

Pametni automobili

Rešković, Kristijan

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:514014>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-30**



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

Repository / Repozitorij:

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



uniri DIGITALNA
KNJIŽNICA



SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

KRISTIJAN REŠKOVIĆ

PAMETNI AUTOMOBILI

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2023.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET

PAMETNI AUTOMOBILI
INTELLIGENT CARS

ZAVRŠNI RAD

Kolegij: Informacijske tehnologije

Mentor: prof. dr. sc. Edvard Tijan

Komentor: izv. prof. dr. sc. Saša Aksentijević

Student: Kristijan Rešković

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112084933

Rijeka, rujan 2023.

Student: Kristijan Rešković

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112084933

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

Pametni automobili

izradio/la samostalno pod mentorstvom

prof.dr.sc. Edvarda Tijana

te komentorstvom izv. prof. dr. sc.Saše Aksentijevića

stručnjaka/stručjakinje iz tvrtke _____
(naziv tvrtke).

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

Student _____

Rešković

Student: Kristijan Rešković

Studijski program: Logistika i menadžment u pomorstvu i prometu

JMBAG: 0112084933

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

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

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

Student - autor



SAŽETAK

Tijekom posljednjeg stoljeća primjećuje se porast broja ljudi koji žive u urbanim područjima, uz istodobno povećanje broja vozila i tehnološkog napretka. Ponekad ljudi čine greške u razmišljanju i donošenju odluka te odstupaju od savršenstva. Stoga potreba za pametnim autonomnim automobilima proizlazi iz visokog broja nesreća i ozljeda u prometu, koje su rezultat različitih faktora - bilo da su uzrokovane ljudskim faktorom, tehničkim problemima, lošim vremenskim uvjetima i slično. Razvoj potpuno autonomnih automobila predstavlja jedan od značajnih izazova današnjice, no unatoč tome, još uvijek ima mnogo toga što treba postići. Sigurnost u prometu ima najviši prioritet prilikom planiranja prometne infrastrukture, sredstava i načina kretanja ljudi. Autonomni automobili još uvijek nisu postigli potrebnu funkcionalnost i sposobnost donošenja samostalnih odluka. Ovaj razvoj prolazi kroz šest razina autonomije kako bi se na kraju ostvario cilj - potpuno autonomno vozilo koje funkcionira samostalno. Međutim, većina ljudi još uvijek ne bi bila spremna prepustiti se potpuno autonomnom vozilu za putovanje od točke A do točke B, a to je uglavnom zbog brige o sigurnosti i pouzdanosti takvih vozila. U ovom istraživanju, analiziraju se svi aspekti sustava i algoritama koji stoje iza autonomnih vozila. Također, istražuju se različiti senzori te primjena umjetne inteligencije kao ključnog čimbenika budućeg razvoja ovih vozila.

Ključne riječi: Autonomna vozila, sigurnost, algoritmi, senzori, umjetna inteligencija

SUMMARY

During the last century, there has been an increase in the number of people living in urban areas, with a simultaneous increase in the number of vehicles and technological progress. Sometimes people make mistakes in thinking and decision-making and deviate from perfection. Therefore, the need for smart autonomous cars stems from the high number of accidents and injuries in traffic, which are the result of various factors - whether they are caused by the human factor, technical problems, bad weather conditions and the like. The development of fully autonomous vehicles represents one of the significant challenges of today, but despite this, there is still much to be achieved. Traffic safety has the highest priority when planning traffic infrastructure, means and ways of people's movement. Autonomous cars have not yet achieved the necessary functionality and ability to make independent decisions. This development goes through six levels of autonomy to achieve the goal - a fully autonomous vehicle that functions independently. However, most people still would not be willing to commit to a fully autonomous vehicle to get from point A to point B, due to concerns about the safety and reliability of such vehicles. In this research, all aspects of the systems and algorithms behind autonomous vehicles are analyzed. Also, various sensors and the application of artificial intelligence are being researched as a key factor in the future development of these vehicles.

Keywords: Autonomous vehicles, security, algorithms, sensors, artificial intelligence

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	II
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
2. KONCEPT AUTONOMNOG AUTOMOBILA	2
2.1. RAZINE AUTONOMIJE	3
2.2. SUSTAVI UPRAVLJANJA PAMETNIH AUTOMOBILA	5
3. SENZORSKI SUSTAV	7
3.1. PLANIRANJE RUTE	15
3.2. KONTROLA	16
4. V2X KOMUNIKACIJA	18
4.1. V2I KOMUNIKACIJA	19
4.2. V2V KOMUNIKACIJA	20
4.3. V2P KOMUNIKACIJA	22
5. PRIMJERI AUTONOMNIH AUTOMOBILA	23
5.1. TESLA	23
5.2. WAYMO	25
5.3. MERCEDES-BENZ DRIVE PILOT	27
6. PREDNOSTI I MANE AUTONOMNIH AUTOMOBILA	29
6.1. STATISTIKA AUTONOMNIH AUTOMOBILA	32
6.2. SIGURNOST AUTONOMNIH AUTOMOBILA	33
7. ZAKLJUČAK	35
LITERATURA	38
Popis slika	40
Popis kratica	41

1.UVOD

U ovome završnom radu prikazan je koncept rada pametnih autonomnih automobila današnjice. U prvom poglavlju završnog rada opisati će se svrha i cilj razvoja sigurnosti i pouzdanosti autonomnih vozila. Drugo poglavlje sastoji se od koncepta autonomnog automobila i čime se takva vozila služe. Opisati će se šest razina autonomije, od razine 0 koja nema nikakve automatizacije pa sve do razine 5 koja ne zahtijeva nikakvu ljudsku intervenciju bez obzira na uvjete vožnje i stanje na cestama. U trećem poglavlju rada prikazan je cjelokupan senzorski sustav pametnog automobila te kako takvi senzori utječu na okolinu i na sam automobil. Prikazano je planiranje rute te kontrola automobila u prometu. Osim senzora unaprijedila se i vrsta komunikacije između vozila. To je najbolje objašnjeno kroz četvrto poglavlje odnosno kroz V2X komunikaciju koja objašnjava sve vrste povezivanja pametnog automobila sa okolinom u kojoj se trenutno nalazi. Pametno vozilo današnjice se može povezati sa infrastrukturom, drugim vozilom, mrežom i uređajem pa čak i sa pješacima pomoću svojih senzora. Svi sustavi i kamere pametnog automobila prikazani su kroz primjere Tesle, Wayma i najnovijeg Mercedes-Benz S klase i njegovog DRIVE PILOT sustava koji sve to najbolje i opisuje. U šestom poglavlju definirati će se prednosti i mane autonomnih automobila kao i statistika prometnih nesreća, tržišta, sigurnosti i zaštite od hakiranja. U zadnjem poglavlju je zaključak koji sadrži sve najbitnije informacije o završnome radu.

2. KONCEPT AUTONOMNOG AUTOMOBILA

Pametna vozila, također poznata i kao autonomni automobili, automobili bez vozača ili robotski automobili su automobili koji su sposobni voziti i putovati bez ljudskog upravljanja. Autonomna vozila koriste tri glavne tehnologije kako bi funkcionirala bez vozača. Prva i najvažnija stvar autonomnog vozila su senzori koji omogućuju detekciju i interpretaciju okoline. To uključuje kamere za snimanje vizualnih informacija, infracrvene senzore za noćno viđenje, LIDAR (engl. Light Detection and Ranging) senzore za precizno 3D mapiranje okoline pomoću laserskih zraka, RADAR (engl. Radio Detection and Ranging) senzore za otkrivanje objekata i njihovu brzinu na temelju odraza radiovalova, magnetske senzore za detekciju promjena u magnetskom polju. Računalni vid služi za analizu slika i prepoznavanje objekata. Tehnologija Bluetooth služi za povezivanje s drugim vozilima i uređajima te NFC (engl. Near Field Communication) tehnologija za komunikaciju s infrastrukturom na cesti. Osim ovih sustava i senzora računalo u vozilu posjeduje programski kod od preko 100 milijuna linija te je ono zapravo mozak autonomnog vozila pomoću kojega ono donosi odluke.

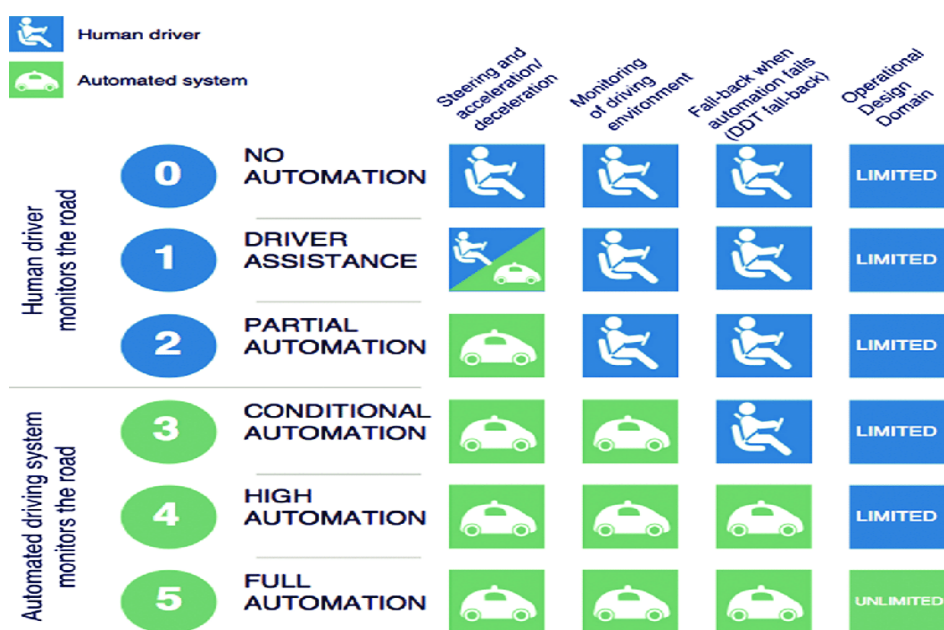
Za prikupljanje podataka sa senzora i povezivanja te donošenje odluka o upravljanju, brzini i kočenju upravljaju algoritmi upravljanja. Najkompliciraniji dio autonomnog samoupravljivog vozila je donošenje odluka algoritma koji moraju besprijekorno rješavati jednostavne i složene situacije u vožnji.

Autonomna vozila služe se aktuatorima, složenim algoritmima, sustavima strojnog učenja, sensorima i moćnim procesorima za izvršavanje softverskih zadataka. Senzori primaju signale koje zatim šalju elektroničkoj upravljačkoj jedinici koja donosi odluke pomoću programskog koda te zatim upravljačka jedinica šalje signal aktuatoru kojemu je glavni cilj upravljanje i kontrola vozila.

