziva i ranije otkrivanje predmeta, životinja i ljudi korištenjem ovog sustava bit će brže. Isto tako, puno je lakše vidjeti svaki zavoj i druge prepreke na cesti. Ljudi mogu lako nositi tamniju odjeću na mjestima gdje bi bilo koje vozilo dobilo upozorenje da uspori ili stane jer je rizik od nesreća smanjen na način da se sve može vidjeti na vrijeme.



Slika 13: Infracrvena kamera; [22]

#### 4.2.2. Senzori dugog dometa

Sposobnost vozila da opaža svoju okolinu uključuje korištenje sustava poput Lidara, radara i GPS-a. Korištenjem lasera za emitiranje svjetlosnih zraka i mjerenjem vremena koje je potrebno da se te zrake odbiju od prepreka u okolini, sustavi za detekciju svjetlosti i mjerenje udaljenosti (ili "lidar") mjere udaljenosti do prepreka. Nedostatak im je što slabo reflektiraju neke materijale i manje su korisni na velikim nadmorskim visinama. Radarski sustav [Radio detekcija i određivanje udaljenosti] koristi radio valove za razliku od ovog sustava. Imaju dobru percepciju metalnih predmeta, ali su im mnogi nemetalni predmeti nevidljivi. Kamere također koriste percepcije za razumijevanje osnovnih elemenata okoline, kao što su linije, znakovi i svjetla.

Jedna od najpopularnijih ekoloških tehnologija je kamera. Kamera snima jasne slike okoline detektirajući svjetla emitirana iz okoline na fotosjetljivoj površini (ravnini

slike) pomoću leće kamere (postavljene ispred senzora) [13-18] Kamere su općenito dostupne, a kada se koriste s pravim softverom, mogu proizvesti slike okoliša visoke rezolucije, a također identificirati prepreke koje su i pokretne i nepokretne u njihovom vidnom polju. [23]

#### 4.2.3. Radar

Radar, također poznat kao radio detekcija i određivanje udaljenosti, nastao je prije Drugog svjetskog rata. Eksperimentirao je s konceptom raspršenja elektromagnetskih (EM) valova (ili refleksija) od ciljeva i primanja raspršenih valova (ili refleksija) od ciljeva unutar područja interesa kako bi obradio signal i odredio podatke o dometu. Koristi se Dopplerovim svojstvom EM valova za izračunavanje udaljenosti između i lokacije identificiranih prepreka [20] Dopplerov efekt, također poznat kao Dopplerov pomak, opisuje kako se frekvencija vala može promijeniti ili pomaknuti kao rezultat relativnog kretanja između njegovog izvora i njegovih ciljeva. Frekvencija detektiranog signala (kraći valovi) raste kako se cilj pomiče u smjeru radarskog sustava. Opća matematička jednadžba za Dopplerov pomak frekvencije radara može se napisati kao:

$$f_D = \frac{2 \times V_r \times f}{c} = \frac{2 \times V_r}{\lambda}$$

Gdje je  $f_D$  Doppler frekvencija u Hercima [Hz],  $V_r$  relativna brzina cilja,  $f$  je frekvencija; emitirani signal je brzina svjetlosti [ $3 \times 10^8$  m/s] i  $\lambda$  je valna duljina emitirane energije. Tablica 1, ističe specifikacije različitih vrsta radara.

Tablica 1: Opće specifikacije stereo kamere, vodoravno vidno polje [HFOV], okomito vidno polje [VFOV], okviri u sekundi [FPS], Razlučivost slike u mega pikselima [Img Res], dubina okvira u sekundi [FPS]<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Izrada autora prema Henry Alexander Ignatious et al. / Procedia Computer Science 198 (2022) Procedia Computer Science 00 (2021) 000–000 736–741

| Deep Information  |                 |            |         |         |         |         |         |                   |          |        |
|-------------------|-----------------|------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------------|----------|--------|
|                   | Model (mm)      | Baseline   | HFOV(°) | VFOV(°) | FPS(Hz) | Range   | Img Res | Range             | Res      | FPS    |
| Roboception       | RC Viscard 160  | 160        | 61      | 48      | 25      | 0.5-3   | 1.2     | 0.5-3             | 0.03-1.2 | 0.8-25 |
| Carnegie Robotics | MultiSense S7   | 70         | 80      | 49/80   | 30 max  | -       | 2/4     | 0.4min            | 0.5-2    | 7.5-30 |
|                   | MultiSense S21B | 210        | 68-115  | 40-68   | 30 max  | -       | 2/4     | 0.4min            | 0.5-2    | 7.5-30 |
| Ensenso           | N35-606-16      | 100        | 58      | 52      | 10      | 4max    | 1.3     |                   |          |        |
| Framos            | D435e           | 55         | 86      | 57      | 30      | 0.2-10  | 2       | 0.2 max           | 0.9      | 30     |
| Nerian            | Karmin3         | 50/100/250 | 82      | 67      | 7       |         | 3       | 0.23/0.45/1.14min | 2.7      | -      |
| Intel             | D455            | 95         | 86      | 57      | 30      | 20 max  | 3       | 0.4 min           | ≤1       | ≤ 90   |
|                   | D435            | 50         | 86      | 57      | 30      | 10max   | 3       | 0.105min          | ≤1       | ≤ 90   |
|                   | D415            | 55         | 85      | 40      | 30      | 10 max  | 3       | 0.16mm            | ≤1       | ≤ 90   |
| Flir              | Bumblebee2      | 120        | 66      |         | 48/20   | 0.3/0.8 |         |                   |          |        |
|                   | Bumblebee XB3   | 240        | 6       |         | 16      |         | 1.2     |                   | —        |        |

Tablica 2. Opće specifikacije LiDAR-a, sličica u sekundi [FPS], točnost [Acc], domet otkrivanja [RNG], vertikalni FoV [VFOV], vodoravni FoV [HFOV] Horizontalna razlučivost [HR0, okomita razlučivost [VR], valna duljina [ $\lambda$ ]<sup>2</sup>

| Category                     | Company       | Model                 | Channels/Layers | FPS(Hz) | Acc(m)   | RNG(m)  | VF OV (°) | HFO V(°)  | HR         | VR      | $\lambda$ | Ref  |
|------------------------------|---------------|-----------------------|-----------------|---------|----------|---------|-----------|-----------|------------|---------|-----------|------|
| Mechanical / Spinning LiDARS | Velodyne      | VLP-16                | 16              | 5-20    | ±0.03    | 1..100  | 30        | 360       | 0.1-04     | 2       | 903       | [15] |
|                              |               | VLP- 32C              | 32              | 5-20    | ±0.03    | 1..200  | 40        | 360       | 0.1-04     | 0.33    | 903       |      |
|                              |               | HDL-32E               | 32              | 5-20    | ±0.02    | 2-100   | 41.3      | 360       | 0.08-      | 1.33    | 903       |      |
|                              |               | HDL-64E               | 64              | 5-20    | ±0.02    | 3..120  | 3         | 360       | 0.33       | 0.33    | 903       |      |
|                              |               | VLS 128 (Alpha Prime) | 128             | 5-20    | ±0.03    | Max 245 | 26.8      | 360       | 0.09       | 0.11    | 903       |      |
|                              |               |                       |                 |         |          |         |           | 40        |            | 0.1-0.4 |           |      |
|                              | Hesai         | Pandar64              | 64              | 10,20   | ±0.02    | 0.3..20 | 40        | 360       | 0.2,0.4    | 0.167   | 905       | [16] |
|                              | Pandar40P     | 40                    | 10,20           | ±0.02   | 0.3..200 | 40      | 360       | 0.2,0.4   | 0.167      | 05      |           |      |
| Ouster                       | OSI-64        | Gen1                  | 64              | 10,20   | ±0.03    | 0.8—120 | 33.2      | 360       | 0.7,0.35   | 0.53    | 850       | [17] |
|                              |               | OSI-16                |                 |         |          |         |           |           |            |         |           |      |
|                              | Gen 1         | 16                    | 10,20           | ±0.03   | 0.8120   | 33.2    | 360       |           | 0.53       | 850     |           |      |
|                              | RoboSense     | RS-LiDAR 32           | 32              | 5,10,20 | ±0.03    | 0.4-200 | 40        | 360       | 0.18,10.36 | 2       | 905       | [18] |
|                              | LeiShen       | C32-151A              | 32              | 5,10,20 | ±0.03    | 0.5-.70 | 32        | 360       | 0.09       | 1       | 905       | [19] |
|                              | C16-700B      | 16                    | 5,10,20         | ±0.02   | 0.5..150 | 30      | 360       | 0.18,0.36 | 2          | 905     |           |      |
| Hokuyo                       | YVT-35LX-F0   | -                     | 20              | ±0.05   | 0.3..35  | 40      | 210       | -         | -          | 905     | [20]      |      |
| Solid State LiDARS           | IBEO          | LUX 4L                | 4               | 25      | 0.1      | 50      | 3.2       | 110       | 0.25       | 0.8     | 905       | [21] |
|                              |               | Standard              | 4               | 25      | 0.1      | 50      | 3.2       | 110       | 0.25       | 0.8     | 905       |      |
|                              |               | LUX HD                | 8               | 25      | 0.1      | 30      | 6.4       | 110       | 0.25       | 0.8     | 905       |      |
|                              | SICK          | LD-MRS400102S01       | 4               | 50      | -        | 30      | 3.2       | 110       | 0.125-0.5  | -       | -         | [19] |
|                              | LD-MRS8001S01 | 8                     | 50              | -       | 50       | 6.4     | 110       | 0.125-0.5 | -          | -       |           |      |

<sup>2</sup> Izrada autora prema Henry Alexander Ignatious et al. / Procedia Computer Science 198 (2022) Procedia Computer Science 00 (2021) 000–000 736–741

Tablica 3. Opća specifikacija RADAR senzora. Akronimi prvi od prvog stupca odozgo prema dolje, Frekvencija [Freq], horizontalni FoV [HFOV], Vertical FoV [VFOV], Preciznost dometa [Range Acc], Raspon brzine [Vel Range], ROS [Robotski operativni sustav]<sup>3</sup>

|                  | Aptiv Delpi  |                           | Continental    | SmartMicro                |
|------------------|--------------|---------------------------|----------------|---------------------------|
| Category         | ESR2.5       | SRR@                      | ARS 408-21     | UMMR-96-T-153             |
| Freq(GHz)        | 76.5         | 76.5                      | 76...77        | 79(77..81)                |
| HFOV(°)          |              |                           |                |                           |
| Short-Range      |              | ±75                       | ±9             | ≥ 130                     |
| Mid-Range        | ±45          |                           |                | ≥ 130                     |
| Long-Range       | ±10          |                           | ±60            | ≥ 100 (squint beam)       |
| VFOV(°)          |              |                           | 20             |                           |
| Short-Range      | 4.4          | 10                        | 14             | 15                        |
| Long-Range       |              |                           |                |                           |
| Range(m)         | -            |                           |                |                           |
| Short-Range      |              | ±0.5 noise and ±0.5% bias | -              | <0.15 (or) 1% (bigger of) |
| Mid-Range        |              |                           |                | <0.30 (or) 1% (bigger of) |
| Long-Range       |              |                           |                | <0.50 (or) 1% (bigger of) |
| Vel Range (km/h) |              |                           |                |                           |
| Short-Range      | -            | -                         |                | -400 ... + 100            |
| Mid-Range        |              |                           | -400 ... + 200 | -340 ... + 140            |
| Long-Range       |              |                           |                | -340 ... + 140            |
| IO Interfaces    | CAN/Ethernet | PCAN                      | CAN            | CAN/Automotive Ethernet   |

Tablica 4.: Uobičajena usporedba senzora. " ✓" senzori potpuno rade pod određenim uvjetima, "--" senzori rade relativno dobro pod određenim uvjetima, senzori "x" ne rade dobro pod određenim faktorom u odnosu na druge senzore.

| Factors                              | Camera | LiDAR | RADAR | Fusion |
|--------------------------------------|--------|-------|-------|--------|
| Range                                | --     | --    | ✓     | ✓      |
| Resolution                           | ✓      | --    | x     |        |
| Distance Accuracy                    | --     | ✓     | ✓     | ✓      |
| Velocity                             | --     | x     | ✓     | ✓      |
| Color Perception, e.g Traffic lights | ✓      | x     | x     | ✓      |
| Object Detection                     | x      | ✓     | ✓     | ✓      |
| Object Classification                | ✓      | x     | x     | ✓      |
| Lane Detection                       | ✓      | x     | x     | ✓      |
| Obstacle Edge Detection              | ✓      | ✓     | x     | ✓      |
| Illuminations Conditions             | x      | ✓     | ✓     | ✓      |
| Weather Conditions                   | x      | --    | ✓     | ✓      |

<sup>3</sup> Izrada autora prema Henry Alexander Ignatious et al. / Procedia Computer Science 198 (2022) Procedia Computer Science 00 (2021) 000–000 736–741

Za većinu proizvođača senzora stvaranje pouzdanih i izdržljivih dizajna pametnih senzora za precizna i precizna mjerenja težak je zadatak. Još jedan značajan izazov kod bežičnih senzora je suočavanje s pogreškama u pogrešnoj i nepouzdanj komunikaciji. Pravilan odabir hardvera i operativne infrastrukture, kalibracija senzorske mreže, model implementacije i programiranja te sinkronizacija glavni su problemi bežičnih senzorskih mreža. Kalibrirati senzore prije upotrebe je izazovno. Budući da LIDAR senzori ne daju informacije o boji podataka koji se percipiraju, podaci o oblaku točaka često se kombiniraju s drugim podacima koji su prikupljeni od raznih senzora korištenjem renomiranih algoritama fuzije. Radarski senzori često su neprikladni za aplikacije prepoznavanja objekata zbog njihove inferiorne razlučivosti u odnosu na kamere. Loše vrijeme također utječe na performanse senzora. Kako bi se smanjile trenutne poteškoće i poboljšala učinkovitost senzora, istraživanja su još uvijek u tijeku.

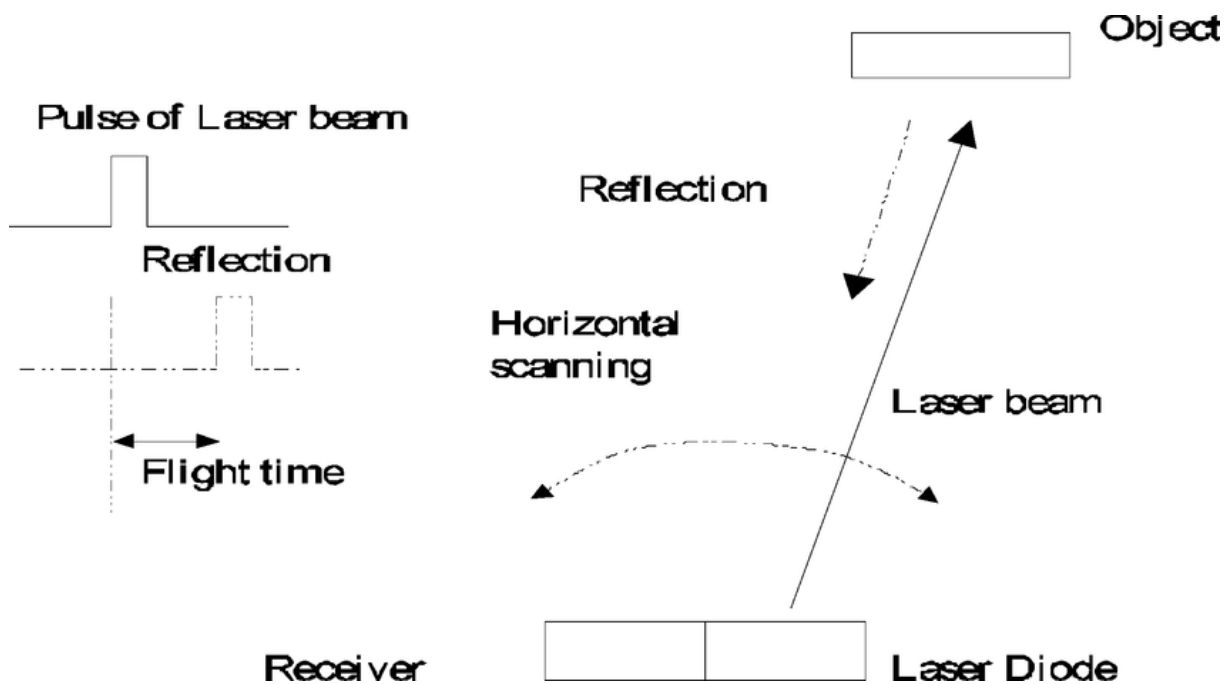
#### 4.2.4. Lidar

Od svog izuma 1960-ih, lidar, odnosno detekcija i mjerenje udaljenosti svjetlosti, intenzivno se koristi u zračnom i svemirskom terenu. Proizvođači laserskih skenera proizveli su i postavili prvi komercijalni Lidar s 2000 do 25 000 impulsa u sekundi [PPS] za topografske primjene sredinom 1990-ih. [24] Lidar je metoda daljinskog očitavanja koja se temelji na ideji da će ciljani objekti reflektirati infracrvene ili laserske svjetlosne impulse koji se proizvode. Te refleksije uređaj detektira, a mjerenje udaljenosti omogućuje interval između emisije i primanja svjetlosnog impulsa.

Standardni Lidar senzor emitira pulsirajuće svjetlosne valove u okolinu oko vozila, a mjerenjem vremena koje je potrebno svjetlosnim valovima da putuju do objekta i natrag do senzora, može odrediti koliko je objekt udaljen od automobila. Ovaj se proces provodi milijun puta u sekundi kako bi se proizvelo točno, stvarno okruženje 3D kartice.

Razlikujemo lidar dugog i kratkog dometa. Lidar velikog dosega [eng. Long-Range Lidar, ili LRR, vrsta je LIDAR-a koji se koristi za lociranje i identifikaciju objekata na većim udaljenostima do 200 metara, kao što je identifikacija pješaka, kočenje u nuždi

i izbjegavanje sudara. Ova vrsta Lidara ima značajan nedostatak u tome što se loše ponaša u lošim vremenskim uvjetima. Međutim, njegova visoka linearna i kutna razlučivost smatra se dobrobiti. Lidar kratkog dometa dostupan je uz Lidar velike domene. Za razliku od Lidara Velikog Dometa, Short-Range Lidar ili SRR koristi se za praćenje neposredne, najbliže okoline vozila. Prednost ove vrste LIDAR-a je u tome što može razlikovati objekte dok ih promatra, tako da može uočiti razliku između djeteta koje se igra na pločniku i npr. vatrogasnog hidranta. [25]



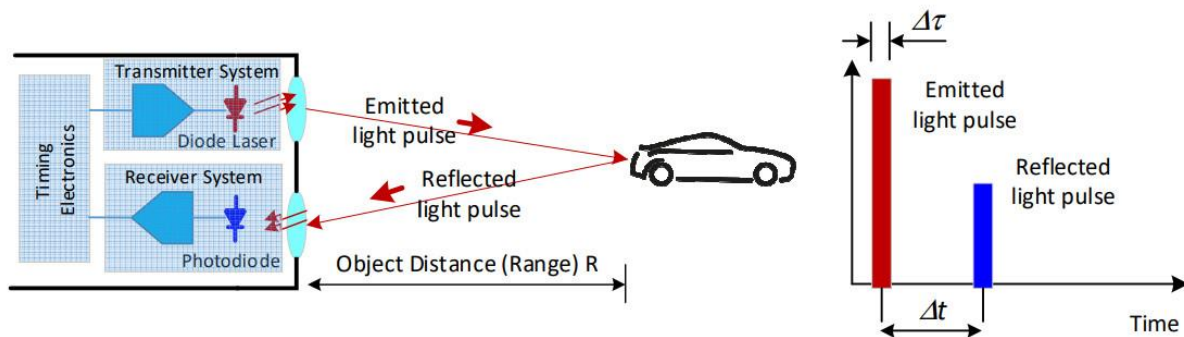
Slika 14: Princip rada Lidar, [26]

LiDAR senzori proizvode podatke u obliku niza točaka, također poznatih kao podaci o oblaku točaka [PCD], u 1D, 2D i 3D područjima, kao i informacije o intenzitetu objekta.

PCD sadrži x, y i z koordinate kao i informacije o intenzitetu prepreka unutar scene ili okruženja za 3D LiDAR senzore. [26]

Na slici 15. prikazane su osnove rada lidara. Slanjem pulsirajućeg svjetlosnog lasera, mjerenjem vremena koje je potrebno da se puls odbije od objekta i vrati, a zatim izračunavanjem udaljenosti do objekta od kojeg se jedna zraka reflektirala, djeluje na vrijeme leta [TOF] načelo. Sama širina optičkog impulsa može biti bilo gdje između nekoliko nanosekundi i nekoliko mikrosekundi [25] Pomoću ovih mjerenja može se

modelirati trodimenzionalno okruženje. S dometom većim od 250 metara, moderni lidarski senzori mogu mjeriti udaljenosti brzinom većom od 150 kHz (150 000 impulsa u sekundi). [27]



Slika 15: Osnovni princip rada lidar-a i vremenski dijagram impulsa, [27]

Udaljenost od objekta se računa kao:

$$R = \frac{v \cdot \Delta t}{2}$$

gdje je:

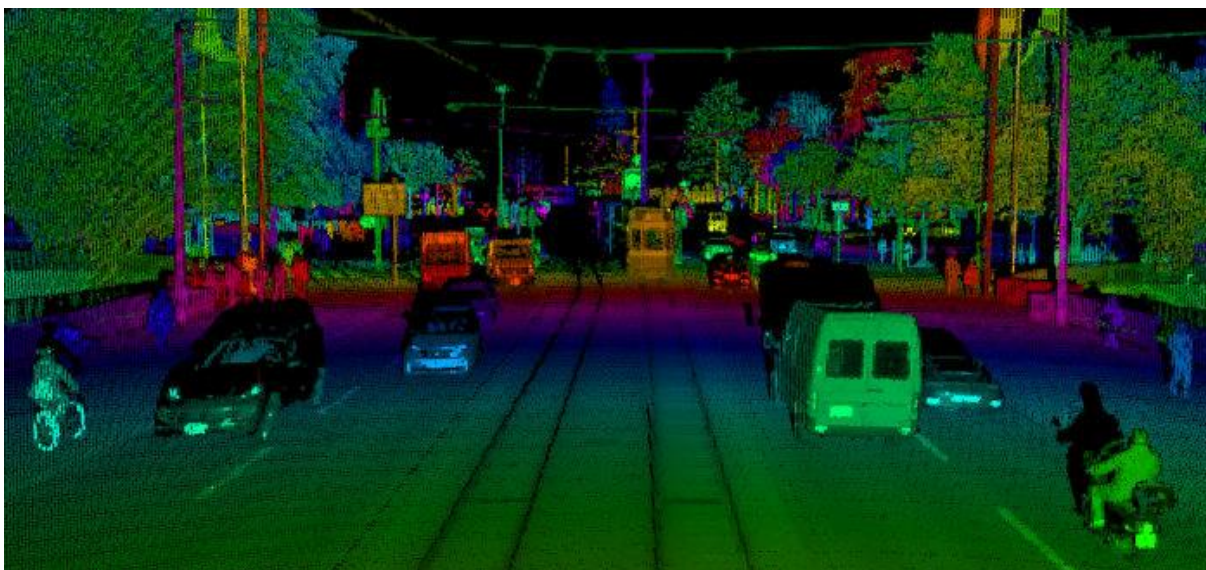
R = udaljenost od objekta

V = brzina poslanog impulsa

T = vrijeme od trenutka slanja impulsa do primitka istog

S obzirom na izuzetno veliku brzinu svjetlosti [otprilike 3 108 m/s kroz zrak i pod pretpostavkom da je indeks loma jednak], ciljnu udaljenost od 150 metara i vrijeme putovanja impulsa  $t = 1$  s, ovo je vrlo kratak laser impuls u slučaju LIDAR-a. Skeniranjem laserskih zraka kroz objekte i mjerenjem pojedinačnih vremena leta [vremena] svakog horizontalnog i elevacijskog kuta laserskih zraka, uz potrebnu udaljenost, moguće je stvoriti 3D oblake u obliku slike okoline. Slika oblaka točaka proizvedenih LIDAR skeniranjem Luminara, američke tvrtke, prikazana je na slici 10. Udaljenost do objekta i kutovi vodoravnih i okomitih kutova polja utječu na gustoću .s u oblaku točaka i, posljedično, razlučivosti slike koju uređaj stvara (slika16). [25]





Slika 16.: Fotografija oblaka točaka nastalih skeniranjem lidar-a: The 1550-nm Luminar Iris as integrated into the 2024 Volvo EX90 can detect and classify objects to a maximum range of 600 meters, [25]

Kako bi se vozilom moglo upravljati u stvarnom svijetu, autonomna vožnja zahtijeva karte visoke rezolucije. Na temelju vrste upotrijebljenog senzora, mapiranje se može podijeliti u kategorije temeljene na kameri i temeljene na lidar-u.

Kamere su cjenovno vrlo pristupačne i dostupne, no potrebna je obrada da bi se iz njih izvukle korisne informacije, a ovise i o osvjetljenju okoline.

Sposobnost kamere da vidi boju je ono što ih razlikuje od drugih uređaja.