2.1. RAZINE AUTONOMIJE

“Društvo automobilskih inženjera (SAE) trenutno definira 6 razina automatizacije vožnje, u rasponu od razine 0 (potpuno ručno) do razine 5 (potpuno autonomno). Ove razine usvojilo je Ministarstvo prometa SAD-a. SAE koristi izraz automatiziran umjesto autonomno. Jedan od razloga je taj što riječ autonomija ima implikacije izvan elektromehaničkog. Potpuno autonomni automobil bio bi samosvjestan i sposoban donijeti vlastiti izbor. Primjerice, vozilo dobije glasovnu naredbu da odvede putnika na posao, ali automobil umjesto toga odluči odvesti putnika na plažu. Potpuno automatizirano vozilo bi slijedilo naredbe, a zatim se sam vozio odnosno odvezao bi putnika na posao s obzirom na to da je primio glasovnu naredbu.“¹

Na slici 1. prikazane su razine automatizacije. Primjetno je da do druge razine i dalje čovjek ima većinsku kontrolu nad automobilom, dok od treće razine automatizacije pa nadalje automobil preuzima većinu odluka i komandi nad automobilom.



Slika 1. Razine autonomije vozila

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/SAE-J3016-levels-of-driving-automation_fig1_339371847

¹ Barać, A.: **Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021., p.24.

“Na razini 0 automobil ne posjeduje značajke automatizirane vožnje, ali to ne isključuje nužno značajke pomoći pri vožnji. Vožnja je u potpunosti u rukama vozača, ali vozilo je opremljeno sustavom koji pruža trenutačnu pomoć u vožnji, poput signala upozorenja ili hitnih sigurnosnih radnji. Vozač stoga mora upravljati automobilom i pratiti sva moguća upozorenja ili sigurnosne aktivnosti, pa je stoga vozač odgovoran za kočenje, upravljanje, ubrzavanje itd. U ovu kategoriju spadaju kategorije poput ABS (engl. Anti-lock Brake System), ESP (engl. Electronic Stability Program), upozorenje na mrtvi kut, automatsko kočenje u nuždi, upozorenje na frontalni sudar i upozorenje o napuštanju trake. Većina vozila u prometu današnjice je i dalje razine 0.“²

Prelazeći na razinu 1, sada govorimo o vozilima s opremljenim sustavom koji pruža stalnu pomoć tijekom ubrzavanja, kočenja i upravljanja, dok je vozač uključen i pažljiv. Stoga i u ovom slučaju vozač ima zadatak upravljati automobilom i nadzirati sustav, koji međutim, ako je aktiviran može obavljati funkcije upravljanja, ubrzanja i kočenja. Najbolji primjer razine 1 automatizacije vozila je prilagodljivi tempomat ACC (engl. Adaptive Cruise Control) koji održava sigurnu udaljenost između vašeg vozila i prometa koji se nalazi ispred vas bez ikakve intervencije vozača.

Djelomična automatizacija razine 2 odnosi se na veliki udio autonomnih vozila koja su danas na tržištu. Opremljeni su naprednim sustavima za pomoć u vožnji ADAS (engl. Advanced Driving Assistance System), a to im pruža stalnu pomoć u pogledu ubrzanja, kočenja i upravljanja, dok je vozač 100% pažljiv i uključen uz mogućnost prenošenja kontrole nad kombiniranim uzdužnim i bočnim funkcijama.

Razina 3 poznata je kao automatizacija uvjetne vožnje. Ljudi u vozilu ne moraju nadzirati tehnologiju, što znači da se mogu baviti drugim aktivnostima. Međutim, ljudski vozač mora biti prisutan i sposoban preuzeti kontrolu nad automobilom u bilo kojem trenutku, osobito u slučaju nužde zbog kvara sustava. “Audi je za svoju vodeću limuzinu A8 2019. razvio tehnologiju pomoći u prometu 3. razine, ali nikada nije dobio regulatorno odobrenje za sustav u Njemačkoj i od tada je odložio napore. Ostala vozila opremljena automatizacijom razine 3 koja čekaju regulatorno odobrenje uključuju redizajniranu

² Odlomak preuzet iz: Barać, Ante: **Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021: 24-27.

Mercedes-Benz S klasu 2021. i potpuno novi električni automobil Mercedes-Benz EQS 2022. godine. Mercedesova tehnologija naziva se Drive Pilot.“³

Bitna razlika između razine 3 i razine 4 je u činjenici da sustavi kojima su vozila na ovoj razini opremljena mogu intervenirati u slučaju kvara, a da nužno ne uključuju vozača. Međutim, vozač i dalje ima moć ručnog preuzimanja kontrole nad automobilom. Sustav je sposoban prepoznati situaciju te samostalno voziti i odlučivati u prometnim situacijama poput iznenadne pojave pješaka na kolniku ili oduzimanje prednosti prolaska drugog vozila. Tehnologija poput ove koristi se u taksijima bez vozača i uslugama javnog prijevoza.

Autonomni automobil razine 5, prema SAE klasifikaciji, dostiže najvišu razinu automatizacije zahvaljujući korištenim naprednim tehnologijama. Ne zahtijevaju ljudsku intervenciju, pa čak ni hitnu ručnu intervenciju, bez obzira na uvjete vožnje ili stanje na cestama. Iz tog razloga vozila nisu opremljena pedalama ili upravljačem. Stoga bi se osoba mogla ukrcati i doslovno poduzeti bilo koju aktivnost potpuno ignorirajući situaciju u vožnji.

2.2 SUSTAVI UPRAVLJANJA PAMETNIH AUTOMOBILA

Arhitektura upravljačkog sustava autonomnih vozila razine pet autonomnosti, prema SAE klasifikaciji je opisana i razdijeljena na četiri dijela: senzorski sustavi, komponente za komunikaciju, izvršni sustavi i korisnički sustavi.

Autonomna vozila se temelje na naprednim sensorima koji prikupljaju informacije o okruženju, uz korištenje dubokih višeslojnih neuronskih mreža i dubokog učenja. Ovi alati služe za prepoznavanje elemenata poput prometnica, vozila, objekata i ljudi, koristeći podatke prikupljene putem senzora, te za upravljanje automobilom. Naravno, sve to zahtijeva značajnu računalnu snagu kako bi se informacije obrađivale u stvarnom vremenu. Različiti senzori na autonomnim vozilima, kao što su kamere, LIDAR-i i RADAR-i, međusobno se dopunjuju kako bi se prevladale slabosti pojedinih senzora. Iako robotski sustavi, uključujući autonomna vozila, uspješno prikupljaju podatke o okolini, izazov ostaje u razumijevanju tih podataka, što je ključan korak za razvoj izuzetno pouzdanih autonomnih vozila.

³ Barać, A.: **Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021., p.26.

Pametni automobil koristi napredne algoritme kako bi analizirao prikupljene informacije i na temelju toga razvio strategiju za donošenje odluka. Na osnovu tih strategija, stvaraju se precizne naredbe za upravljački sustav vozila. Ove naredbe se odnose na upravljač, kočnice, tempomat i druge slične funkcionalnosti.

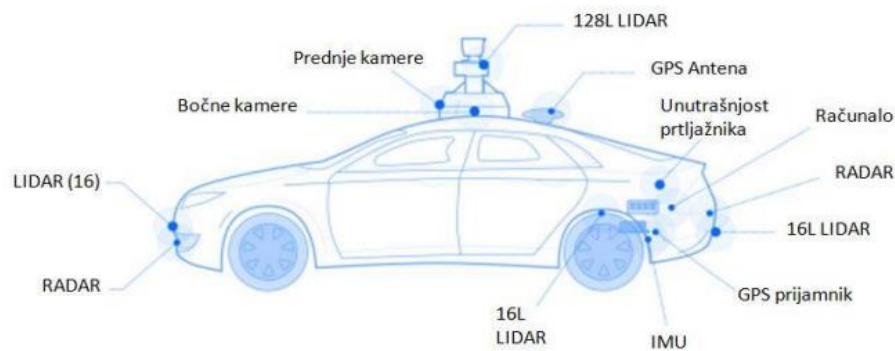
Primjerice, jedan korak može odrediti hitro kočenje, dok drugi, manje čest, može planirati složenije zadatke poput promjene trake. Postoje i iznimno brzi slučajevi planiranja, kao što su neočekivane situacije poput prepreka u neposrednoj blizini vozila. Tada se automatski aktivira hitno kočenje.

Izvanredno shvaćanje okoline koje senzori detektiraju i prikupljaju podatke iz nje, uz napredne algoritme umjetne inteligencije za interpretaciju, omogućuje autonomnim vozilima efikasno planiranje i pouzdanu vožnju. Osnovna ideja razvoja autonomnih vozila temelji se na činjenici da ona ne osjećaju umor, omogućujući njihovim planirajućim algoritmima da odaberu optimalno ponašanje u prometu i da ga brzo i besprijeckorno provedu. U usporedbi s vozačima, njihovo vrijeme reakcije se ne povećava, a izvršavanje naredbi je precizno. Ljudski vid pruža autonomnim vozilima informacije putem niza senzora, no ljudske kognitivne sposobnosti su znatno raznolikije od onih kod autonomnih vozila. Iako ljudi bolje interpretiraju vizualne informacije i razumiju ih, njihov vid i percepcija mogu biti ograničeni u nepovoljnim situacijama poput loših vremenskih uvjeta, umora, neuroloških problema ili utjecaja različitih opijata.

3. SENZORSKI SUSTAV

Među trenutno dostupnim sensorima, nijedan senzorski uređaj nije sposoban potpuno percipirati svoje okruženje na način koji osigurava dovoljno informacija i sigurnosti za autonomnu vožnju. Sustav je koncipiran tako da kombinira različite senzore, koristeći specifične sposobnosti svakog pojedinog sustava, dok se nedostaci istih prevazilaze korištenjem drugih. Sensori prisutni u autonomnim vozilima obuhvaćaju kratkodometne (ultrazvučne, kapacitivne ili infracrvene) i dugodometne (LIDAR, RADAR, računalni vid i GPS) senzore.

Na drugoj slici jasno je prikazan obilan broj kamera koje doprinose detekciji objekata u blizini i daljini, kao i registraciji ostalih vozila, pješaka te prometnih signala i znakova, te njihovih radnji u prometnom okruženju. LIDAR sustav koristi laserske zrake za stvaranje trodimenzionalne mape svog okruženja u 360 stupnjeva.

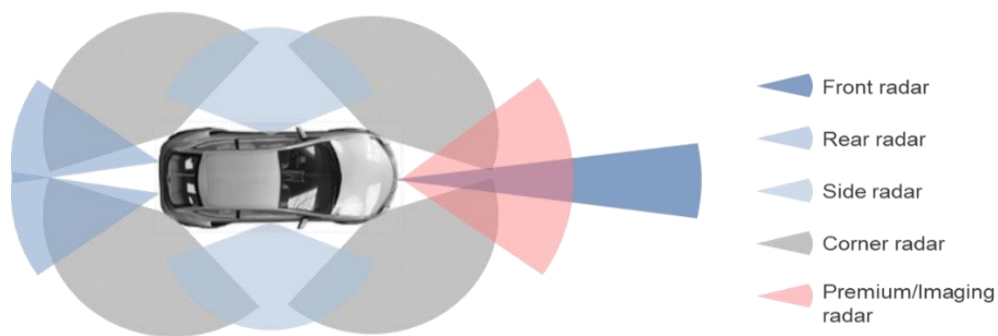


Slika 2. Senzorski sustav autonomnog automobila

Izvor: <https://asia.nikkei.com/Business/Automobiles/Cheaper-lidar-sensors-brighten-the-future-of-autonomous-cars>

“RADAR (engl. Radio Detecting and Ranging) je sensor koji se koristi za otkrivanje opasnih objekata na putu vozila koji su udaljeni više od 100 metara, a najbolje djeluje pri otkrivanju metalnih predmeta. Točno može odrediti i reći udaljenost otkrivenog i

promatranog objekta. Automobilski radar obično se nalazi u 2 oblika, a to je 77GHz i 24GHz gdje se 24GHz koristi za aplikacije kratkog dometa, a 77GHz za otkrivanje na daljinu. Radar djeluje između 10 i 11 GHz tijekom razdoblja od 5 milisekundi, odašiljajući radarski signal iz središnje postavljenog antenskog sustava. Dva prijemnika primaju reflektirani radarski val odnosno energiju. To je tehnologija koja uglavnom radi na prilagodljivom tempomatu i automatskom kočenju u nuždi u autonomnim automobilima. Može vidjeti 100 metara i može odabrati brzinu svih objekata koje opaža.“⁴ Na slici 3 prikazane su pozicije radara na pametnom automobilu.