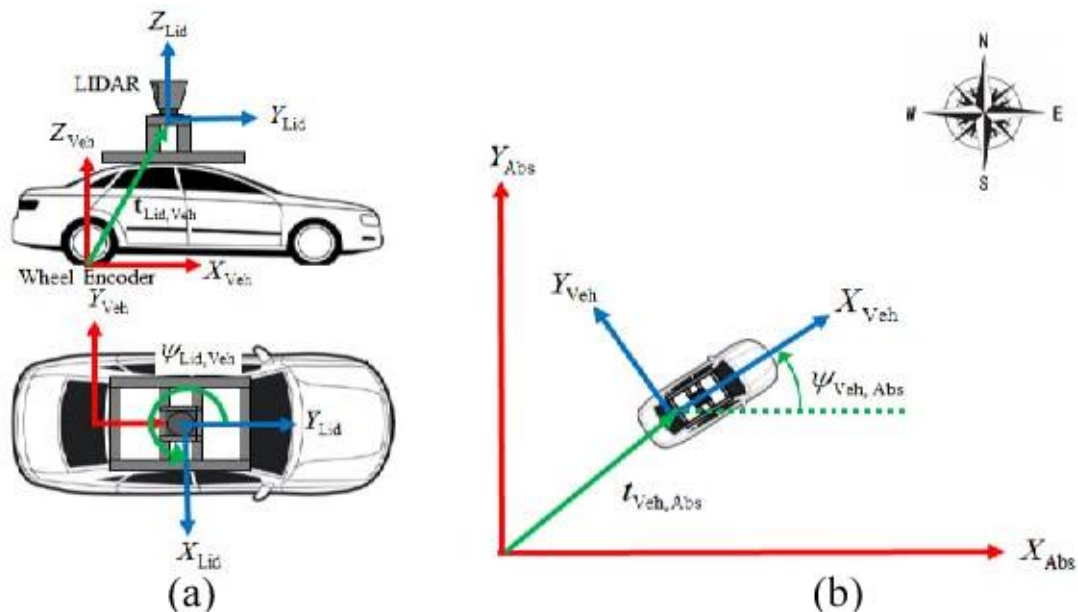
Mnoštvo detalja o okruženju, uključujući izgled i teksture, dostupno je u kartama koje se temelje na kameri. Nasuprot ovome, karte temeljene na lidar-u su konvencionalnije, tehnički jednostavnije za prikupljanje i točnije jer mogu proizvesti cijelu kartu okoliša u jednoj vožnji bez potrebe da dva puta idu istom rutom. 3D oblaci obično čine prikupljene podatke lidara. Korištenjem objekata kao što su rubovi, kutovi, reflektori i još mnogo toga, tehnika mapiranja značajki ima za cilj tumačenje okolnog područja. Zbog poteškoća u dobivanju stabilnih podataka, ova se metoda ne može smatrati potpuno pouzdanom. Nasuprot tome, mapiranje intenziteta točnija je metoda na koju ne utječu promjene okoliša.

Za mapiranje će se koristiti 3D ili 2D domena, ovisno o metodi prikupljanja podataka odabranoj na početku. 3D karte nude preciznije informacije o površini ceste i okolini vozila, uključujući zgrade, stupove i pokretne objekte poput biciklista, pješaka i drugih vozila. Kod određivanja položaja vozila u urbanim uvjetima ova vrsta informacija je od

pomoći, ali 3D mapiranje, koje koristi mnogo veće količine podataka, tu je praktički beskorisno.

Za kodiranje površine ceste i okolne površine do maksimalne visine od 30 cm odabrana je izrada 2D karte.

Geometrijski, vektor  $X_{lid} = [X_{lid}, Y_{lid}, Z_{lid}]$  u lidarskom koordinatnom sustavu može se koristiti za predstavljanje svake točke u oblaku. Eulerova matrica rotacije i vektor translacije mogu se koristiti za projiciranje ovih točaka u koordinatni sustav vozila  $[X_{veh}]$  Slika 17a ilustrira podudarnost između koordinatnog sustava vozila i lidara. Dodatno, koordinate točaka iz koordinatnog sustava vozila moraju se projicirati u globalni koordinatni sustav, a koordinate točke  $X_{veh}$  moraju se pretvoriti u apsolutni koordinatni sustav  $X_{abs}$ , kao što je prikazano na slici 17b.



Slika 17: Lidar koordinatni sustav vozila [a] te apsolutni koordinatni sustav [b], [25]

#### 4.2.5. GPS

GPS je kratica za Global Positioning System, koji je satelitski navigacijski sustav koji može pružiti informacije o lokaciji i vremenu bilo gdje na Zemlji. GPS radi pomoću mreže od najmanje 24 satelita koji kruže oko Zemlje, a koji neprestano emitiraju signale koje mogu detektirati GPS prijammnici na zemlji.

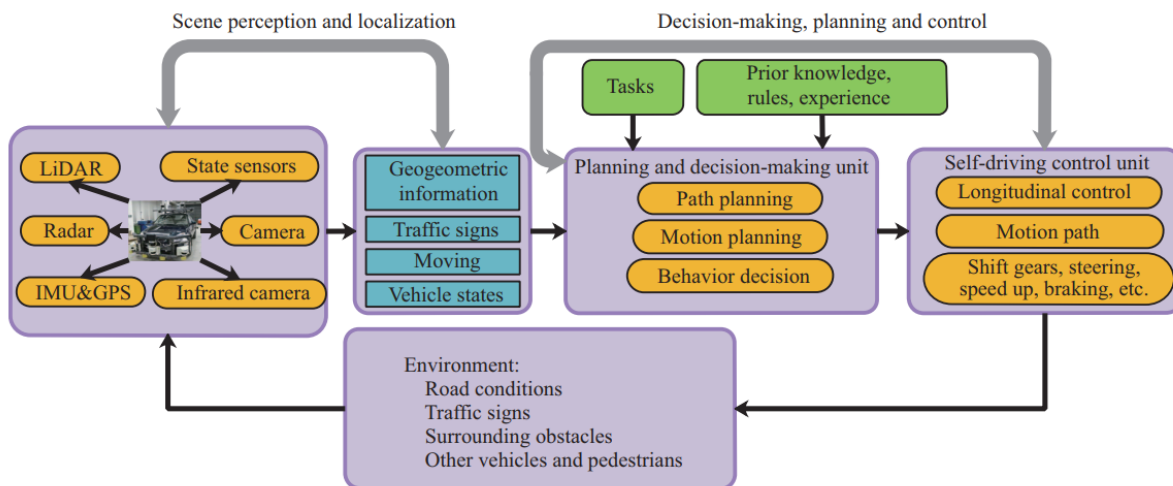
Kada GPS prijammnik prima signale s više satelita, koristi se triangulacijom za

određivanje točne lokacije prijemnika na Zemlji. Mjerenjem vremena potrebnog signalu da putuje od satelita do prijemnika, GPS prijamnik određuje udaljenost do svakog satelita. Nakon što ima udaljenost do najmanje tri satelita, prijemnik može izračunati vlastitu zemljopisnu širinu, dužinu i visinu. Kako bi poboljšali točnost, neki GPS prijamnici također mogu koristiti dodatne podatke, kao što su informacije s obližnjih mobilnih tornjeva ili signale iz drugih satelitskih navigacijskih sustava.

GPS ima mnoge namjene, od navigacije i praćenja do znanstvenih istraživanja i vojnih primjena. Revolucionirao je način na koji se krećemo i putujemo te je postao sastavni dio mnogih modernih uređaja, od pametnih telefona i tableta do automobila i zrakoplova.

#### 4.3. Upravljanje podacima i donošenje odluka

Trenutačni okvir za računalstvo vođeno podacima, koji se temelji na "percepciji, planiranju, donošenju odluka i kontroli," pokazuje rastuće probleme s niskom računalnom učinkovitošću, slabom prilagodljivošću okolišu i nedovoljnim kapacitetom za samoučenje. Korelacije među percipiranim rezultatima zanemaruju se u načinu rada temeljenom na podacima. Izračuni velikih podataka uvelike su povećali složenost i redundantnost sustava, smanjujući učinkovitost inteligentnih sustava. Pouzdanost sadašnjih autonomnih vozila mora se osigurati kroz pojednostavljenje scene zbog odstupanja između promatranih i stvarnih scena, do kojih dolazi zbog buke senzora i pogrešaka u algoritmu percepcije. Osim toga, nemogućnost metode modeliranja da precizno opiše prostorno-vremenski kontinuitet scene smanjuje pouzdanost planiranja putanje vožnje i sposobnost ranog upozorenja autonomnih vozila, što onemogućuje prilagodbu vozila otvorenim prometnim scenama. [14]



Slika 18: Računalni okvir za samovozeće automobile vođen podacima. Percepcija scene dobivena sensorima koristi se u lokalizaciji, nakon koraka planiranja i donošenja odluke, upravljački signal koji prima samovozeća upravljačka jedinica koristi se za upravljanje samovozećim automobilima. U međuvremenu, okruženja poput uvjeta na cesti povratna su informacija u modul percepcije za daljnje procesiranje [14]

Iako računalni okvir (slika 18) vođen podacima može sigurno realizirati autonomnu vožnju u određenom okruženju, u određenoj mjeri, takvi se 'autonomni automobili' mogu smatrati samo automatskim sustavima za obavljanje određenog zadatka, a ne inteligentnim sustavima s visoko autonomnim performansama. Autonomni automobil temeljen na okviru 'percepcije, planiranja, donošenja odluka i kontrole' u osnovi se oslanja na sustav pozicioniranja i unaprijed određenu rutu.

Slično industrijskom robotskom sustavu koji se oslanja na informacije senzora kako bi izbjegao prepreke, teško je provesti analizu logičkog zaključivanja ili postići situacijsku spoznaju u vezi s okolinom. Preveliko oslanjanje na podatke senzora i zanemarivanje kognitivnih procesa također čini trenutne samovozeće automobile nesposobnima za prilagodbu scenarijima otvorenog prometa s visokom dinamikom i snažnom slučajnošću, što čak može dovesti do prometnih nesreća i drugih ozbiljnih posljedica. Stoga je potrebno istražiti novi računalni okvir za trenutne samovozeće automobile. [14]



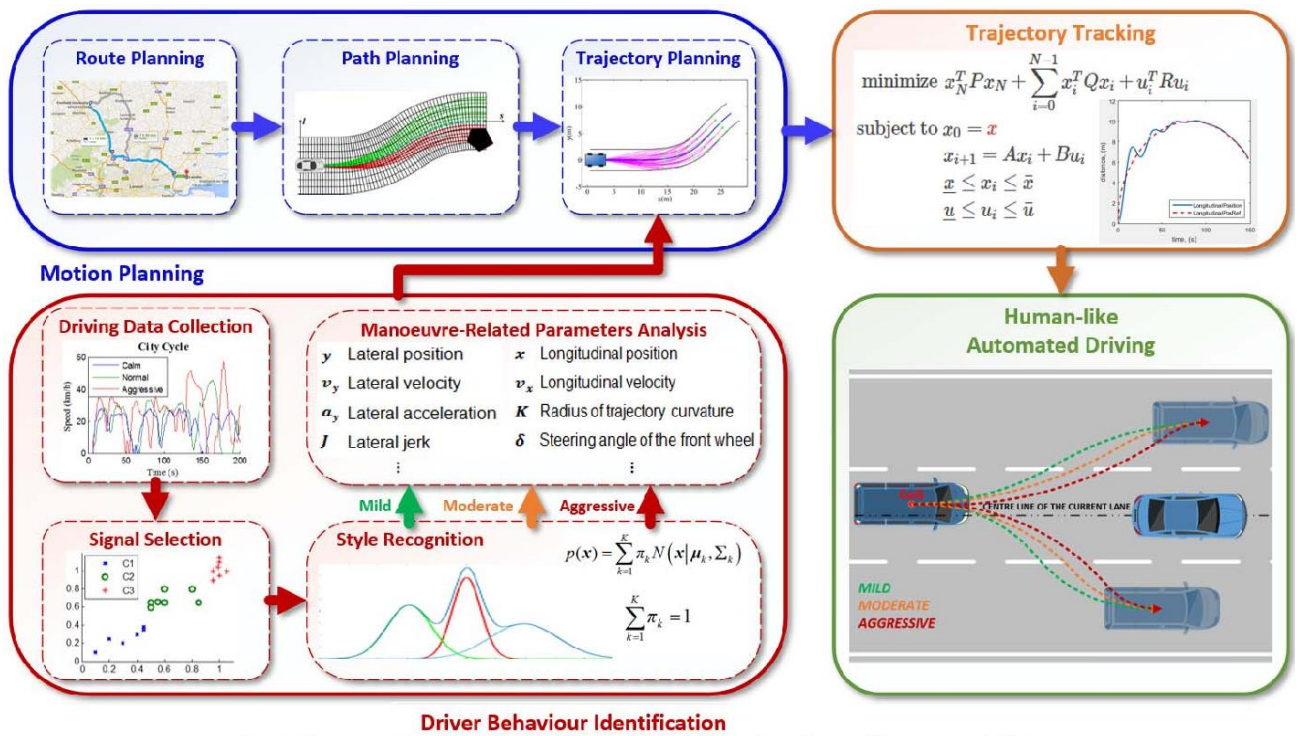
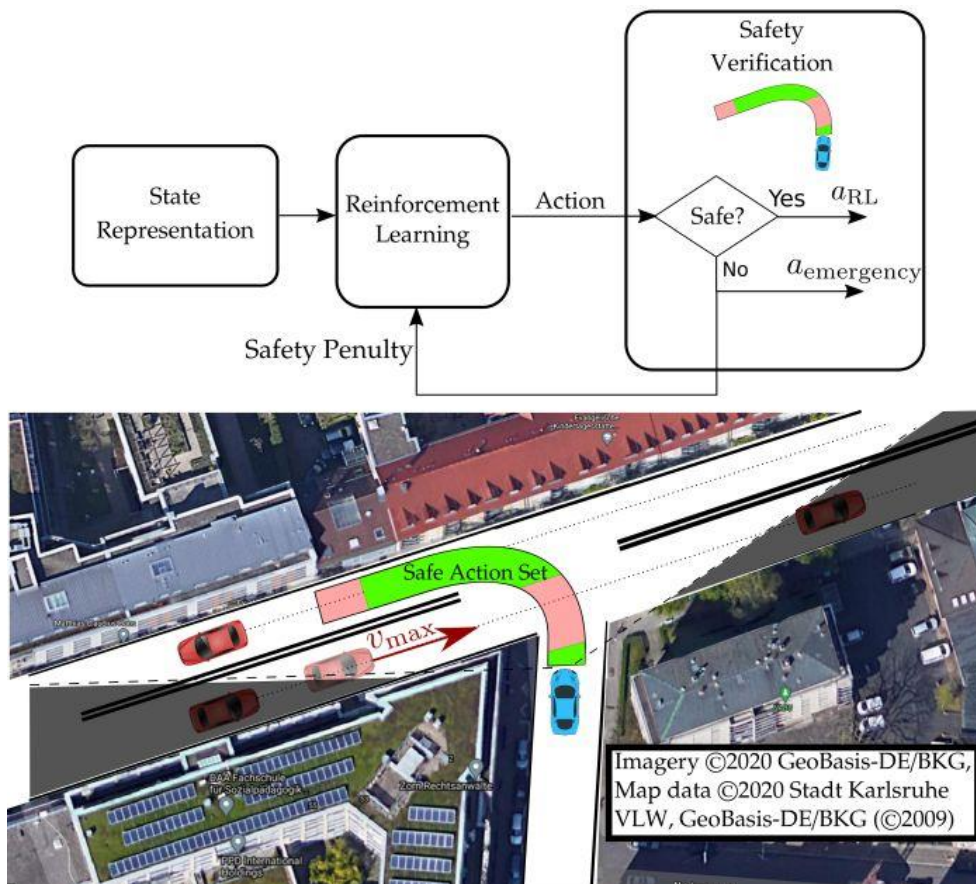


Fig. 1. The general framework for an autonomous vehicle to achieve human-like automated driving.

Slika 19 . Napredni sustav autonomnog vozila [14]



Slika 20: Primjer donošenja odluke [14]

U AD-u, softver automobila obrađuje ulazne podatke, prvenstveno iz senzora, kako bi proizveo precizne vrijednosti signala za aktuator, osiguravajući da vozilo vozi sigurno u svim okolnostima. Slike 19. i 20 prikazuju napredni sustav te primjer donošenja odluke u određenoj situaciji. Iznimno moćni senzori i sofisticirani softver potrebni su za postizanje sigurne, autonomne vožnje.

Autonomija modernih ADAS (naprednih sustava za pomoć u vožnji) raste.

Kao rezultat toga, organiziranje procesa za razvoj, testiranje i provjeru postaje iznimno teško i povećava složenost razvoja AD softvera. Budući da mnoge automobilske tvrtke sada rade samo s malim količinama podataka, količina podataka AD testiranja brzo raste. Inženjeri za istraživanje i razvoj automobilskih tvrtki sada moraju upravljati s više podataka nego ikad, ali obično im nedostaju temeljne vještine da se uspješno nose s rastućim zahtjevima. Kako bi uštedjeli vrijeme i oslobodili inženjere istraživanja i razvoja da se u potpunosti posvete svojim temeljnim odgovornostima, automobilska industrija traži zapošljavanje visokokvalificiranih stručnjaka za obradu podataka i analitiku. Budući da postoji veliki nedostatak ljudi s tim skupovima vještina, mnoge tvrtke ne mogu popuniti ta radna mjesta i u opasnosti su od kašnjenja projekta, što može uzrokovati odgođeni početak proizvodnje (SOP).[15]

U lancu razvoja za AD podaci dolaze iz raznih izvora i imaju mnogo različitih oblika. Taksonomija podataka pomaže nam da ih identificiramo.

Pristup klasificiranju podataka: [15]

1. Neobrađeni podaci: Snimljeni senzorskim sustavima na vozilu, poput stereo kamera i LIDAR-a
2. Izvedeni podaci: Rezultirajući podskupovi podataka nakon obrade neobrađenih podataka senzora, poput skupa podataka za obuku za duboko učenje
3. Prizemni istiniti podaci: Podaci s visokom pouzdanošću u ispravnost, koji se koriste za provjeru AD funkcija. Obično nastaje zbog ljudskog angažmana
4. Metapodaci: Meta informacije o sirovim, izvedenim, istinitim podacima i procesima
5. Sintetički podaci: Generirani pomoću simulatora za stvaranje složenih i rijetkih scenarija vožnje

U radu s različitim klasama [Metapodataka] podataka, susreću se različite metodologije koje obrađuju podatke u skladu s jedinstvenim pristupom, naslijeđenim pristupom razvoju automobilske softvera, koji zanemaruje gravitaciju podataka, kao i pristupima iz drugih sektora. Ove neučinkovite strategije koriste zastarjele tehnologije i neučinkovite poslovne procese, što uzrokuje značajne probleme i kašnjenja u stvaranju AD podataka na temelju podataka.

Analiza AD/ADS korištenjem 5V velikih podataka: Veliki podaci i sofisticirana analitika nude nove, skalabilne metode za obradu podataka oglašavanja. Korištenje velikih podataka značajno se razlikuje od konvencionalnog načina za softver vozila; otkriva se jedinstven, integriran i superioran pristup.

### **V1: Količina podataka**

Postoji ogromna količina podataka koje treba savladati. Desetak vozila za testiranje otvorenih cestovnih podataka prešlo je oko 620 000 milja nakon 7 sati dnevne vožnje prosječnom brzinom od 30 mph. Više od 200 PiB ukupnih podataka bit će snimljeno za analizu i ponovnu obradu [regresijsko testiranje za nova izdanja AD softvera] ako je flota opremljena najsuvremenijim sensorima koji proizvode ukupne brzine prijenosa podataka u rasponu od 3 do 6 GB/s. Prema istraživanju RAND Corporation, autonomno vozilo morat će prijeći stotine milijuna milja, ili čak više od milijarde, ovisno o kriterijima performansi bez grešaka, kako bi pokazalo da radi na određenoj razini točnosti ili bolje od ljudskih vozača.

Količine podataka bit će u stotinama PiB-ova jer je trenutačno nemoguće prikupljati, pohranjivati i obrađivati podatke na udaljenosti od 1 milijarde milja. Iako je Tesla nedavno predstavio planove za superračunalo nazvano "Dojo" s Exaflops računalne snage za podršku razvoju AD-a temeljenog na umjetnoj inteligenciji, kapaciteti pohrane su još uvijek na razini PiB. [16] Količine podataka u stvarnom svijetu za AD razvoj su izuzetno visoke, približavaju se ograničenjima troškova i praktičnog rukovanja podacima, ali još nisu dovoljne za završetak AD razvoja više razine.

### **V2: Brzina podataka**

Snimanje i prijenos podataka, hardver u petlji u stvarnom vremenu (HIL) i testiranje i obuka modela umjetne inteligencije (AI) tri su područja u kojima je protok podataka

posebno težak. Oko 20 senzora, uključujući ultrazvučne, radarske, LIDAR i stereo kamere, uključeno je u AD/ADAS vozila razine 2 do razine 4. Najbrže brzine prijenosa podataka generiraju stereo kamere visoke rezolucije.

Općenito, podatkovne brzine mogu doseći i do 10 GB/s, ali trenutni testni automobili obično dosežu samo 5 GB/s ili manje. Iako te brzine mogu podnijeti 100 Gbit Ethernet i/ili PCI-express veze, postoje nedostaci kao što je rasipanje topline ili ograničenja performansi ili dometa električnih vozila. Idealan uvjet je obrada podataka tamo gdje se generiraju i/ili troše; međutim, ove visoke stope generiranja također dovode do novih usluga kao što su globalna logistika podataka i učinci gravitacije podataka.

Budući da se potrošnja podataka mora nalaziti zajedno s pohranom podataka, obrada HiL-a u stvarnom vremenu rezultira velikim zahtjevima za propusnost za paralelnu obradu i testiranje obrade u stvarnom vremenu u automobilu, što može doseći više od nekoliko stotina GB/s. To je poseban izazov za pohranu u oblaku, ili možda za HiL centre i njihove lokacije. Ovaj problem s podacima može se riješiti hibridnim (oblak/on-premise) rješenjima.

[15]

Važno je analizirati koliko će brze 5G mobilne mreže utjecati na razvoj AD/ADAS-a. Zajedno s Vodafone5 i HERE Technologies, Porsche je nedavno instalirao samostalni 5G u svom razvojnom centru u Weissachu. Cilj akcije je implementacija analitike podataka u stvarnom vremenu za sustave upozorenja u stvarnom vremenu unutar višepristupnih rubnih računalnih sustava. [30]

### **V3 - Raznolikost podataka**

Automobilski formati kao što su ROSbag, MDF4, HDF i ADTF dodaju se uobičajenoj raznolikosti strukturiranih, polustrukturiranih i nestrukturiranih formata podataka u kontekstu AD/ADAS.

Automobilski inženjeri obično rade sa snažnim radnim stanicama, malim količinama podataka i izravno povezanim ECU-ovima i HiL-ovima; ti su formati povijesno razvijeni za robotiku i automobilsku domenu i razlikuju se od pristupa i tehnologija obrade velikih podataka. NAS/SAN sustavi sada se koriste kao jednostavna



proširenja za pohranu kako količina podataka raste.

Nedostatak konsenzusa velika je prepreka; proširenje za formate velikih podataka koje koristi automobilska industrija dugo je trebalo jer bi PiB volumenima dalo potrebnu računsku skalabilnost. Potrošački automobili opremljeni softverskim modulima vozača u sjeni dizajniranim za bilježenje slučajeva skretanja u stvarnom prometu dodali bi novu vrstu podataka u mješavinu. Ti bi moduli snimali različite formate i sadržaje za prijenos na različite tehničke načine.

Ključno je koristiti pristup sheme nakon čitanja jer postoji velika raznolikost podataka. Kako bi automobilski inženjeri imali pristup svijetu napredne analitike, potreban je snažan most koji radi na izvornim formatima u stvarnom vremenu između automobilskih i podatkovnih i analitičkih formata. [15]

#### **V4 - Istinitost podataka**

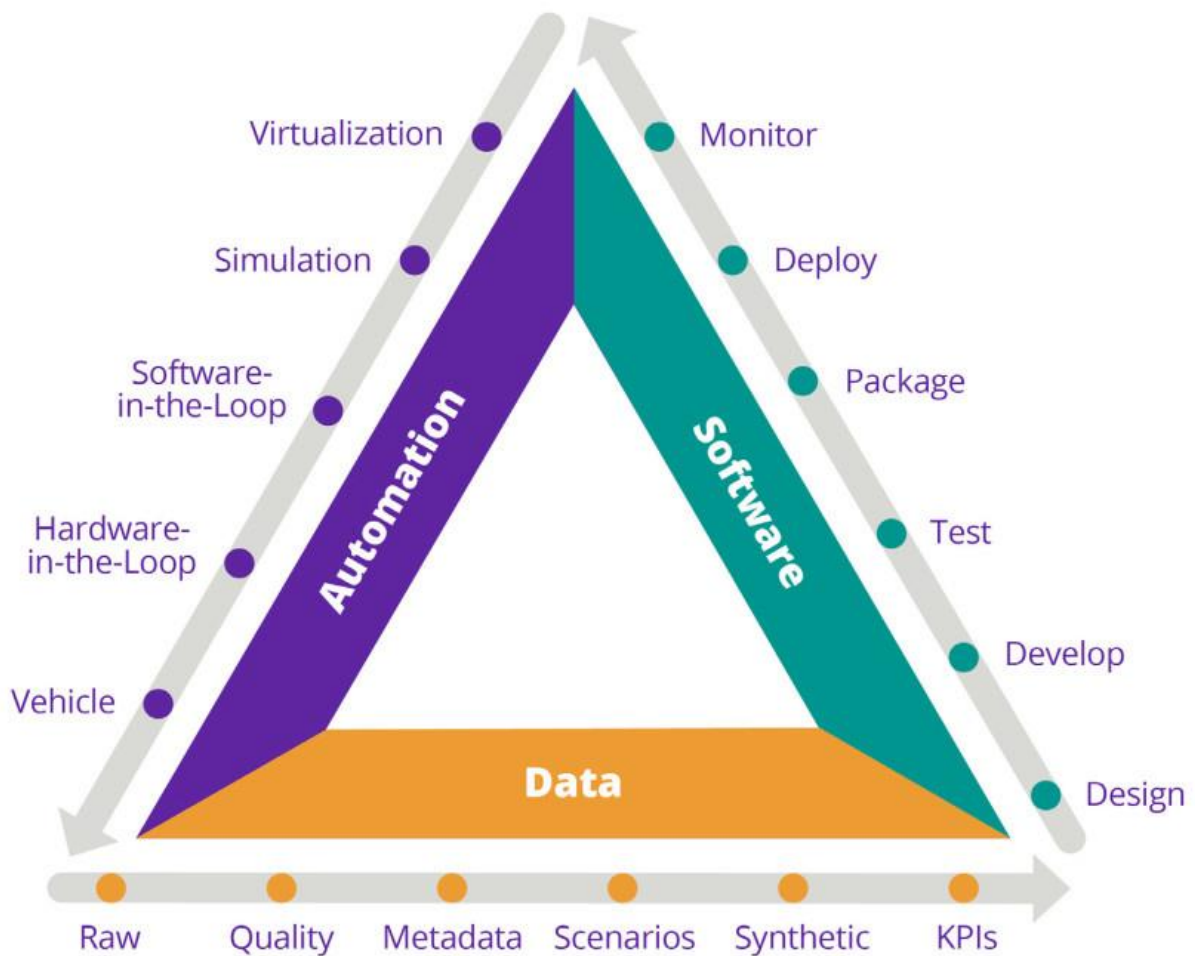
Istinitost se može primijeniti na izvedene podatke, poput prepoznatih objekata u video streamovima. Međutim, budući da svi zaključci temeljeni na umjetnoj inteligenciji, uključujući one temeljene na algoritmima percepcije, svojim predviđanjima dodjeljuju postotak vjerojatnosti, ne može postojati apsolutna istina. Ove vjerojatnosti i statistički značaj pronađeni u prikladnim, ponovljivim testovima zamijenili su apsolutnu istinitost podataka o golemim količinama AD podataka.