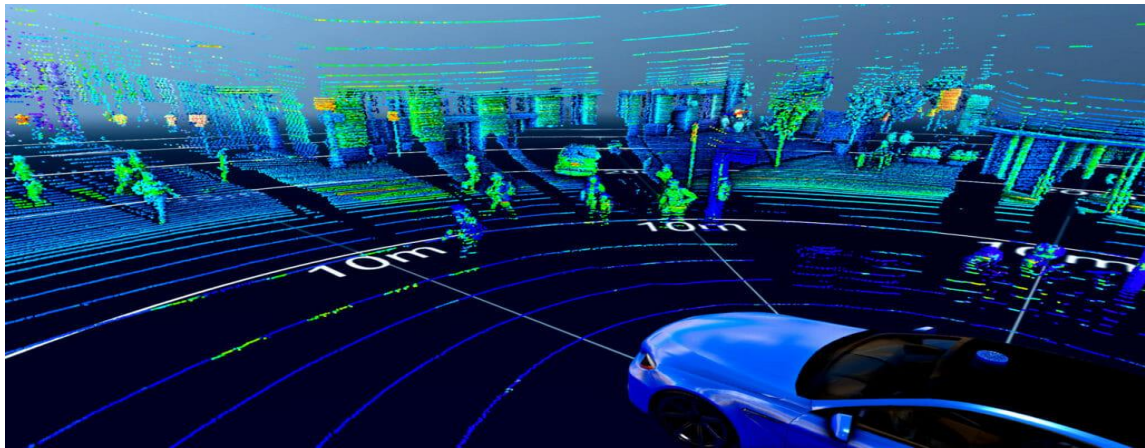


Slika 3. Prikaz RADAR-ove detekcije

Izvor: <https://www.redeweb.com/en/Articles/challenges-in-the-design-of-radar-transceivers-for-adas-ad/>

LIDAR (engl. Light Detection and Ranging) , ili svjetlosni detektor, je tehnologija slična sonaru koja upotrebljava kratke laserske impulse za mjerenje udaljenosti do okolnih predmeta. Njegove prednosti uključuju izuzetno precizno određivanje dubine, omogućujući mu da precizno izmjeri udaljenost do objekata unutar raspona od nekoliko centimetara do čak 60 metara. Ova tehnologija je izvrsna za stvaranje trodimenzionalnih mapa okoline, što omogućava vozilima da se sigurno kreću u prostoru tehnologije autonomne vožnje što možemo vidjeti na slici 4.

⁴ Barać, A.: **Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021., p.28.

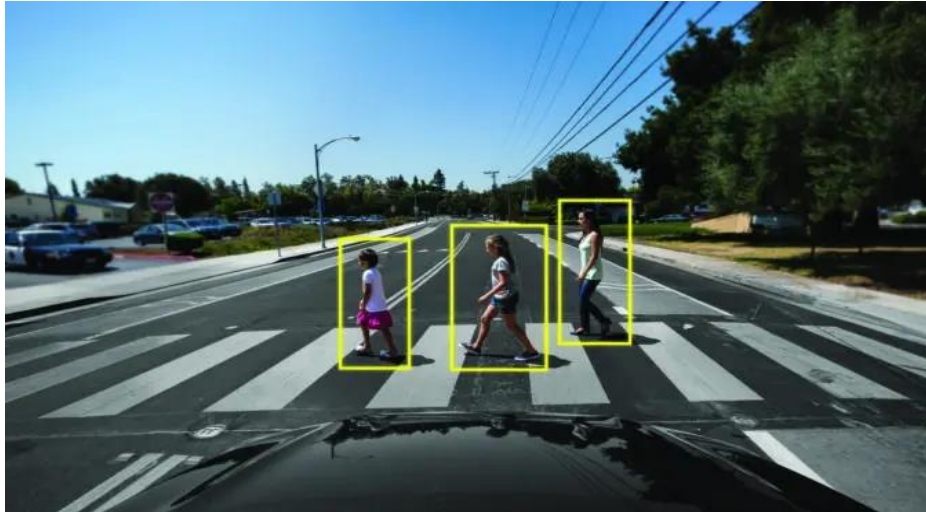


Slika 4. Prikaz LIDAR-a i laserskih impulsa

Izvor: https://www.google.com/search?rlz=1C1GIVA_enHR1024HR1024&hl=hr&q=lidar+sensor&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiZsoztmn_AhV48rsIHSvPDCUQ0pQJegQICxAB&biw=958&bih=959&dpr=1#imgrc=iMgINTdVy9pAcM

Ključne prednosti LIDAR-a ogledaju se u raznim područjima s potencijalom za napredak. Solid-state senzori, primjerice, imaju potencijal da deseterostruko smanje troškove, povećaju domet senzora na 200 metara te omoguće četverodimenzionalni LIDAR koji osim položaja u 3D prostoru prepoznaje i brzinu objekta. Unatoč ovim naprecima, visoki trošak i dalje predstavlja glavnu prepreku u širem usvajanju LIDAR tehnologije.

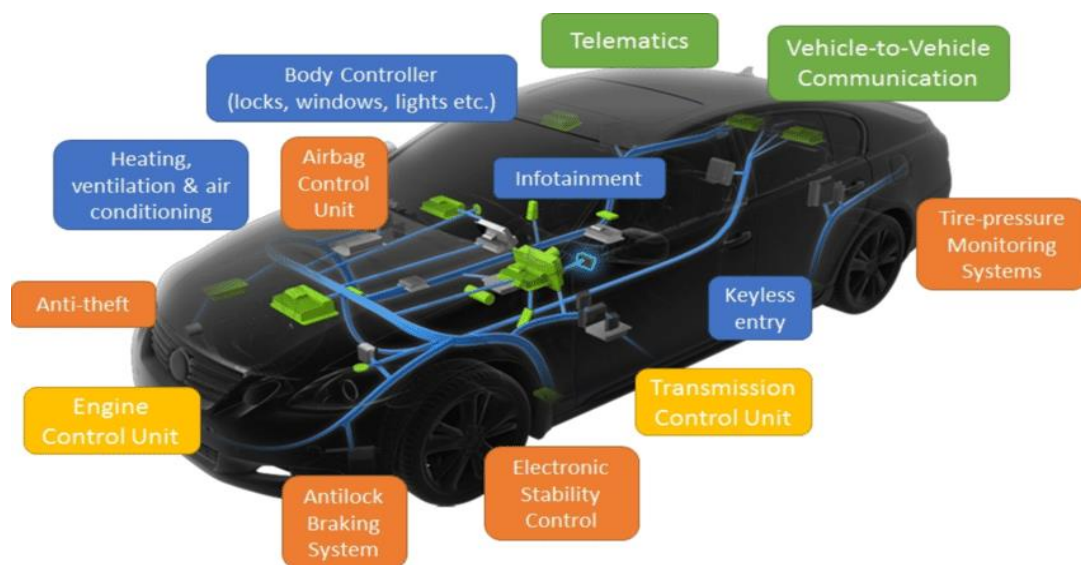
Autonomna vozila koriste osam ili više kamera kako bi prikupila podatke iz svog okruženja. Na primjeru slike 5, prednja kamera detektira pješake i obavještava računalo kada ih primijeti unutar određene udaljenosti. Računalo potom procjenjuje udaljenost do pješaka i pješačkog prijelaza te prilagođava brzinu vozila prema tome. Kada više nema pješaka ispred vozila ili u blizini, automobil nastavlja vožnju. Važno je napomenuti da kamere, iako koriste napredne algoritme za analizu podataka, ne funkcioniraju kao ljudsko oko u specifičnim vanjskim uvjetima i vjerojatno neće imati sposobnost percipiranja vizualnih informacija na isti način kao ljudi.



Slika 5. Opažanje pješaka na pješačkom prijelazu putem kamere

Izvor: <https://blogs.nvidia.com/blog/2019/04/15/how-does-a-self-driving-car-see/>

ECU (engl. Engine Control Unit) je kontrolno računalo motora. Ono upravlja ubrizgavanjem motora, karburatorom, sustavom isparavanja, zrakom i vremenom paljenja. Računalo se stalno ažurira podacima sa senzora (ulaza) o radu motora. Senzori su promjenjivi otpornici koji mijenjaju napon prema ili od računala. Postoje 3 vrste memorije koje se koriste u ECM-ovima. To su ROM, RAM i PROM. Memorija samo za čitanje (ROM) je unaprijed programirani dio memorije koji može čitati samo računalo. Ako se baterija izgubi, ROM memorija se ne gubi, već se zadržava. Memorija s izravnim pristupom (RAM) sadrži informacije koje se premještaju u RAM i iz njega i stalno se ažuriraju. Podaci o senzoru, dijagnostički kodovi i rezultati izračuna pohranjuju se u RAM. Gubitak napona baterije rezultirat će gubitkom podataka. Programibilna memorija samo za čitanje (PROM) tvornički je programiran skup uputa koji sadrži podatke o kalibraciji za motor, prijenos, karoseriju i omjer osovine određenog vozila. Slikom 6 prikazana je ECU unutar pametnog automobila.



Slika 6. Prikaz ECU unutar pametnog automobila

Izvor: <https://www.researchgate.net/figure>

“Računalni vid (engl. Computer Vision) u autonomnim vozilima omogućuje razvoj naprednih vozila nove generacije sposobnih za samostalno prevladavanje prepreka tijekom vožnje te osiguravanje sigurnosti putnika. Takvi autonomni automobili eliminiraju potrebu za ljudskom intervencijom te uspješno voze putnike od polazišta do odredišta. Vizualni podaci se kontinuirano prikupljaju i obrađuju, omogućavajući stvarno-vremensku analizu okoline. Kamere snimaju uživo te omogućavaju izradu 3D karata korištenjem računalnog vida. Ove 3D karte omogućavaju autonomnim vozilima bolje razumijevanje okoline, prepoznavanje prepreka te odabir alternativnih ruta. Nadalje, predviđanje nesreća postaje moguće uz pomoć 3D karata, a sustavi za zaštitu poput zračnih jastuka se trenutačno aktiviraju u slučaju potrebe. Takav pristup podiže razinu sigurnosti autonomnih vozila na višu razinu, čineći ih izrazito pouzdanima.“⁵

Računalni vid prikuplja obimne skupove podataka putem senzora i kamera, uključujući lokaciju, gužve, prometne uvjete i druge faktore. Ove informacije su korisne za autonomna vozila kako bi bolje razumjela okolinu i donosila ključne odluke na vrijeme. Ultrazvučni senzori koriste nečujne akustične valove za mjerenje udaljenosti od objekata, čime se osigurava preciznost i neovisnost o svjetlu. Ova tehnologija je ekonomična,

⁵ Odlomak preuzet iz: Barać, Ante: **Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021: 33-34.

pouzdana u različitim vremenskim uvjetima i ima nisku cijenu. Iako ima ograničen domet, ostaje vrijedan alat za poboljšanje autonomne navigacije.