Dosljednost i vjerojatnost izvedenih podataka, koji se šalju u sustave za planiranje kretanja, snažne su prednosti spajanja senzora. Međutim, u kratkoj povijesti ADAS-a, nepravilno identificirani ili propušteni objekti rezultirali su pogreškama sustava pomoći i, u nekim slučajevima, ozbiljnim nesrećama. Drugi ključni element AD/ADAS obrade je kvaliteta podataka. Faze verifikacije i validacije ADAS obrade podataka mogu rezultirati gubitkom podataka, kapaciteta za pohranu i računala, vremena i ljudskih resursa. Često se mogu dogoditi podaci loše kvalitete ili prekasno otkriveni. Slično istinitosti podataka, kvaliteta podataka u AD/ADAS je relativan koncept. [15]

#### **V5 - Vrijednost podataka**

Ovo je glavna tema razgovora u vezi s informacijama koje koriste autonomna vozila. Softver mora biti bez grešaka kako bi AD/ADAS rješenja bila učinkovita i sigurna.

Podaci, softver i automatizacija povezani su trokut, što je prikazano na slici 20.



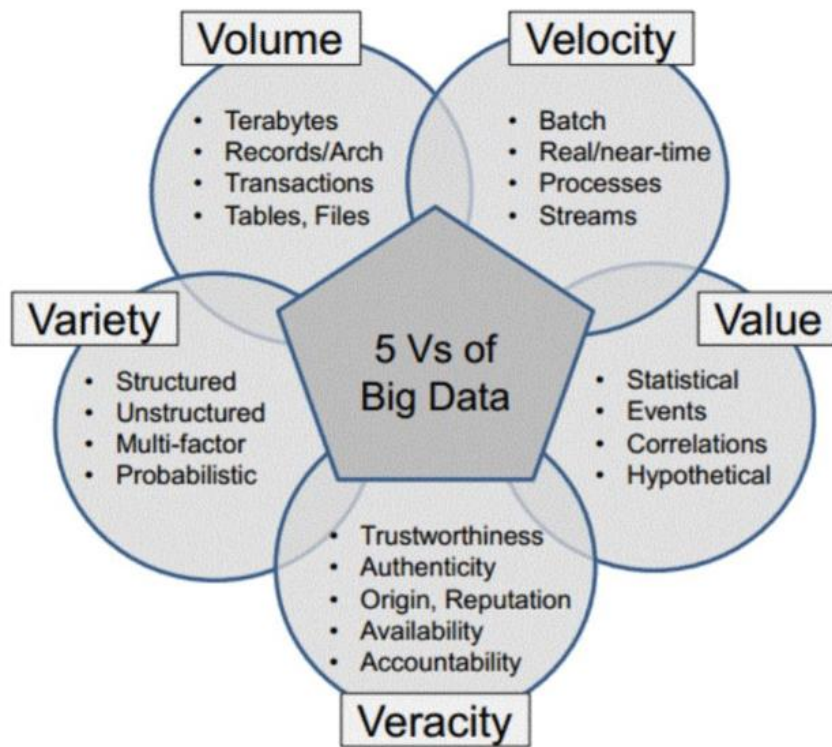
Slika 20. Procesni trokut autonomne vožnje, izvor [50]

Podaci prikupljeni s više od 600 milijuna milja (više od jedne milijarde kilometara) trebali bi se ponovno obraditi kao dio rigoroznog pristupa AD validacije i testiranja kako bi se statistički značajno demonstrirala izvedba AD algoritama (Razina 4 ili 5).

Današnji ekonomski uvjeti to čine praktički nemogućim. Temeljito razumijevanje podataka iz stvarnog svijeta u upotrebljivim količinama i sposobnost proizvodnje sintetičkih podataka u delikatnim varijacijama i količinama putem simulacija ključni su za statističku demonstraciju učinkovitosti ovih AD algoritama.

Mogućnost pokazivanja da su rezultati simulacija i podataka iz stvarnog svijeta iz lanca obrade AD/ADAS algoritma identični ključan je korak u ovom procesu.

Stvaranje sustavnog pristupa scenarijima iz stvarnog svijeta ključan je prvi korak u postizanju ovoga. Ovo zahtijeva korištenje uspostavljenog i pouzdanog OpenSCENARIO9 standardnog formata datoteke za unos u simulatore. [15] Slika 21. ilustrira međusobnu povezanost i preklapanje svakog područja velikih podataka.



Slika 21.: 5V – područja Velikih podataka [50]

## 5. ISTRAŽIVANJA I BUDUĆI CILJEVI ZA AUTONOMNA VOZILA

Nekoliko je tema trenutačnih istraživanja autonomnih vozila. Ovo su neke od njih:

1. Pобољшanje sigurnosti: Sigurnost je glavna briga kada su u pitanju autonomna vozila, stoga istraživači rade na razvoju boljih senzora i algoritama za smanjenje mogućnosti nesreća.

2. Povećanje pouzdanosti: Istraživači rade na poboljšanju pouzdanosti autonomnih vozila razvijanjem boljih komunikacijskih sustava i dijagnostičkih alata.

3. Integracija s postojećom infrastrukturom: Autonomna vozila moraju moći upravljati postojećim cestama i infrastrukturom. Istraživači proučavaju kako integrirati ova vozila s postojećom infrastrukturom kako bi smanjili smetnje.

4. Razvoj boljih korisničkih sučelja: Autonomna vozila moraju biti laka za korištenje i razumijevanje, stoga istraživači rade na razvoju boljih korisničkih sučelja koja su intuitivna i prilagođena korisniku.

5. Ispunjavanje zakonskih i regulatornih zahtjeva: Autonomna vozila moraju ispunjavati razne zakonske i regulatorne zahtjeve kako bi bila dopuštena na cesti. Istraživači rade na tome da osiguraju ispunjavanje ovih zahtjeva kako bi autonomna vozila postala stvarnost.

6. Uklanjanje tjeskobe za domet: Istraživači istražuju rješenja problema tjeskobe za domet, ili straha od nestajanja goriva ili struje, u autonomnim vozilima. To uključuje razvoj bolje tehnologije baterija i poboljšanje infrastrukture punjenja.

Novije studije i istraživanja o autonomnim vozilima koje je važno spomenuti su:

1. "Dynamic Path Planning for Autonomous Vehicles Using Reinforcement Learning" autora Harshavardhan Papudeshi, Ravi Kiran Sarvadevabhatla i Chandra Shekhar

Seelamantula. Ova se studija usredotočila na korištenje algoritama za učenje s pojačanjem kako bi se autonomnim vozilima pomoglo u kretanju u dinamičnim okruženjima.

2. "Anketa o autonomnim vozilima: od tehnološkog napretka do etičkih pitanja" Spyridona Mamalisa i Andreasa Malikopoulou. Ova studija pruža sveobuhvatan pregled povijesti, tehnološkog napretka i etičkih pitanja koja okružuju autonomna vozila.

3. "Arhitekture upravljanja kritične za sigurnost za autonomna vozila: komparativna studija" Yuning Chai, Haibo He, Xiangyang Zhu i Shaojie Shen. Ova studija uspoređuje različite upravljačke arhitekture za autonomna vozila kako bi se ocijenile njihove značajke kritične za sigurnost.

4. "Modeliranje manevara promjene voznog traka povezanih i automatiziranih vozila na autocestama" autora Xun Yang, Shan Bao, Heng Wei, Qinbo Kuang i Guoyuan Wu. Ova je studija razvila model za predviđanje ponašanja povezanih i automatiziranih vozila pri promjeni trake na autocestama.

5. "Robotic Mobility-as-a-Service Systems for Transportation Networks" autori Nikolaos Papanikolopoulos, Volkan Isler i Nikolay Atanasov. Ova studija istraživala je potencijal autonomnih vozila za korištenje u sustavima mobilnosti kao usluge, uključujući dizajn i rad takvih sustava.

6. "Interakcija čovjeka i stroja u autonomnim vozilima: stanje umjetnosti i budući smjerovi" PerFallqvista, Erika Coelingha, Erika Schaffernichta i Jonasa Sjöberga. Ova studija je pregledala trenutno stanje interakcije čovjeka i stroja u autonomnim vozilima i identificirala područja za buduća istraživanja u ovom području.

Budući ciljevi za autonomna vozila višestruki su i obuhvaćaju različite sektore društva, a kao glavni među njima ističu se:

1. Povećanje sigurnosti: Primarni cilj tehnologije autonomnih vozila je poboljšati

sigurnost na cestama. U budućnosti će se tehnologija poboljšavati i usavršavati, s ciljem značajnog smanjenja prometnih nesreća i smrtnih slučajeva.

2. Povećanje učinkovitosti: Autonomna vozila imaju potencijal poboljšati protok prometa i smanjiti gužve optimizacijom ruta i smanjenjem zaustavne udaljenosti. To će dovesti do učinkovitijeg korištenja cestovnog prostora i vremena.

3. Poboljšanje pristupačnosti: Autonomna vozila imaju potencijal značajno povećati mobilnost osoba s invaliditetom, starijih osoba i svih koji ne mogu voziti konvencionalni automobil.

4. Smanjenje emisija ugljika: Široka primjena autonomnih vozila mogla bi dovesti do značajnog smanjenja emisija ugljika iz transportnog sektora. To bi pridonijelo globalnim naporima za smanjenje emisija stakleničkih plinova i rješavanje klimatskih promjena.

5. Obnavljanje urbane infrastrukture: Autonomna vozila imaju potencijal radikalno promijeniti dizajn gradova i urbane infrastrukture. Na primjer, mogli bi smanjiti potrebu za velikim parkiralištima i garažama, oslobađajući prostor za druge namjene.

6. Poticanje inovacija: Razvoj tehnologije autonomnih vozila već pokreće inovacije u područjima kao što su senzori, strojno učenje i komunikacije. U budućnosti bi ova tehnologija mogla dovesti do čitavog niza novih proizvoda i usluga koje još ne možemo ni zamisliti.

## 6. PRAKTIČNI DIO – SIGURNOST TRADICIONALNIH VS. MODERNIH VOZILA

Posljednjih je godina moderna tehnologija revolucionirala način na koji pristupamo tradicionalnim pitanjima sigurnosti vozila. Od sigurnosnih pojaseva do zračnih jastuka, prešli smo dug put kako bismo naše ceste učinili sigurnijima za sve. No, prostora za napredak uvijek ima, a tu na scenu stupa suvremena tehnologija.

Jedan od najvećih problema sa sigurnošću tradicionalnih vozila koji je moderna tehnologija riješila je problem ometene vožnje. S porastom pametnih telefona i drugih mobilnih uređaja, ometena vožnja postala je veliki problem na našim cestama. Međutim, sada postoje brojna tehnološka rješenja koja mogu pomoći u borbi protiv ovog problema.

Na primjer, neki proizvođači automobila razvili su sustave koji mogu otkriti kada je vozač ometen i upozoriti ih zvukom upozorenja ili vibracijom. Druge su tvrtke razvile aplikacije koje se mogu koristiti za sprječavanje ometanja vožnje zaključavanjem telefona dok je automobil u pokretu.