Jedan od prvih senzora u autonomnim vozilima čine kamere koje, za razliku od drugih navedenih senzora, ne emitiraju energiju, već samo detektiraju svjetlosne valove. Međutim, kamere su osjetljive na svjetlost i vremenske uvjete, što ih čini manje učinkovitim u magli ili kiši. Stoga su se počele koristiti hiperspektralne kamere, prikazane na slici 7, kako bi se riješili ovi izazovi.



Slika 7. Perspektiva hiperspektralnih kamera

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271622003367>

GPS se koristi za identifikaciju položaja vozila, izračunavanje ruta, vođenje vozača do odredišta te određivanje lokacije vozila. Sustav se sastoji od 3 dijela: konstelacije od 24 satelita, stanica za komunikaciju i kontrolu satelita putem radara te GPS prijemnika koji omogućuje lociranje. Da bi prijemnik odredio položaj vozila, potrebno je barem 4 signala sa različitih satelita. Tri satelita se koriste za izračunavanje dužine, širine i visine, dok četvrti poboljšava preciznost. Što je više satelita vidljivo, lokacija će biti točnije utvrđena. Pametni telefoni danas imaju GPS prijemnike pa je sustav široko dostupan. GPS najbolje funkcionira na otvorenim područjima, dok u zatvorenim prostorima kao što su garaže performanse mogu biti lošije.

„IMU je uređaj koji se koristi na mjestima gdje satelitski signal nije dostupan. Pomaže u određivanju položaja i smjera u kojem je automobil okrenut. Oslanja se na parametre koji se mogu izmjeriti u svim uvjetima zbog čega autonomna vozila u svakom trenutku mogu dobiti informacije od svih senzora. Negativna strana je što se greške mogu dogoditi zbog proklizavanja ili nailaska rupe na cesti.“⁶ Slikom 8, prikazan je IMU na autonomnom automobilu.



Slika 8. Prikaz IMU na autonomnom automobilu

Izvor: <https://www.techbriefs.com/component/content/article/tb/supplements/st/features/applications/36151>

“ADAS (engl. Advanced Driver Assistance System) sposoban je upozoriti vozače na potencijalni sudar ili čak pokrenuti kočenje u nuždi, kako bi zaštitio putnike i druge ljude na cesti. ADAS rješenja prikupljaju podatke o okolišu i implementiraju značajke ADAS-a kao što je upozorenje o napuštanju prometne trake (LDW), upozorenje na prednji sudar (FCW), upozorenje na sudar s pješacima (PCW) i automatsko kočenje u nuždi (AEB). Slikom 9 prikazane su sve funkcije ADAS-a.“⁷

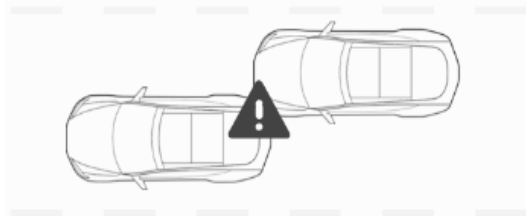
⁶ Pribisalić, I.: **Autonomna vozila**, Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za matematiku, 2021., p.7.

⁷ Odlomak preuzet iz: ECOTRON: **ADAS-Napredni sustavi pomoći vozaču**, Los Angeles, 2023.



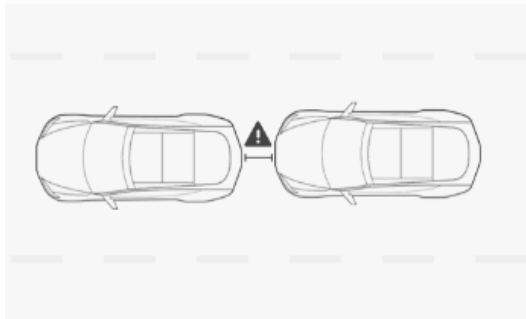
LDW - Upozorenje o napuštanju trake

LDW sustav upozorava vozača kada njegovo vozilo prelazi u drugu traku bez uključenih žmigavaca.



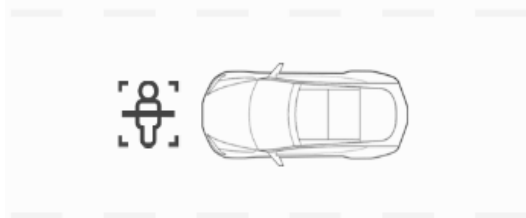
FCW – Upozorenje na prednji sudar

FCW sustav prati brzinu vozila i vozila ispred njega. Također prati udaljenost između 2 vozila. Sustav će upozoriti vozača kada sustav predvidi nadolazeći sudar.



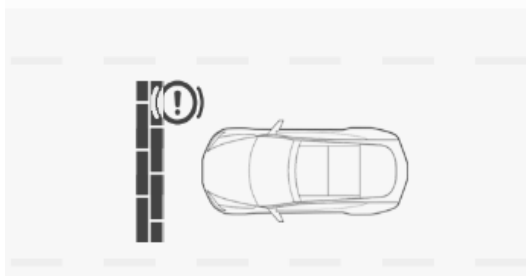
HMW – Upozorenje za praćenje napredovanja

HMW sustav upozorava vozača kada se vozilo ispred previše približi vozilu.



PCW – Upozorenje na sudar s pješacima

PWC sustav upozorava vozača kada detektira potencijalni sudar s pješacima.



AEB – Automatsko kočenje u nuždi

AEB sustav detektira potencijalni sudar i pokreće hitno kočenje kada vozač ignorira druga upozorenja o sudaru.

Slika 9. Funkcije ADAS-a

Izvor: <https://ecotron.ai/adas/>

Duga svjetla i pikselna svjetla bez odsjaja koriste senzore za prilagodbu mraku i okolini vozila bez ometanja nadolazećeg prometa. Ova nova aplikacija za prednja svjetla

detektira svjetla drugih vozila i preusmjerava svjetla vozila kako bi spriječila da drugi sudionici u prometu budu privremeno zaslijepljeni. Prilagodljiva kontrola svjetla prilagođava prednja svjetla vozila uvjetima vanjske rasvjete. Mijenja jačinu, smjer i rotaciju prednjih svjetala ovisno o okolini vozila i mraku.

Automatsko parkiranje pomaže informirati vozače o nevidljivim područjima kako bi znali kada okrenuti upravljač i zaustaviti se. Vozila opremljena kamerama za vožnju unatrag imaju bolji pogled na okolinu od tradicionalnih bočnih retrovizora. Neki sustavi čak mogu dovršiti parkiranje automatski bez pomoći vozača kombiniranjem unosa više senzora.

3.1. PLANIRANJE RUTE

Planiranje rute je koncept koji objašnjava i pruža odgovor na pitanje "Kako da stignemo do naše destinacije?". To obuhvaća bihevioralno planiranje, planiranje putanje i planiranje kretanja. Kroz planiranje rute biramo optimalni put od naše trenutne lokacije do željene destinacije, koristeći informacije o cestovnoj mreži koje pruža karta. Pronalaženje najboljeg puta može uzeti u obzir vanjske faktore poput prometnih informacija ili potrošnje energije (u slučaju električnih vozila), kao i vozačeve preferencije, kao što je zaobilazak cestarine.

“Bihevioralno planiranje usmjerava se prema optimalnom putu prema sljedećoj destinaciji, uzimajući u obzir trenutno stanje cestovnog prometa. Ovo uključuje razmatranje ostalih sudionika u prometu, prepreka, ograničenja brzine i slično. Rezultat ovog planiranja manifestira se kroz akcije poput mijenjanja prometne trake ili pridržavanja granica traka. Na primjer, ako automobil naiđe na znak zaustavljanja, zaustavit će se, promatrati ponašanje pješaka i drugih vozila te nastaviti vožnju tek kad ocijeni da je sigurno za to.”⁸

Najveći izazov pri planiranju je unaprijed predvidjeti ponašanje drugih pokretnih objekata. Jedan od načina rješavanja toga je korištenje pristupa temeljenog na predikciji i funkciji troška PCB (engl. Prediction and Cost-function Based). Ovaj pristup generira različite moguće načine kretanja uzimajući u obzir reakcije okolnih vozila. Na temelju ukupnog troška, udobnosti, sigurnosti i potrošnje goriva, odabire se optimalna odluka. To

⁸ Odlomak preuzet iz: Pribisalić, Iva: **Autonomna vozila**, Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za matematiku, 2021: 19-20.

rezultira setom kontrolnih naredbi kao što su kut skretanja volana, jačina gasa i kočnice. Kada bihevioralni sloj odluči provesti određeno ponašanje, kao što je promjena trake ili skretanje udesno, potrebno ga je prevesti u stvarnu putanju. Ova putanja mora biti dinamički izvodiva, udobna za putnike i mora izbjegavati prepreke. Planiranje puta traži najkraću putanju bez zastoja, dok planiranje trajektorije utvrđuje niz pokreta tijekom vremena kako bi vožnja bila što glađa.

3.2. KONTROLA

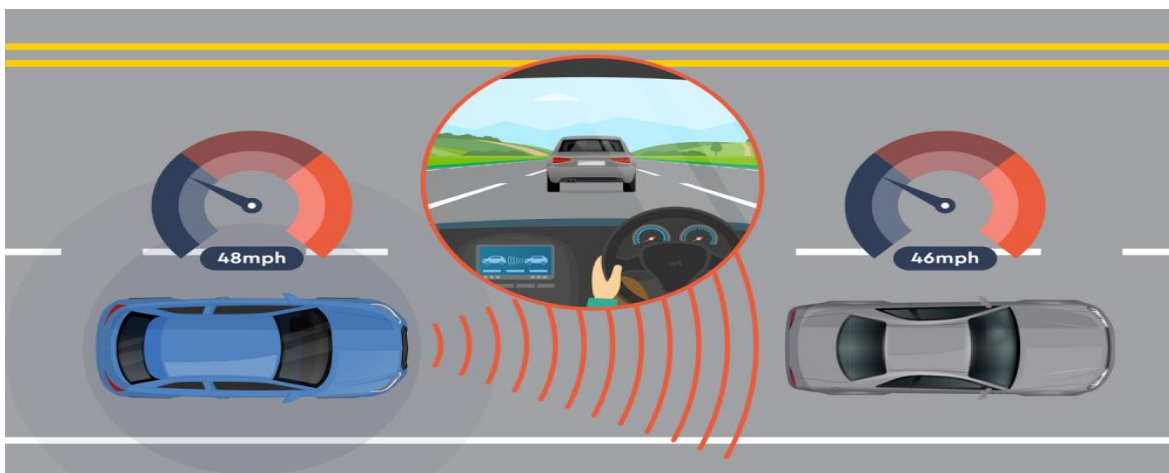
Osnovna svrha kontrole vozila je izvršavanje donesenih odluka iz prethodnih koraka. Obično se prevedene trajektorije pretvaraju u naredbe za upravljače kako bi se održala stabilnost vozila. Bitno je istovremeno paziti na sigurnost i smanjiti utjecaj nepredviđenih situacija, s obzirom na realnost mogućih hardverskih grešaka, mjerenja ili izvedbe. Stoga se kontrolni moduli obično izdvajaju od ostalih funkcija. Slikom 10, prikazana je funkcija održavanja trake koja se fokusira na zadržavanje vozila unutar granica svoje trake, što uključuje održavanje sredine prometne trake. Kamera ima ključnu ulogu u ovom procesu, dok mnoga vozila danas koriste slične mogućnosti upozoravanja vozača kad automobil prelazi izvan svoje trake.



Slika 10. Prikaz detekcije prometne trake i vozila

Izvor: <https://tracey.com/udacity-gallery/2018/3/26/self-driving-car-vehicle-lane-detection>

Prilagodljivi tempomat ACC (engl. Adaptive Cruise Control) funkcioniira na način da automatski prilagođava brzinu vozila kako bi zadržalo sigurnu udaljenost od vozila ispred. Za to koristi kameru i prednje radar senzore prikazane slikom 11.



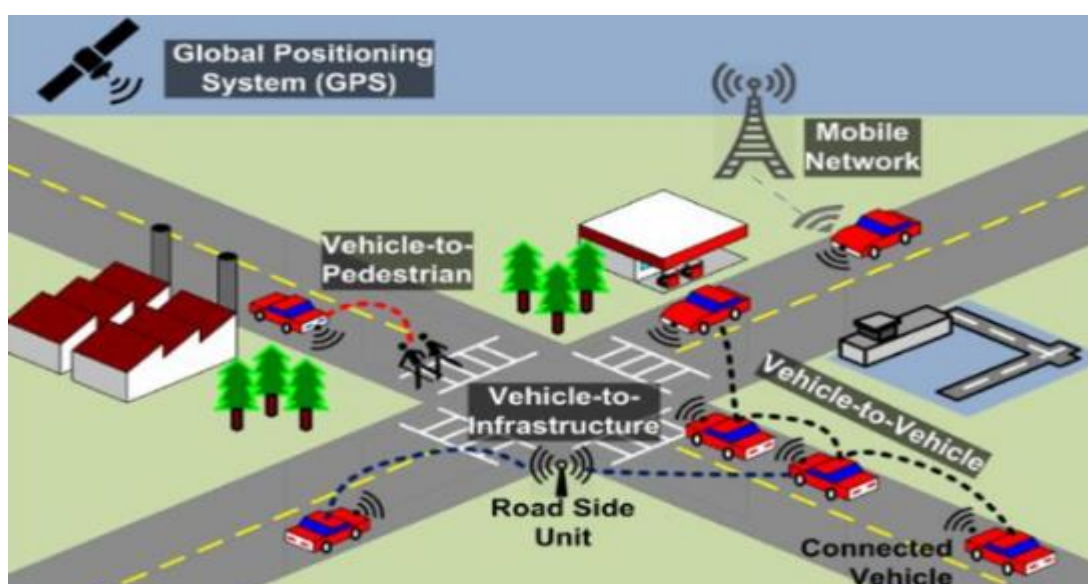
Slika 11. Prilagodljivi tempomat

Izvor: <https://www.thewindscreen.co.uk/adas-guide/adaptive-cruise-control-acc/>

Većinom sustava upravlja se kontrolama na volanu. Također možemo intervenirati u bilo kojem trenutku korištenjem papučice kočnice ili gasa. ACC sustavi omogućuju postavljanje udaljenosti ili vremenskog intervala između Vašeg automobila i automobila ispred. Neki ACC sustavi šalju radarske valove koji se odbijaju od objekata ispred Vašeg automobila. Na temelju radarskog odraza, ACC koristi udaljenost, smjer i relativnu brzinu kako bi otkrio je li automobil unutar udaljenosti koja je postavljena. ACC predviđa putanju Vašeg automobila i zatim odlučuje nalazi li se eko od vozila ispred vas unutar postavljene udaljenosti.

4. V2X KOMUNIKACIJA

„V2X (engl. Vehicle To Everything) označava komunikaciju između vozila i svih entiteta koji mogu utjecati na automobil. To je komunikacijski sustav za vozila koji uključuje specifične vrste komunikacije poput V2I (engl. Vehicle to Infrastructure), V2N (engl. Vehicle to Network), V2V (engl. Vehicle to Vehicle), V2P (engl. Vehicle to Pedestrian) i V2D (engl. Vehicle to Device). Glavni ciljevi V2X tehnologije su povećanje cestovne sigurnosti, prometne učinkovitosti, energetske uštede te bolji nadzor prometa. Slikom 12 prikazana je V2X komunikacija.“⁹



Slika 12. Prikaz V2X komunikacije

Izvor: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Overview-on-V2P-Communication-System%3A-and-Malik-Ramli/3df9415d0fa42388d108dd279d63b14f5bab970d/figure/0>

Postoje dvije vrste V2X komunikacijskih tehnologija - jedna temeljena na WLAN-u, a druga na mobilnoj mreži. WLAN je posebno pogodan za V2X komunikaciju zbog niske latencije. Putem poruka kao što su Cooperative Awareness Messages (CAM) ili Basic Safety Message (BSM) te Decentralized Environmental Notification Messages (DENM), WLAN omogućuje razmjenu informacija. Također, komunikacija putem V2X uključuje poruke o

⁹ Odlomak preuzet iz: Tomaš, Mateo: **VIZUALNE INFORMACIJE I NAPREDNI SUSTAVI POMOĆI VOZAČU**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2022: 10-11.

signalizaciji (SPAT), informacijama o vozilu (IVI) te zahtjevima za servisiranje (SRM). Srednjoročno gledano, V2X se smatra ključnim faktorom u razvoju autonomne vožnje, uz pretpostavku da će moći intervenirati u stvarnom prometu. To bi omogućilo vozilima da se pridruže "konvojima", slično teretnim vozilima. S rastom povezane i autonomne mobilnosti, V2X rasprave postaju ključne, osobito kad je riječ o telekomunikacijskim operacijama za autonomna vozila.

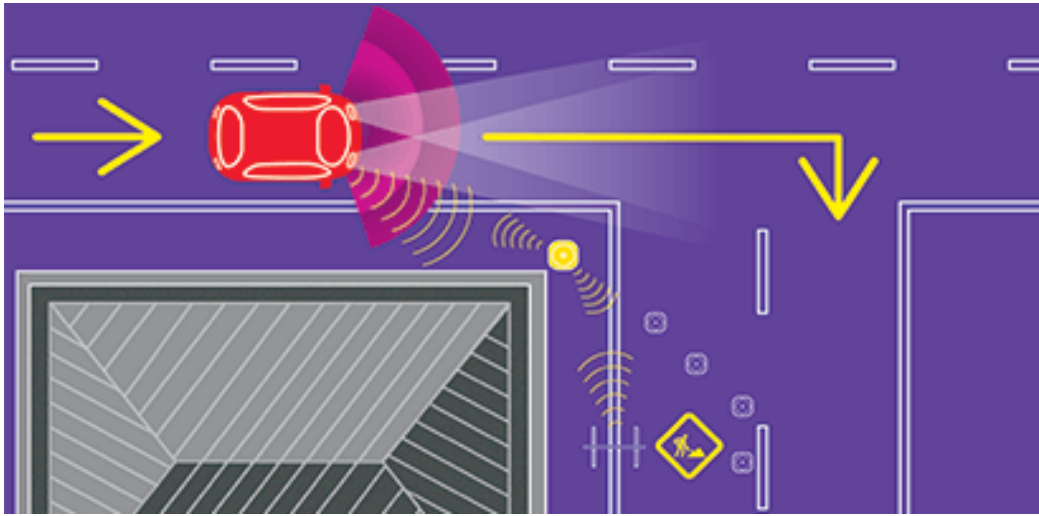
4.1. V2I KOMUNIKACIJA

V2I (engl. Vehicle to Infrastructure) tehnologija, bilježi podatke poput prometnih gužvi, vremenskih uvjeta, stanja mostova te semafora, te ih zatim bežično prenosi kako bi obavijestila vozače o uvjetima koje trebaju imati na umu radi veće sigurnosti. Pametni prometni signali potaknuti V2I tehnologijom pomažu vozačima da bolje razumiju prometne uvjete i procijene točno vrijeme dolaska, time poboljšavajući komunikaciju između vozača i korisnika.

Takve komponente obuhvaćaju visoko postavljene RFID čitače i kamere, semafore, oznake traka, uličnu rasvjetu, prometne znakove i parkirne satove. Komunikacija između vozila i infrastrukture (V2I) uglavnom je bežična i dvosmjerna. Podaci od infrastrukturnih komponenata mogu se prenositi vozilima putem ad hoc mreže i obrnuto. Kao i komunikacija između vozila (V2V), V2I također koristi specifične kratkodometne komunikacijske frekvencije (DSRC) za razmjenu podataka.

“U inteligentnom transportnom sustavu (ITS), V2I senzori bilježe informacije o infrastrukturi i putnicima te pružaju realno-vremenske preporuke vezane uz stanje cesta, gužve, nesreće, radove i dostupnost parkirališta. Također, upravljački sustavi nadzora mogu iskoristiti ove podatke o infrastrukturi i vozilima kako bi prilagodili ograničenja brzine, fazu semafora te vrijeme prometnih signala (SPaT) kako bi se poboljšala efikasnost goriva i protok prometa. Na slici 13. ilustriran je postupak kojim automobil kategorizira i prepoznaje različite vrste prometnih znakova te neophodne informacije sadržane u prometnoj infrastrukturi.”¹⁰

¹⁰ Odlomak preuzet iz: Tomaš, Mateo: **VIZUALNE INFORMACIJE I NAPREDNI SUSTAVI POMOĆI VOZAČU**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2022: 12-13.



Slika 13. Komunikacija automobila i infrastrukture

Izvor: https://www.3m.com.au/3M/en_AU/road-safety-au/resources/road-transportation-safety-center-blog/full-story/~what-is-vehicle-to-infrastructure-v2i-communication-and-why-do-we-need-it/?storyid=c0ee5878-4977-4ee3-8a09-0ed5ff0a5e33

U ravnom modelu duboke neuronske mreže (DNN) namijenjenom za klasifikaciju, trebalo bi unaprijed odrediti sve moguće klase potencijalnih izlaza. Za svaki ulaz, model bi trebao izabrati odgovarajuću klasifikacijsku kategoriju. S obzirom na kompleksnost prometnih znakova diljem svijeta, prilagodba ovakvog modela kako bi precizno obuhvatio sve moguće klase s visokom točnošću i učinkovitošću bila bi izazovna.