Drugi tradicionalni problem sigurnosti vozila koji je otklonjen modernom tehnologijom je problem mrtvih kutova. Slijepi kutovi mogu biti opasni jer ograničavaju vozačevu vidljivost, otežavajući uočavanje drugih vozila ili objekata na cesti. Međutim, mnogi proizvođači automobila sada su ugradili sustave za otkrivanje mrtvog kuta u svoja vozila, koji koriste senzore i kamere kako bi upozorili vozača kada je vozilo u njihovom mrtvom kutu.

Suvremena tehnologija riješila je i problem krađe automobila, koji je problem već desetljećima. Krađa automobila ne samo da rezultira financijskim gubitkom za vlasnika, već može biti i opasna ako lopov koristi ukradeno vozilo za kriminalne aktivnosti. Srećom, sada postoje brojni protuprovalni uređaji koji se mogu ugraditi u vozila, što ih čini mnogo težima za krađu.

Na primjer, GPS sustavi za praćenje mogu se koristiti za praćenje ukradenog vozila i

pomoć vlastima da ga pronađu. Drugi uređaji, kao što su imobilizatori i brave na volanu, gotovo onemogućuju lopovu da pokrene automobil ili se odveze s njim.

Neki od problema s autonomnim vozilima riješeni su u proteklih 10 godina, ali ima još puno posla, naročito u sljedećim područjima: [57]

1. Sigurnost: Tvrtke za autonomna vozila značajno su napredovale u poboljšanju sigurnosti svojih vozila. Implementirali su napredne senzore i tehnologije koje vozilu omogućuju otkrivanje i izbjegavanje mogućih sudara.

2. Pravna i regulatorna pitanja: Vlade diljem svijeta počele su provoditi propise i smjernice za autonomna vozila. U SAD-u je Nacionalna uprava za sigurnost u prometu izdala smjernice za autonomna vozila.

3. Kibernetička sigurnost: Autonomni proizvođači vozila provode napredne mjere kibernetičke sigurnosti kako bi zaštitili svoja vozila od hakera. Neke tvrtke koriste blockchain tehnologiju za osiguranje softvera koji pokreće njihova autonomna vozila.

4. Trošak: Kako se tehnologija za autonomna vozila poboljšavala, troškovi su počeli padati. To je tvrtkama učinilo pristupačnijim razvoj i testiranje autonomnih vozila.

5. Etičke dileme: Tvrtke za autonomna vozila počinju se baviti etičkim dilemama programirajući svoja vozila da prioritet daju sigurnosti putnika i drugih sudionika u prometu. Tvrtke također surađuju s etičarima i akademikima kako bi razvili smjernice za etičko donošenje odluka u autonomnim vozilima.

6. Gubitak poslova: Iako se još uvijek očekuje da će autonomna vozila zamijeniti radna mjesta, došlo je do pomaka prema stvaranju novih radnih mjesta za razvoj i održavanje tehnologije. Neke tvrtke također istražuju ideju korištenja autonomnih vozila za nove industrije, kao što su dostava i logistika.

S druge strane, moderna i autonomna vozila riješila su, ili poboljšala nekoliko problema povezanih s tradicionalnim vozilima, uključujući:



1. Sigurnost: Autonomna vozila opremljena su naprednim sensorima i tehnologijama koje im omogućuju prepoznavanje i izbjegavanje potencijalnih sudara. To ima potencijal značajno smanjiti nesreće uzrokovane ljudskom pogreškom.

2. Utjecaj na okoliš: Moderna vozila su postigla veliki napredak u smanjenju svojih emisija i poboljšanju učinkovitosti goriva. Sve su popularnija i električna vozila koja nemaju emisije štetnih plinova.

3. Učinkovitost i praktičnost: Autonomna vozila imaju potencijal učiniti putovanje učinkovitijim i praktičnijim. Mogu se sami voziti, eliminirajući potrebu vozača da se kreću kroz promet i pronalaze parkirna mjesta.

4. Tijek prometa: Autonomna vozila mogu međusobno komunicirati, omogućujući im koordinaciju kretanja i smanjujući gužve na cestama.

5. Trošak: Iako je početni trošak autonomnih vozila visok, oni imaju potencijal smanjiti ukupne troškove prijevoza. Oni su učinkovitiji u potrošnji goriva od tradicionalnih vozila i potencijalno bi mogli potpuno smanjiti potrebu za posjedovanjem automobila jer se ljudi odlučuju za zajednički prijevoz.

6. Pristupačnost: Autonomna vozila imaju potencijal za poboljšanje pristupačnosti za osobe s invaliditetom ili starije odrasle osobe kojima bi vožnja mogla biti izazovna. Samovozeći automobili mogli bi osobama s invaliditetom omogućiti veću neovisnost i mobilnost.

Razvoj autonomnih vozila je uzbudljiv napredak u transportnoj industriji, s potencijalom da značajno poboljša sigurnost na cestama i smanji prometne gužve. Međutim, sa svakom novom tehnologijom dolaze sigurnosni problemi i izazovi. Autonomna vozila predstavljaju jedinstvena sigurnosna pitanja koja se moraju riješiti prije nego što se mogu implementirati u velikoj mjeri. Jedan od najvećih sigurnosnih problema povezanih s autonomnim vozilima je mogućnost kvarova softvera. Za razliku od ljudskih vozača, autonomna vozila se za rad u potpunosti oslanjaju na

senzore i algoritme. Sve pogreške u kodu ili kvarovi u hardveru mogu uzrokovati kvar vozila i potencijalno uzrokovati nesreću. Stoga je ključno osigurati da softver bude temeljito testiran i redovito ažuriran kako bi se riješili problemi koji se mogu pojaviti.

Drugi sigurnosni problem povezan s autonomnim vozilima je mogućnost kibernetičkih napada. Budući da su autonomna vozila povezana s internetom, ranjiva su na hakiranje i druge oblike kibernetičkih napada. Napad bi potencijalno mogao omogućiti hakeru da preuzme kontrolu nad vozilom i izazove nesreću. Stoga je ključno osigurati da su vozila zaštićena jakim mjerama kibernetičke sigurnosti kako bi se spriječili takvi napadi. Osim toga, autonomna vozila moraju moći upravljati složenim i nepredvidivim okruženjima, uključujući nepovoljne vremenske uvjete, prometne gužve i građevinske zone. Ovi scenariji mogu biti izazovni za ljude, a autonomnim vozilima može biti teško donijeti ispravne odluke u takvim situacijama. Stoga je ključno osigurati da su vozila opremljena naprednim sensorima i algoritmima koji mogu točno otkriti i odgovoriti na potencijalne opasnosti.

Konačno, postoji i ljudski element koji treba uzeti u obzir kada je u pitanju sigurnost autonomnog vozila. Vozači neautonomnih vozila mogu postati samozadovoljni u interakciji s autonomnim vozilima, pretpostavljajući da će vozilo ispravno raditi i donositi sigurne odluke. To bi moglo dovesti do opasnih situacija koje su se mogle izbjeći da je ljudski vozač poduzeo odgovarajuće radnje. Stoga je ključno educirati vozače o tome kako komunicirati s autonomnim vozilima i poticati sigurno ponašanje u vožnji u njihovoj blizini.

Zaključno, razvoj autonomnih vozila je uzbudljiv napredak u transportnoj industriji, ali također predstavlja jedinstvene sigurnosne probleme kojima se treba pozabaviti. Ključno je temeljito testirati i redovito ažurirati softver, zaštititi vozila od cyber napada, opremiti vozila naprednim sensorima i algoritmima te educirati vozače o sigurnim interakcijama s autonomnim vozilima. Rješavanjem ovih sigurnosnih pitanja možemo osigurati da autonomna vozila budu siguran i učinkovit način prijevoza.

Iz svega navedenog može se zaključiti kako je moderna tehnologija, uključujući autonomna vozila, na dobrom putu kad je u pitanju sigurnost svih sudionika prometa.

## ZAKLJUČAK

Moderna tehnologija je revolucionirala način na koji pristupamo tradicionalnim pitanjima sigurnosti vozila. Od ometene vožnje do mrtvih kutova do krađe automobila, sada postoje brojna tehnološka rješenja koja mogu pomoći u borbi protiv ovih problema i učiniti naše ceste sigurnijima za sve. Ugradnjom ovih tehnologija u naša vozila možemo smanjiti broj nesreća, ozljeda i smrtnih slučajeva na našim cestama i osigurati da svatko stigne kamo želi sigurno i zaštićeno.

Autonomna vozila su budućnost vožnje, ali dolaze sa svojim skupom sigurnosnih problema. Kako se sve više oslanjamo na tehnologiju kako bismo preuzeli zadatak vožnje, važno je razmotriti potencijalne opasnosti autonomnih vozila. Ovaj će esej istražiti neke od sigurnosnih problema autonomnih vozila i što se može učiniti da se oni ublaže.

Jedna od najvećih briga kod autonomnih vozila je njihova pouzdanost. Iako su opremljeni naprednim sensorima i softverom, ipak mogu činiti pogreške koje mogu izložiti putnike i druge vozače opasnosti. Važno je temeljito testirati ova vozila kako biste bili sigurni da su sigurna prije nego što se puste na ceste.

Još jedan sigurnosni problem je mogućnost hakiranja. Uz toliko tehnologije ugrađene u autonomna vozila, ona su ranjiva na cyber napade. Haker bi mogao preuzeti kontrolu nad vozilom i uzrokovati sudar, ugrozivši živote svih u vozilu. Ključno je da proizvođači automobila daju prioritet kibernetičkoj sigurnosti pri projektiranju autonomnih vozila.

Sigurnost pješaka i biciklista također je problem kod autonomnih vozila. Ta se vozila oslanjaju na senzore za otkrivanje okoline, ali ipak mogu propustiti manje objekte poput bicikala ili pješaka. Softver se mora stalno ažurirati kako bi se osigurale bolje mogućnosti otkrivanja i izbjegle moguće nezgode.

Drugi sigurnosni problem je mogućnost mehaničkog kvara. Iako rijetki, mehanički kvarovi ipak se mogu dogoditi u autonomnim vozilima. Važno je imati redovito

održavanje i preglede kako bi se osiguralo da vozilo ispravno funkcionira, čime se smanjuje rizik od nezgoda.

Prijelazno razdoblje s tradicionalnih vozila na autonomna vozila također predstavlja sigurnosni problem. Na cestama može doći do zabune dok se vozači i pješaci prilagođavaju novoj tehnologiji. Važno je educirati javnost o prednostima i potencijalnim opasnostima autonomnih vozila kako bi se osigurao siguran prijelaz.

Zaključno, dok autonomna vozila nude mnoge prednosti, ona dolaze sa svojim skupom sigurnosnih problema. Pouzdanost, kibernetička sigurnost, mogućnosti detekcije, mehanički kvar i gladak prijelaz važni su čimbenici koji se moraju uzeti u obzir. Ključno je da proizvođači automobila i regulatori daju prednost sigurnosti kako bi osigurali sigurnu budućnost s autonomnim vozilima na cestama.

## LITERATURA

1. Sigurnost, <https://www.volvocars.com/hr/v/safety/heritage>, pristupljeno 22.12.2022.
2. Koliko je sigurnost automobila napredovala u 20 godina?, <https://automobili.hr/novosti/zanimljivosti/koliko-je-sigurnost-automobila-napredovala-u-20-godina>, pristupljeno 28.12.2022.
3. **Vereš, N.:** „*Sigurnosni sustavi u vozilima*“, Veleučilište u Karlovcu, (2020.)
4. How To Read The Stars, <https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/>, pristupljeno 28.12.2022.
5. Sigurniji automobili u EU, <https://www.consilium.europa.eu/hr/press/press-releases/2019/11/08/safer-cars-in-the-eu/>, pristupljeno 28.12.2022.
6. Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o sigurnosti prometa na cestama, „Narodne novine“, broj 70/19 i 108/17, čl.89., [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019\\_07\\_70\\_1450.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2019_07_70_1450.html), pristupljeno 22.12.2022.
7. Narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2011\_05\_59\_1321.html, pristupljeno 22.12.2022.
8. **Jukić-Bračulj, A.:** „*Sigurnost prometa na cestama u Republici Hrvatskoj*“, Veleučilište u Šibeniku, (2021.)
9. Koliko je sigurnost automobila napredovala u 20 godina?, <https://automobili.hr/novosti/zanimljivosti/koliko-je-sigurnost-automobila-napredovala-u-20-godina>, pristupljeno 28.12.2022.
10. Edgar Mondragón Tenorio: Advantages and disadvantages of autonomous vehicles, <https://www.bbva.ch/en/news/advantages-and-disadvantages-of-autonomous-vehicles/>, pristupljeno 10.01.2023.
11. Autonomous Car Data: Future Cars Run on Data, Not Gasoline, 2021., <https://summalinguae.com/data/autonomous-cars-data-not-gasoline/>, pristupljeno 23.01.2023.
12. Autonomni automobil, [https://seguidores.online/hr/autonomniautomobil/#Coches\\_autonomos\\_en\\_el\\_mundo](https://seguidores.online/hr/autonomniautomobil/#Coches_autonomos_en_el_mundo), pristupljeno 23.01.2023.
13. **Sehajbir, S., Baljit, S. S.:** „*Autonomous cars: Recent developments, challenges, and possible solutions*“, IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 1022, (2021.)