4.2. V2V KOMUNIKACIJA

“V2V komunikacija, ili komunikacija između vozila (engl. Vehicle To Vehicle), omogućuje autonomnim vozilima pristup brzinskim i položajnim podacima drugih vozila, koristeći bežični komunikacijski protokol sličan WIFI-ju. Ti podaci se koriste za upozoravanje vozača na moguće opasnosti, čime se smanjuju nesreće i prometne gužve. V2V detektira rizične uvjete na cesti te terenske i vremenske probleme unutar 300 metara raspona. Ova tehnologija čini vožnju predvidljivijom i sigurnijom za sve sudionike u prometu, s komunikacijskim dometom preko 300 metara, omogućujući otkrivanje prijetnji koje su skrivene u prometu, terenu ili vremenskim uvjetima. V2V komunikacija nadopunjuje

trenutne sustave za izbjegavanje sudara koji se oslanjaju na radare i kamere, omogućujući vozačima da ne samo prežive sudar, već ga i potpuno izbjegnu.“¹¹

Vozila različitih vrsta, uključujući automobile, kamione, autobuse i motocikle, imaju potencijal iskoristiti komunikacijsku tehnologiju V2V. Čak i biciklisti i pješaci bi mogli koristiti istu tehnologiju kako bi povećali svoju vidljivost vozačima. Važno je napomenuti da informacije o vozilima ne otkrivaju vozača ili identitet vozila te da postoje kontrole koje sprječavaju praćenje i neovlašten pristup sustavu. Slikom 14 prikazana je povezanost između vozila.



Slika 14. Povezanost između vozila

Izvor: <https://www.gihub.org/infrastructure-technology-use-cases/case-studies/blue-vehicle-to-vehicle-v2v-connectivity/>

“V2V komunikacijska tehnologija ima potencijal unaprijediti efikasnost sigurnosnih sistema vozila te doprinijeti spašavanju života. U 2019. godini, zabilježeno je čak 6,8 milijuna prometnih nesreća, rezultirajući 36,096 smrtnih slučajeva i procijenjenih 2,7 milijuna povrijeđenih osoba.“¹² Tehnologija povezanih vozila će vozačima pružiti alate za predviđanje potencijalnih sudara i značajno smanjenje gubitka života svake godine.

¹¹ Odlomak preuzet iz: : Barać, Ante: **Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021: 37-38.

¹² Odlomak preuzet iz: NHTSA: **Komunikacija vozilo-vozilo**, Washington, 2023.

4.3. V2P KOMUNIKACIJA

V2P (engl. Vehicle To Pedestrian) se odnosi na komunikaciju između vozila i mobilnih uređaja koje koriste pješaci ili biciklisti. Ova mreža omogućuje direktnu interakciju između vozila i pješaka te se primjenjuje i na druge ranjive sudionike u prometu, kao što su biciklisti. Signali se emitiraju kada su pješaci blizu vozila, pružajući vozačima upozorenja o približavanju te obavještavajući same pješake o prisutnosti vozila. Međutim, za stabilnu V2P vezu je nužna pametna cestovna infrastruktura, poput semafora, senzora i kamera. Upozorenja i sigurnosne poruke iz pješačke perspektive sadrže detaljne informacije o vozilu, uključujući brzinu, lokaciju i smjer približavanja. Ove informacije pomažu u detekciji i predviđanju kretanja vozila u datom trenutku. Ovisno o frekvenciji V2P signala, vozila mogu slati do deset upozorenja u sekundi (pri 10 Hz).

“Osim osiguravanja cestovne sigurnosti, svrha veze između vozila i pješaka je olakšati buduću mobilnost na cestama u kontekstu povezanih vozila. Osim smanjenja prometnih gužvi i sprječavanja nesreća, V2P ima pozitivan utjecaj na društvo. To je posebno istinito tijekom postupnog prelaska s tradicionalnog vlasništva nad automobilima na elektrificirani prijevoz. Vozni sustavi imaju zadatak detektirati nepredvidivi promet koji nije pokrenut od strane drugih vozila. Ovaj sustav može upozoriti vozače na potencijalne sudare i mrtve kutove koji bi inače mogli proći nezapaženo. Takva funkcionalnost može se ostvariti putem tehnologija kao što je GPS praćenje voznog parka. Također, bilježi telematske podatke putem nadzornih kamera ili unutarnjih snimača. Također, senzori se mogu ugraditi i u sigurnosne pojaseve kako bi se osiguralo da su svi putnici uvijek pravilno pričvršćeni.“¹³

¹³ Odlomak preuzet iz: Tomaš, Mateo: **VIZUALNE INFORMACIJE I NAPREDNI SUSTAVI POMOĆI VOZAČU**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2022: 13-14.

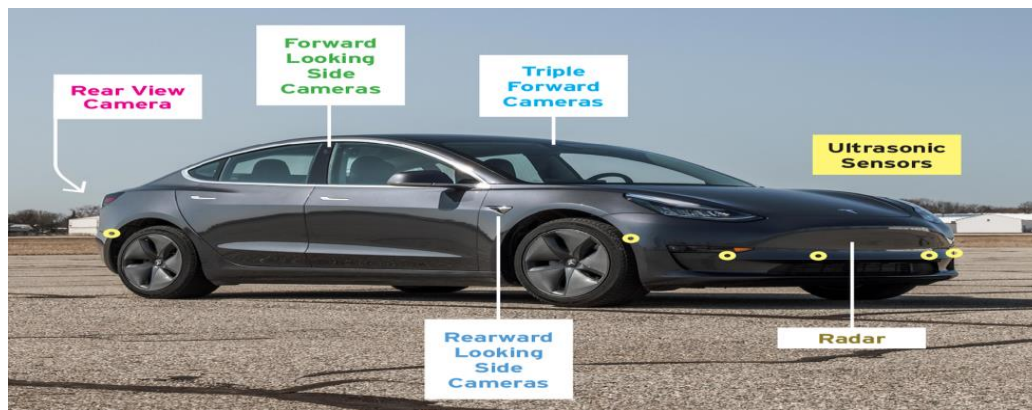
5. PRIMJERI AUTONOMNIH AUTOMOBILA

U potpoglavljima koja slijede pod poglavljem pet opisać će se najbolji primjeri autonomnih pametnih automobila u današnje vrijeme. Navesti će se svi senzori koje pametni automobili koriste te njihov način funkcioniranja prema okolini i infrastrukturi.

5.1. TESLA

Tvrtka Tesla je među najprepoznatljivijima kada se govori o autonomnim vozilima. Njezin autopilot predstavlja napredni sklop tehnologija koji pridonosi sigurnosti i udobnosti vozača. Automobili su opremljeni sa osam vanjskih kamera, dvanaest ultrazvučnih senzora te putničkim računalom koje dodatno pojačava sigurnost. Tesla koristi sustav razine 2 automatizacije, čime se omogućuje vožnja uz zahtjevnu prisutnost vozača.

Svaki novi proizveden Teslin automobil dolazi s osam vanjskih kamera i snažnim sustavom za obradu vizualnih informacija kako bi se pružila dodatna razina sigurnosti korisnicima. Modeli 3 i Y, namijenjeni europskom i Bliskom istočnom tržištu, prebacili su se na Tesla Vision sustav kamera, eliminirajući radar u korist naprednih Teslinih kompleta kamere i neuronske mreže. Ova mreža obrađuje podatke i šalje ih Autopilotu te ostalim povezanim funkcijama. Svaki novi Teslin automobil sadrži osnovnu opremu Autopilota. Vlasnici koji su primili vozila bez ugrađenog Autopilota mogu, ovisno o proizvodnom datumu vozila, kupiti dva različita paketa Autopilota: unaprijeđeni Autopilot i potpuno autonomna mogućnost vožnje. Slikom 15 prikazan je Teslin 3 model automobila sa opremljenim kamerama, ultrazvučnim sensorima i RADAR-om.



Slika 15. Prikaz Teslinog 3 modela automobila

Izvor: <https://teslamotorsclub.com/tmc/threads/sensor-locations.209190/>

“Teslin autopilot uključuje funkciju adaptivnog tempomata (engl. Traffic-Aware Cruise Control) koji prilagođava brzinu vozila prema uvjetima prometa i stanju ceste. Također sadrži autonomno upravljanje (nazvano Autosteer) koje samostalno navigira unutar jasno označenih prometnih traka. Autopilot obuhvaća navigacijski sustav koji sugerira promjenu trake, aktivira pokazivače smjera i izvodi ispravne izlaze. Dodatno, omogućava automatsku promjenu trake (engl. Auto Lane Change) koja olakšava prelazak na susjednu traku na autocesti, kao i automatsko parkiranje (engl. Autopark) za bočno ili okomito parkiranje vozila. Nadalje, implementira i kontrolu prometnih znakova i semafora (Traffic and Stop Sign Control) koja prepoznaje znakove zaustavljanja i semafore te automatski usporava automobil kad se približava njima.“¹⁴

Prilikom korištenja autopilota, vozači su dužni biti pažljivi i neprestano držati ruke na volanu te zadržati kontrolu nad automobilom. Zadane postavke onemogućuju brojne autopilotske funkcije poput automatskog upravljanja, navigacije i summona. Kako bismo ih aktivirali, vozač mora posjetiti komandu autopilota unutar postavki te ih tamo omogućiti. Prije nego što se autopilot aktivira, vozač treba potvrditi svoju spremnost da uvijek drži ruke na volanu, održava kontrolu nad automobilom te preuzima odgovornost za njegovo upravljanje. Nakon toga, svaki put kad se autopilot uključi, vozač će dobiti vizualni podsjetnik da i dalje drži ruke na volanu.

Početna funkcija "Summon" namijenjena je olakšavanju samostalnog vođenja automobila do željene lokacije, uz mogućnost izbjegavanja prepreka i zaustavljanja pod

¹⁴ Odlomak preuzet iz: TESLA: **Autopilot i mogućnost potpuno samostalne vožnje**, Palo Alto, 2023.

našim nadzorom. Slično, "Smart Summon" je osmišljen za korištenje isključivo na privatnim parkiralištima i prilazima. Važno je napomenuti da vozač i dalje snosi odgovornost za automobil, te treba neprestano prateći okolinu i zadržavajući ga u vidnom polju, s obzirom na mogućnost neprepoznavanja svih prepreka.

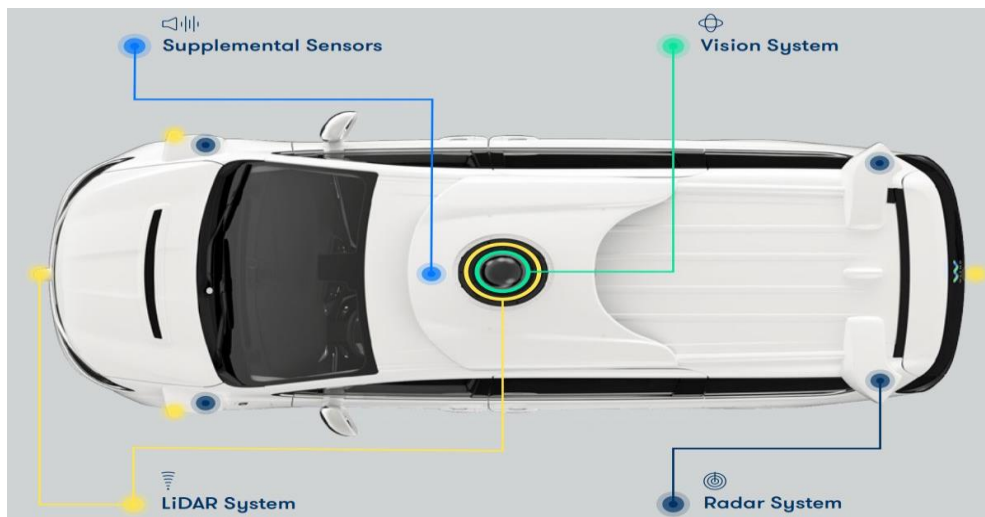
5.2. WAYMO

Waymo LLC, nekad poznat kao Google Self-Driving Car Project, je američka tehnološka tvrtka za autonomnu vožnju sa sjedištem u Mountain Viewu, Kalifornija. To je dio Alphabet Inc., matične kompanije Googlea. Waymo pruža komercijalne usluge autonomnih taksija u Phoenixu, Arizoni i San Franciscu. U listopadu 2020., tvrtka je proširila svoju uslugu javnosti i tada je bila jedina komercijalna usluga samovozećih vozila koja je radila bez pomoćnih sigurnosnih vozača. Osim toga, Waymo razvija tehnologiju autonomne vožnje za primjenu u drugim vozilima, uključujući i dostavna vozila. Tvrtka surađuje s različitim proizvođačima vozila kako bi integrirala svoju tehnologiju, uključujući Mercedes-Benz Group AG, Nissan, Renault, Jaguar, Land Rover, Volvo i Geely.

Waymo je razvio i koristi gore navedene senzore kao što su LIDAR, RADAR, kamera, IMU, GPS i dodatne senzore poput sustava za detekciju zvuka.

“Sustav detektira predmete na cesti i procjenjuje njihovu brzinu i smjer kretanja. Prepoznaje pješake, bicikliste, vozila i druge elemente. Također, ima svijest o okolini kao što su gradilišta ili zatvorene ceste. Ako se približava blokiranoj cesti s drugim objektom u pokretu ispred sebe, automobil će usporiti te stvoriti prostor ako predvidi da će objekt preći u susjednu traku. Waymo Driver je prošao više od 30 milijuna kilometara testne vožnje na javnim cestama, što je rezultiralo u modelu visoke preciznosti za predviđanje ponašanja objekata u prometu.”¹⁵ Slikom 16 prikazan je Waymo automobil sa svim svojim sensorima.

¹⁵ Odlomak preuzet iz: WAYMO LLC: **Waymo Driver**, Mountain View, 2023.



Slika 16. Waymo Driver senzori

Izvor: <http://image-sensors-world.blogspot.com/2017/10/waymo-self-driving-car-relies-on-5.html>

Waymo Driver predstavlja inkarnaciju potpuno autonomne tehnologije koja neprestano upravlja vožnjom od polaska do cilja. Putnici čak ne moraju imati vozačke vještine, već se udobno smještaju na stražnjem sjedalu, opuštaju i uživaju u vožnji dok ih Waymo Driver sigurno vodi do željenog odredišta.

Prije nego što Waymo Driver započne operaciju u novom području, prvo se stvara precizno mapiranje teritorija, obuhvaćajući širok spektar detalja, uključujući oznake prometnih traka, znakove za zaustavljanje te pješačke prijelaze. Umjesto isključive ovisnosti o vanjskim podacima poput GPS-a koji može izgubiti signal, Waymo Driver koristi te izuzetno detaljne prilagođene karte usklađene sa stvarnim vremenskim senzorskim podacima kako bi precizno odredio svoju poziciju na cesti u svakom trenutku.

U vožnji, susrećemo raznolike objekte sa svojim jedinstvenim ponašanjem. Waymo Driver koristi stvarno vremenske informacije i više od 20 milijuna stvarnih te 20 milijardi simuliranih kilometara kako bi predvidio postupke drugih u prometu. Prepoznaje razlike u ponašanju vozila, biciklista i pješaka te unaprijed procjenjuje njihove potencijalne puteve. Pomoću detaljnih karata i informacija o okolini, Waymo Driver planira najbolju rutu i radnje za sigurnu vožnju.

5.3. MERCEDES-BENZ DRIVE PILOT

Mercedes-Benz je 9. lipnja 2023. godine objavio da je njegov vodeći u klasi DRIVE PILOT sustav za uvjetno automatiziranu vožnju SAE razine 3 dobio certifikat od državnih tijela Kalifornije. Ovom značajnom prekretnicom Mercedes-Benz je prvi proizvođač automobila s ovlaštenjem za uvođenje takvog sustava SAE razine 3 automatizacije u standardni proizvodni automobil za korištenje na javnim autocestama u najmnogoljudnijoj saveznoj državi SAD-a.

„Država Nevada već je potvrdila usklađenost sustava s državnim propisima u siječnju 2023., a Mercedes-Benz ima ambiciju dodatno proširiti dostupnost ovog revolucionarnog sustava na dodatna tržišta u budućnosti.“¹⁶

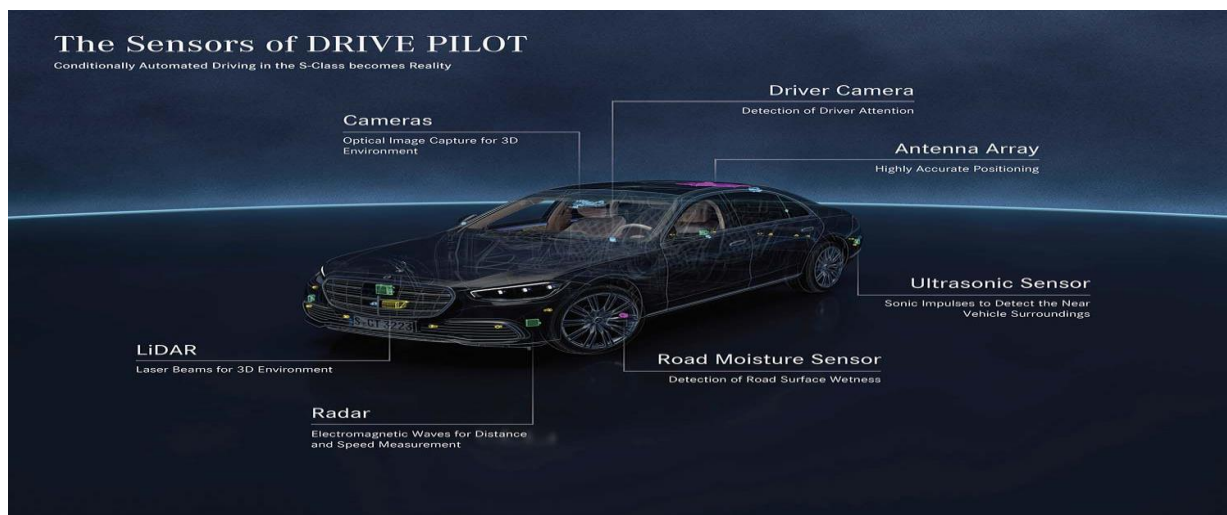
“Tijekom uvjetno automatiziranog putovanja, DRIVE PILOT omogućava vozaču da preusmjeri pažnju s vožnje i posveti se određenim sekundarnim aktivnostima. Kada je DRIVE PILOT uključen, aplikacije koje su obično blokirane tokom vožnje mogu se koristiti na integriranom centralnom ekranu vozila. Na odgovarajućim dijelovima autoputa i u područjima gužve, DRIVE PILOT može preuzeti kontrolu nad dinamičnom vožnjom, do brzine od 40 km/h. Kontrolne tipke za to su smještene na upravljaču, sa lijeve i desne strane udubljenja za palce. Kada su ispunjeni odgovarajući uvjeti, sistem označava dostupnost na tim tipkama. Aktiviranjem DRIVE PILOT-a, vozač prepušta sistem kontroli brzine i razmaka te automobil lako održava unutar svoje trake. Profil rute, dešavanja na putu i prometni znakovi se adekvatno uzimaju u obzir. Sistem također reagira na neočekivane prometne situacije i samostalno ih rješava putem izbjegavanja manevra unutar prometne trake ili kočenjem, na primjer.“¹⁷

Ukoliko vozač ne može vratiti kontrolu nad automobilom ni nakon povećanog upozorenja i isteka vremena za reakciju (na primjer, zbog ozbiljnog zdravstvenog problema), sustav postupno smanjuje brzinu vozila i aktivira pokazivače smjera kako bi ga sigurno zaustavio. Nakon zaustavljanja, Mercedes-Benz-ov sistem za hitne pozive se aktivira i vrata

¹⁶ Ćosić, K.: **BEZ RUKU I BEZ OČIJU: Mercedes-Benz prvi prodaje samovozeća vozila razine 3**, 11.06.2023. <https://smartlife.story.hr/e-Zivot/Pametna-mobilnost/a15003/BEZ-RUKU-I-BEZ-OCIJU-Mercedes-Benz-prvi-prodaje-samovozeca-vozila-razine-3.html> (18.8.2023.)

¹⁷ Odlomak preuzet iz: Mercedes-Benz Group AG: **DRIVE PILOT: SAE Level 3 sustav za uvjetno automatiziranu vožnju**, Stuttgart, 2023.

se otključavaju kako bi olakšali pristup hitnim službama. Slikom 17 prikazan je Mercedes-Benzov S koji koristi sustave DRIVE PILOT-a.



Slika 17. Prikaz Mercedes-Benz S klase

Izvor: <https://www.theverge.com/2023/1/27/23572942/mercedes-drive-pilot-level-3-approved-nevada>

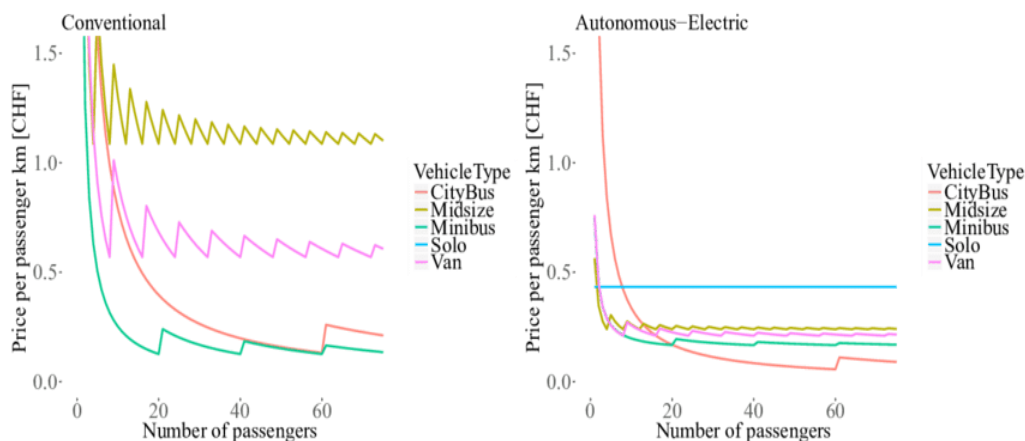
Glavni prioritet za Mercedes-Benz pri uvođenju bilo kojeg takvog sustava je sigurnost, što uključuje visoke zahtjeve u pogledu operativne pouzdanosti. DRIVE PILOT temelji se na surround sensorima paketa pomoći vozaču i uključuje dodatne senzore koje Mercedes-Benz smatra neophodnima za sigurnu uvjetno automatiziranu vožnju. To uključuje LiDAR, kao i kameru na stražnjem staklu i mikrofone za otkrivanje hitnih vozila, kao i senzor vlažnosti ceste u prostoru kotača. Automobil opremljen opcijским sustavom DRIVE PILOT također ima redundantne upravljačke i kočione aktuatore i redundantni ugrađeni električni sustav, tako da ostaje upravljivo čak i ako jedan od ovih sustava otkáže i može se osigurati sigurna primopredaja vozaču.