14. **Chen, S. T., Jian, Z. Q, Huang, Y. H., et al.:** „*Autonomous driving: cognitive construction and situation understanding*“, *Sci China Inf Sci*, 62(8), (2019.)
15. The critical role of data management for autonomous driving development, DXC Technology, <https://dxc.com/us/en/insights/perspectives/paper/the-critical-role-of-data-management-for-autonomous-driving-development>, pristupljeno 11.02. 2023.
16. Swinhoe, Dan. “Tesla Details Dojo Supercomputer, Reveals Dojo D1 Chip and Training Tile Module.” Data Centre Dynamics, <https://www.datacenterdynamics.com/en/news/tesla-detailsdojo-supercomputer-reveals-dojo-d1-chip-and-training-tile-module/>, pristupljeno 11.02. 2023.
17. **Henry, A. I., Hesham-El-Sayed, Manzoor, K.:** „*An overview of sensors in Autonomous Vehicles*“, SCAD, Belgium, (2021.)
18. **Kuutti, S., Bowden, R., Jin, Y., Barber, P., Fallah, S.:** „*A Survey of Deep Learning Applications to Autonomous Vehicle Control*“, *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, 22, 712–733, (2021.)
19. **Hu, J. W., Zheng, B. Y., Wang, C., Zhao, C. H., Hou, X. L., Pan, Q., Xu, Z.:** „*A Survey on multi-sensor fusion based obstacle detection for intelligent ground vehicles in off-road environments*“, *Front. Inform. Technol. Electron. Eng.*, 21, 675–692, (2020.)
20. Mobile Robot Sensors, [http://www.robotiksystem.com/robot\\_sensors.html](http://www.robotiksystem.com/robot_sensors.html)  
Available online: <https://www.blickfeld.com/blog/thebeginnings-oflidar/#:~:text=Lidar%20technology%20emerged%20already%20in,such%20as%20autonomous%20driving%20today>, pristupljeno 11.02. 2023.
21. **Domić, I.:** „*Sustavi autonomne vožnje u automobilima*“, Završni rad, Istarsko veleučilište, Pula, (2021.)
22. **Čičko, T.:** „*Analiza razvoja tehnologija i sustava osobnih autonomnih vozila*“, Sveučilište Sjever, 2022.
23. **Campbell, S., O'Mahony, N., Krpalcova, L., Riordan, D., Walsh, J., Murphy, A., Conor, R.:** „*Sensor Technology in Autonomous Vehicles: A review*“, In *Proceedings of the 2018 29th Irish Signals and Systems Conference (ISSC)*, Belfast, UK, 21–22, (2018.)

24. **Petit, F.:** „*The Beginnings of LiDAR—A Time Travel Back in History*“, Blickfeld (2020.)
25. **Tomljanović, R.:** „*Važnost lidar sustava u unaprjeđenju autonomnih vozila*“, Sveučilište u Rijeci, Pomorski fakultet u Rijeci, (2021.)
27. **Rablau, C.:** „*Lidar: a new self-driving vehicle for introducing optics to broader engineering and non-engineering audiences*“, Fifteenth Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ETOP (2019.)
28. **Barać, A.:** „*Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila*“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, (2021.)
29. Coordinate Systems in Automated Driving Toolbox, <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/coordinate-systems.html>, pristupljeno 27.01.2023.
30. “HERE, Vodafone and Porsche partner on real-time warning system.” Porsche Newsroom, <https://newsroom.porsche.com/en/2021/innovation/porsche-real-time-warning-systemsafety-here-vodafone-24923.html>, pristupljeno 27.01.2023.
31. **Krajnović, B.:** „*Navigacija autonomnih vozila*“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, (2017.)
32. Lokacijski i navigacijski sustavi, [http://e-student.fpz.hr/Predmeti/L/Lokacijski\\_i\\_navigacijski\\_sustavi/Materijali/06-Map\\_matching.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/L/Lokacijski_i_navigacijski_sustavi/Materijali/06-Map_matching.pdf), pristupljeno 27.01.2023.
33. **Szeliski, R.:** „*Computer Vision, Algorithms and Applications*“, Springer-Verlag London Limited, London, (2011.)
34. Automatic license plate recognition, <https://pyimagesearch.com/2020/09/21/opencv-automatic-license-number-plate-recognition-anpr-with-python/>, pristupljeno 27.01.2023.
35. **Ojvan, L.:** „*Primjena umjetne inteligencije u autonomnim vozilima*“, Sveučilište u Zagrebu, Ekonomski fakultet, (2022.)
36. **Burns, L. D.:** „*Autonomy: the New Age of Automobility*“, (2017.)
37. Green Car Congress, <https://www.greencarcongress.com/2017/07/20170712->

[a8.html](#), pristupljeno 18.02.2023.

38. Waymo, <https://www.businessinsider.com/how-does-googles-waymo-self-driving-car-work-graphic-2017-1>, pristupljeno 18.02.2023.

39. Tesla model S, <https://www.caranddriver.com/tesla/model-s>, pristupljeno 18.02.2023.

40. Tesla autopilot, <https://www.tesla.com/support/autopilot?redirect=n>. pristupljeno 18.02.2023.

41. Super Cruise, <https://www.chevrolet.com/electric/super-cruise>, pristupljeno 18.02.2023.

42. General motors, <https://www.bug.hr/tehnologije/general-motors-ponudio-za-nijansuvise-super-autonomnu-voznju-4745>, pristupljeno 27.02.2023.

43. <https://www.jdpower.com/cars/shopping-guides/levels-of-autonomous-driving-explained>, pristupljeno 27.02.2023.

44. Traffic Jam Pilot, <https://www.autoevolution.com/news/why-hondas-level-3-approved-traffic-jam-pilot-adas-would-be-perfect-in-the-us-157649.html>, pristupljeno 27.02.2023.

45. <https://www.autoweek.com/news/technology/a39943287/mercedesdrive-pilot-level-3-autonomous/>, pristupljeno 27.02.2023.

46. Autonomous drive pilot, <https://group.mercedes-benz.com/innovation/case/autonomous/drive-pilot-2.html>, pristupljeno 02.03. 2023.

47. <https://websetnet.net/hr/self-driving-cars-autonomous-driving-levelsexplained/>, pristupljeno 02.03. 2023.

48. Definition Waymo, <https://www.techtarget.com/whatis/definition/Waymo>,

49. <https://waymo.com/waymo-driver/>, pristupljeno 18.02.2023.

50. Bauhammer, Matthias. Mastering autonomous driving development. DXC Technology,

<https://dxc.com/us/en/insights/perspectives/paper/mastering-autonomous-drivingdevelopment>, pristupljeno 11.02. 2023.

51. Litman, Todd: Autonomous Vehicle Implementation Predictions Implications for Transport Planning, Victoria Transport Policy Institute, 2023.,

<https://www.vtpi.org/avip.pdf>, pristupljeno 06.03.2023.

52. Autonomna cestovna vozila, <https://www.bug.hr/transport/autonomna-cestovnavozila-robote-vozi-polako-20775>, pristupljeno 06.03.2023.



53. <https://novac.jutarnji.hr/novac/aktualno/autonomna-vozila-dolaze-to-jetrecaprilika-za-razvoj-hrvatske-autoindustrije-15030486>, pristupljeno 06.03.2023.
54. <https://zimo.dnevnik.hr/clanak/gomila-podataka-i-brojni-izazovistrucnjak-iz-rimac-technology-objasnio-sto-je-sve-potrebno-za-razvojautonomne-tehnologije---723982.html>, pristupljeno 09.03.2023.
55. Nevera, <https://www.rimac-automobili.com/nevera/>, pristupljeno 06.03.2023.
56. <https://www.jutarnji.hr/vijesti/hrvatska/video-rimac-automobili-objavili-uzbudljivu-vijest-na-zagrebackim-ulicama-testirali-samovozeci-automobil-pogledajte-kako-je-to-izgledalo-7629687>, pristupljeno 09.03.2023.
57. **Todorić, J.:** „*Informacijska sigurnost autonomnih vozila*“, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, (2020.)

# PRILOG I

Popis slika i tablica:

|  |    |
|--|----|
| Slika 1. Prva autosjedalica okrenuta prema nazad.....                                | 2  |
| Slika 2. Povišeno sjedalo.....   | 3  |
| Slika 3. Tesla Model 2 .....   | 10 |
| Slika 4: Tesla Model X.....  | 10 |
| Slika 5 : Tesla Model Y .....  | 11 |
| Slika 6: Tesla Model 3 .....   | 11 |
| Slika 7: Cadillac ct6 .....  | 12 |
| Slika 8: Vozilo treće razine .....   | 15 |
| Slika 9: Automatski traffic jam.....   | 16 |
| Slika 10. Senzori DrivePilot-a, Mercedes Benz S klasa.....                           | 17 |
| Slika 11: Waymo.....   | 18 |
| Slika 12 . Klasifikacija autonomnih vozila .....                                     | 20 |
| Slika 13: Infracrvena kamera .....   | 25 |
| Slika 14: Princip rada Lidar.....  | 30 |
| Slika 15: Osnovni princip rada lidar-a i vremenski dijagram impulsa .....            | 31 |
| Slika 16.: Fotografija oblaka točaka nastalih skeniranjem lidar-a: .....             | 32 |
| Slika 17: Lidar koordinatni sustav vozila [a] te apsolutni koordinatni sustav [b] .. | 33 |
| Slika 18: Računalni okvir za samovozeće automobile vođen podacima .....              | 35 |
| Slika 19 . Napredni sustav autonomnog vozila .....                                   | 36 |
| Slika 20. Procesni trokut autonomne vožnje.....                                      | 41 |
| Slika 21.: 5V – područja Velikih podataka.....                                       | 42 |
| <br>   |    |
| Tablica 1: Opće specifikacije stereo kamere .....                                    | 26 |
| Tablica 2. Opće specifikacije LiDAR-a.....   | 27 |
| Tablica 3. Opća specifikacija RADAR senzora .....                                    | 28 |
| Tablica 4.: Uobičajena usporedba senzora.....  | 28 |

## PRILOG II

Za sustave automatizirane vožnje potrebno je rigorozno testiranje za fuziju senzora i algoritme upravljanja. Dugo je potrebno za postavljanje i izazovno je ponoviti testiranje vozila. Automated Driving System Toolbox nudi funkcionalnost za definiranje cestovnih mreža, aktera, vozila i prometnih scenarija, kao i statističke modele za simulaciju otkrivanja lažnih radara i senzora kamere.

Ovaj primjer, koji je preuzet s [mathworks.com](http://mathworks.com) [29], pokazuje kako stvoriti scenarij, simulirati otkrivanje senzora i koristiti fuziju senzora za praćenje fiktivnih vozila. Glavna prednost korištenja generiranja scenarija i simulacije senzora u odnosu na snimanje senzora je mogućnost stvaranja neuobičajenih i potencijalno opasnih događaja i njihove upotrebe za testiranje algoritama vozila. Cijeli tijek rada za stvaranje sintetičkih podataka pokriven je ovim primjerom.

Stvaranje cestovne mreže, opis vozila koja se kreću cestama i kretanje vozila uključeni su u proces generiranja scenarija.

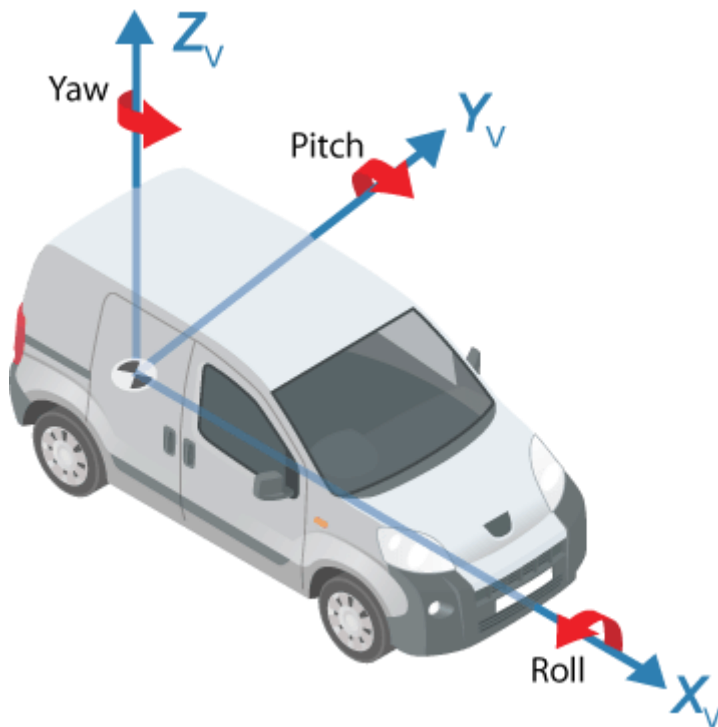
Na ovoj ilustraciji testirate sposobnost veze senzora da prati pokretni objekt koji prolazi s lijeve strane ego vozila. Dodatna vozila su ispred i iza ego vozila u ovom scenariju simulacije autoceste.

Vozilo opremljeno sensorima koji mogu osjetiti okolinu naziva se "ego vozilo".

XV os vozila okrenuta je prema naprijed.

Ako ste okrenuti prema naprijed, YV os je lijevo.

Kako bi desni koordinatni sustav ostao na mjestu, ZV os je usmjerena prema gore od tla.



Slika: primjer ego vozila, izvor: <https://www.mathworks.com/help/driving/ug/coordinate-systems.html>

Primjer kodiranja:

```
„% Define an empty scenario
scenario = drivingScenario;
scenario.SampleTime = 0.01;“
```

Dodajte dionicu od 500 metara tipične autoceste s dva traka. Cesta je definirana skupom točaka, gdje svaka točka definira središte ceste u 3-D prostoru i širinu ceste.

```
roadCenters = [0 0; 50 0; 100 0; 250 20; 500 40];
roadWidth = 7.2; % Two lanes, each 3.6 meters
road[scenario, roadCenters, roadWidth];
```

Napravite ego vozilo i tri automobila oko njega: jedan koji pretječe ego vozilo i obilazi ga s lijeve strane, jedan koji vozi točno ispred ego vozila i jedan koji vozi odmah iza ego vozila. Svi automobili slijede putanju definiranu putnim točkama na cesti korištenjem pravila vožnje po stazi. Automobil koji prolazi će krenuti desnom trakom, prijeći u lijevu traku kako bi prošao i vratiti se u desnu traku.

```
„% Create the ego vehicle that travels at 25 m/s along the road
egoCar = vehicle[scenario, 'ClassID', 1];
path[egoCar, roadCenters[2:end,:]- [0 1.8], 25]; % On right lane
% Add a car in front of the ego vehicle
```

```

        leadCar = vehicle[scenario, 'ClassID', 1];
        path[leadCar, [70 0; roadCenters[3:end,:]] - [0 1.8], 25]; % On right lane
        % Add a car that travels at 35 m/s along the road and passes the ego vehicle
        passingCar = vehicle[scenario, 'ClassID', 1];
        waypoints = [0 -1.8; 50 1.8; 100 1.8; 250 21.8; 400 32.2; 500 38.2];
        path[passingCar, waypoints, 35];
        % Add a car behind the ego vehicle
        chaseCar = vehicle[scenario, 'ClassID', 1];
        path[chaseCar, [25 0; roadCenters[2:end,:]] - [0 1.8], 25]; % On right lane“

```

Definirajte radarske i vidne senzore - U ovom primjeru simulirate ego vozilo koje ima 6 radarskih senzora i 2 vidna senzora koji pokrivaju vidno polje od 360 stupnjeva. Senzori imaju određeno preklapanje i određeni jaz u pokrivenosti. Vozilo ego opremljeno je radarskim sensorom dugog dometa i sensorom vida na prednjoj i stražnjoj strani vozila. Svaka strana vozila ima dva radarska senzora kratkog dometa, od kojih svaki pokriva 90 stupnjeva. Jedan senzor sa svake strane pokriva od sredine vozila do stražnjeg dijela. Drugi senzor sa svake strane pokriva od sredine vozila prema naprijed. Slika u sljedećem odjeljku prikazuje pokrivenost.

```

        „sensors = cell[8,1];
        % Front-facing long-range radar sensor at the center of the front bumper of the
        % car.
        sensors{1} = radarDetectionGenerator['SensorIndex', 1, 'Height', 0.2, 'MaxRange', 174,
        ...
        'SensorLocation', [egoCar.Wheelbase + egoCar.FrontOverhang, 0], 'FieldOfView',
        [20, 5]];
        % Rear-facing long-range radar sensor at the center of the rear bumper of the car.
        sensors{2} = radarDetectionGenerator['SensorIndex', 2, 'Height', 0.2, 'Yaw', 180, ...
        'SensorLocation', [-egoCar.RearOverhang, 0], 'MaxRange', 174, 'FieldOfView',
        [20,5]];
        % Rear-left-facing short-range radar sensor at the left rear wheel well of the car.
        sensors{3} = radarDetectionGenerator['SensorIndex', 3, 'Height', 0.2, 'Yaw', 120, ...
        'SensorLocation', [0, egoCar.Width/2], 'MaxRange', 30, 'ReferenceRange', 50, ...
        'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10, 'RangeResolution', 1.25];
        % Rear-right-facing short-range radar sensor at the right rear wheel well of the
        % car.
        sensors{4} = radarDetectionGenerator['SensorIndex', 4, 'Height', 0.2, 'Yaw', -120, ...
        'SensorLocation', [0, -egoCar.Width/2], 'MaxRange', 30, 'ReferenceRange', 50, ...
        'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10, 'RangeResolution', 1.25];
        % Front-left-facing short-range radar sensor at the left front wheel well of the
        % car.
        sensors{5} = radarDetectionGenerator['SensorIndex', 5, 'Height', 0.2, 'Yaw', 60, ...

```

```

    'SensorLocation', [egoCar.Wheelbase, egoCar.Width/2], 'MaxRange', 30, ...
    'ReferenceRange', 50, 'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10, ...
    'RangeResolution', 1.25];
% Front-right-facing short-range radar sensor at the right front wheel well of the
% car.
sensors{6} = radarDetectionGenerator['SensorIndex', 6, 'Height', 0.2, 'Yaw', -60, ...
    'SensorLocation', [egoCar.Wheelbase, -egoCar.Width/2], 'MaxRange', 30, ...
    'ReferenceRange', 50, 'FieldOfView', [90, 5], 'AzimuthResolution', 10, ...
    'RangeResolution', 1.25];

% Front-facing camera located at front windshield.
sensors{7} = visionDetectionGenerator['SensorIndex', 7, 'FalsePositivesPerImage', 0.1,
    ...
    'SensorLocation', [0.75*egoCar.Wheelbase 0], 'Height', 1.1];
% Rear-facing camera located at rear windshield.
sensors{8} = visionDetectionGenerator['SensorIndex', 8, 'FalsePositivesPerImage', 0.1,
    ...
    'SensorLocation', [0.2*egoCar.Wheelbase 0], 'Height', 1.1, 'Yaw', 180];“

```

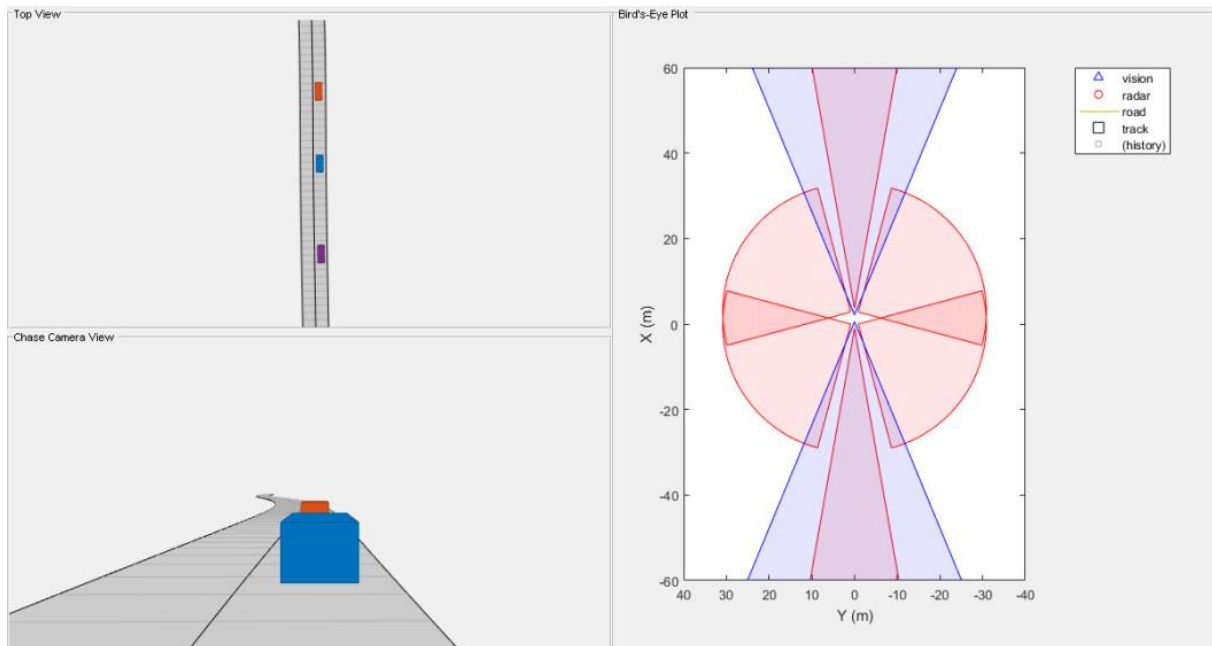
Stvorite Tracker - Stvorite multiObject Tracker za praćenje vozila koja su blizu ego vozila. Tragač koristi funkciju podrške `initSimDemoFilter` za inicijalizaciju linearnog Kalmanovog filtra konstantne brzine koji radi s položajem i brzinom.

Praćenje se vrši u 2-D. Iako senzori vraćaju mjerenja u 3-D, samo kretanje je ograničeno na horizontalnu ravninu, tako da nema potrebe za praćenjem visine.

```

„tracker = multiObjectTracker['FilterInitializationFcn', @initSimDemoFilter, ...
    'AssignmentThreshold', 30, 'ConfirmationParameters', [4 5]];
    positionSelector = [1 0 0 0; 0 0 1 0]; % Position selector
    velocitySelector = [0 1 0 0; 0 0 0 1]; % Velocity selector
% Create the display and return a handle to the bird's-eye plot
    BEP = createDemoDisplay[egoCar, sensors];“

```



Sljedeća petlja pomiče vozila, aktivira simulaciju senzora i provodi praćenje scenarija. Imajte na umu da vremenski koraci za generiranje scenarija i simulaciju senzora mogu varirati. Možete odvojiti simulaciju scenarija od simulacije senzora određivanjem različitih vremenskih koraka za njih dvoje. Ovo je korisno za vrlo precizno modeliranje pokreta glumca koje je neovisno o brzini mjerenja senzora.

Druga je ilustracija kada senzori imaju različite stope ažuriranja. Pretpostavimo da jedan senzor šalje ažuriranja svakih 20 milisekundi, a drugi šalje ažuriranja svakih 50 milisekundi. Senzori će dostaviti svoja ažuriranja u odgovarajuće vrijeme ako navedete scenarij s brzinom ažuriranja od 10 milisekundi.

Na ovoj ilustraciji, generiranje scenarija događa se svakih 0 točaka 01 sekunde, dok se otkrivanje senzora događa svakih 0 točaka 1 sekundi. Kada senzori proizvedu detekciju, vraćaju booleovu zastavu koja se zove `isValidTime`, što je točno. Samo kada postoje detekcije pozivaju se tragači pomoću ove oznake.

Još jedna značajna točka je da, posebno kada su mete u neposrednoj blizini radarskih senzora, senzori mogu simulirati više detekcija jedne mete. Morate grupirati detekcije prije nego što ih uređaj za praćenje obradi jer se oslanja na to da svaki senzor pruža jednu detekciju po meti. To radi funkcija `clusterDetections`.

```

    „toSnap = true;
    while advance[scenario] && ishghandle[BEP.Parent]
        % Get the scenario time
        time = scenario.SimulationTime;
        % Get the position of the other vehicle in ego vehicle coordinates

```

```

    ta = targetPoses[egoCar];
    % Simulate the sensors
    detections = {};
    isValidTime = false[1,8];
    for i = 1:8
[sensorDets,numValidDets,isValidTime[i]] = sensors{i}[ta, time];
        if numValidDets
            for j = 1:numValidDets

% Vision detections do not report SNR. The tracker requires
% that they have the same object attributes as the radar
% detections. This adds the SNR object attribute to vision
% detections and sets it to a NaN.
                if ~isfield[sensorDets{j}.ObjectAttributes{1}, 'SNR']
                    sensorDets{j}.ObjectAttributes{1}.SNR = NaN;
                end
            end

detections = [detections; sensorDets]; %#ok<AGROW>
            end
        end

% Update the tracker if there are new detections
        if any[isValidTime]
            vehicleLength = sensors{1}.ActorProfiles.Length;
            detectionClusters = clusterDetections[detections, vehicleLength];
            confirmedTracks = updateTracks[tracker, detectionClusters, time];
            % Update bird's-eye plot
updateBEP[BEP, egoCar, detections, confirmedTracks, positionSelector,
            velocitySelector];
        end

% Snap a figure for the document when the car passes the ego vehicle
        if ta[1]Position[1] > 0 && toSnap
            toSnap = false;
            snapnow
        end
    end“

```

Ovaj primjer pokazuje kako generirati scenarij, simulirati detekcije senzora i koristiti te detekcije za praćenje vozila koja se kreću oko ego vozila. Također, vidljivo je kolika je količina kodiranja potrebna za svega nekoliko 'odluaka'.