6. PREDNOSTI I MANE AUTONOMNIH AUTOMOBILA

Autonomni automobili imaju niz prednosti u usporedbi s konvencionalnim načinima prijevoza. Produktivnost se povećava, stres kod vozača smanjuje, a troškovi taksija značajno padaju. Sigurnost se također pojačava jer potpuno funkcionalni autonomni automobil eliminira pogreške vozača, čime se smanjuje rizik od sudara i pripadajući troškovi osiguranja. Napredni sustavi automatizacije, poznati kao automatizirani sustavi vožnje, isključuju ljudske vozače iz lanca događaja koji mogu uzrokovati nesreće. Iako se potpuna društvena korist automatiziranih sustava vožnje teško može predvidjeti, njihov transformativni potencijal prepoznat je.

Automobilska industrija se kreće prema većoj automatizaciji i elektrifikaciji, obećavajući dodatna poboljšanja u sigurnosti i ekološkoj zaštiti. Automatizacija vozila može dovesti do promjena u potrebi za individualiziranim parkirnim prostorima i parkiralištima, s povećanim korištenjem automatiziranog dijeljenja vožnje i voznog parka, što bi moglo značajno izmijeniti iskorištavanje zemljišta. Istodobno, elektrifikacija vozila otvara prilike za unaprjeđenje učinkovitosti uz smanjenje osobnih vožnji, što rezultira daljnjim smanjenjem onečišćenja zraka iz prometnog sektora.

Na slici 18. se uspoređuju brojevi putnika u tradicionalnom i autonomnom/električnom prijevozu. Jasno je da tehnologije električnog pogona i autonomnog upravljanja značajno smanjuju troškove u svim scenarijima. Najveće uštede primjećuju se kod dijeljenih vozila srednje veličine, gdje cijena po putničkom kilometru pada za 78%. Autonomna vozila su najisplativija za nisku potražnju, dok bi za relacije izvor-odredište s prosječno dvoje putnika, srednji automobil već bio efikasniji.



Slika 18. Cijene po putničkom kilometru u odnosu na broj putnika

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Prices-per-passenger-km-versus-number-of-passengers_fig2_320576775

U svijetu je do sada provedeno mnogo istraživanja o autonomnim vozilima. Međutim, većina ljudi još uvijek nije dovoljno upoznata s konceptom autonomnosti i tehnologijom koja je iza nje. Istraživanja i ankete pokazuju da ljudi izražavaju zabrinutost zbog kvarova u sustavu, opreme te potpuno autonomne vožnje. Također, postoji zabrinutost oko prijevoza bez vozača i različitih posljedica toga. Autonomna vozila nose nekoliko nedostataka u usporedbi s tradicionalnim vozilima, uključujući veće troškove, potrebu za dodatnom opremom, uslugama i naknadama te povezane rizike za korisnike. Postoji i briga oko privatnosti i sigurnosti zbog praćenja lokacija i dijeljenja podataka. Također, očekuje se povećanje prometa i infrastrukturnih troškova, te smanjenje broja poslova u sektoru prijevoza.

Ako pravne sankcije ne obuhvaćaju sustave umjetne inteligencije i njihove kreatora (ljude ili kompanije), zabrinutost oko korištenja autonomnih vozila vođenih umjetnom inteligencijom na cestama (strah od pravne odgovornosti) znatno bi se umanjila, posebno kod proizvođača. Međutim, vjerojatno bi žrtve i njihove obitelji teško prihvatile ovu tezu da nitko nije kriv. Stoga je nužno pažljivo razmotriti način na koji bi obje strane mogle biti manje protiv upotrebe autonomnih vozila. Drugim riječima, ključno je razmotriti kako postići društvenu prihvatljivost vozila koja se kreću autonomno.

Kako bi se olakšalo ovo pitanje i velika moralna dilema, potrebno je jasno definirati zakonske regulative i propise za situacije poput navedene. Postoje dvije moguće opcije koje bi AI algoritam mogao odabrati. Prva opcija je usredotočiti se na spašavanje putnika kao

prioritet, dok druga opcija podrazumijeva izbor s najmanjim utjecajem na ljude ili vozila u neizbježnim sudarima. Na primjeru, drugi algoritam bi odabrao sudar s pješakom. Ako se ovakav izbor smatra nepravednim ili neetičkim, moguće su izmjene uz sudjelovanje javnog etičkog povjerenstva i demokratskog procesa. Do 2050., autonomna vozila će smanjiti prometnu gužvu za 30%, smanjiti troškove prijevoza za 40%, poboljšati prohodnost te osloboditi parkirališta za druge namjene poput škola i parkova. Također će znatno smanjiti emisije CO₂ i postaviti izazove u masovnoj primjeni i infrastrukturi za autonomna vozila. Ključno pitanje je hoće li ljudi i dalje posjedovati vlastita vozila ili će ih jednostavno unajmljivati prema potrebi.

Jedna od potencijalnih mana pametnih automobila je mogućnost hakiranja. Da bi pametni automobili koordinirali jedni s drugima, morali bi dijeliti isti mrežni protokol. Međutim, ako velik broj pametnih automobila dijeli istu mrežu, bili bi osjetljiviji na hakiranje. Oni koji za život ovise o vožnji mogli bi smatrati da je njihova karijera zastarjela uvođenjem samovozećih automobila. Oni u industriji kamiona, vozači autobusa, taksisti, svi će morati pronaći novo zaposlenje. Dostava brze hrane i vozači Ubera također bi bili zamijenjeni automatiziranim automobilima.

Još jedan od nedostataka samovozećih automobila je njihov nedostatak sposobnosti prosuđivanja između višestrukih nepovoljnih ishoda. Na primjer, što ako se samovozeći automobil mora suočiti sa situacijom sa samo dvije moguće opcije: skrenuti ulijevo i udariti pješaka ili skrenuti udesno i udariti u ogradu ili drvo pritom potencijalno ozlijediti putnike u vašem vozilu. S obzirom da su obje opcije nepoželjne, ne znamo koju bi opciju izabrao pametni automobil. Moralni stroj, koji je razvila grupa na MIT-u, nastoji riješiti ovaj problem prikupljanjem podataka o odlukama ljudi u stvarnom životu. Međutim, prikupljeni podaci pokazuju velike razlike među različitim skupinama ljudi, što otežava programiranje bilo kakvog konačnog odgovora za autonomne automobile. Pogreška stroja mora se uzeti u obzir kada se ispituju prednosti i mane automobila bez vozača. Iako se većina slaže da će samovozeći automobili vjerojatno spriječiti više nesreća, to ne eliminira u potpunosti rizik od nesreća uzrokovan greškom stroja. Nadalje, ako softver ili bilo koji dio vozila zakaže, autonomno vozilo moglo bi dovesti vozača u veću opasnost nego da vozač osobno preuzme kontrolu nad vozilom.

6.1. STATISTIKA AUTONOMNIH AUTOMOBILA

“Samovozeći automobili postaju sve popularniji i imaju potencijal revolucionirati prijevoz. Sa svojom sposobnošću da smanje ljudsku pogrešku, povećavaju učinkovitost goriva i spašavanja života, nije ni čudo da dobivaju popularnost u automobilskoj industriji. 94% automobilskih nesreća u svijetu uzrokovano je ljudskom greškom. Do 2030. godine se očekuje da će tržište samovozećih automobila vrijediti 536,6 milijardi dolara. Ova statistika dokaz je potencijala tržišta samovozećih automobila, pokazujući da će ono postati glavni igrač u globalnom gospodarstvu do 2030. To je jasan pokazatelj da tehnologija brzo napreduje i da je industrija spremna postati glavni izvor gospodarskog rasta u bliskoj budućnosti. Ovo je važna statistika koju treba uzeti u obzir kada se raspravlja o utjecaju samovozećih automobila na gospodarstvo i društvo u cjelini.“¹⁸

Tehnologija autonomnih vozila uštedjet će 234 milijarde dolara u SAD-u do 2030.godine zbog smanjenja broja nesreća. Predviđa se da će se učinkovitost goriva samovozećih automobila povećati za 10-20%. Ova statistika mijenja pravila igre za industriju samovozećih automobila, jer pokazuje da će ova vozila moći putovati dalje s istom količinom goriva, što ih čini isplativijima i ekološki prihvatljivijima. To bi mogao biti glavni čimbenik u prihvaćanju samovozećih automobila, jer bi ih moglo učiniti privlačnijim potencijalnim kupcima.

“Do 2045. godine otprilike 60% svih automobila u SAD-u bit će potpuno autonomno. Ova statistika moćan je pokazatelj potencijalnog utjecaja samoupravnih automobila na američku automobilsku industriju. Do 2045. većina će automobila na cestama biti potpuno autonomna, što predstavlja seizmičku promjenu u načinu na koji se ljudi kreću. Ova statistika jasan je znak da su samovozeći automobili tu da ostanu i da će imati veliki utjecaj na način na koji putujemo u budućnosti.

Od 2021. godine 80 tvrtki testiralo je približno 1400 samovozećih automobila , kamiona i drugih vozila u 36 država. Ali u siječnju 2023. Mercedes-Benz je postao prvi američki proizvođač automobila koji je dobio odobrenje vlade za značajku vožnje 3. razine automatizacije u Nevadi.“¹⁹

¹⁸ Odlomak preuzet iz: GITNUX: **Statistika i trendovi samovozećih automobila u 2023.**

¹⁹ Odlomak preuzet iz: GITNUX: **Statistika i trendovi samovozećih automobila u 2023.**

6.2. SIGURNOST AUTONOMNIH AUTOMOBILA

U proteklim godinama, napredna tehnologija je temeljito promijenila način na koji se nosimo s tradicionalnim aspektima osiguranja sigurnosti u vozilima. Od primjene sigurnosnih pojaseva do uvođenja zračnih jastuka, ostvarili smo značajan napredak u osiguravanju bezbjednosti na cestama. Međutim, uvijek postoji prostor za daljnji razvoj, a tu dolazi do izražaja suvremena tehnologija. Tokom proteklih godina, napredak tehnologije temeljito je transformirao način na koji se suočavamo s tradicionalnim aspektima osiguranja sigurnosti u vozilima. Od implementacije sigurnosnih pojaseva do lansiranja zračnih jastuka, ostvarili smo značajne korake naprijed u osiguravanju bezbjednosti na putevima. Međutim, uvijek postoji prostor za daljnji napredak, a tu stupa na scenu suvremena tehnologija.

Moderni tehnološki napreci su riješili dugogodišnji problem krađe automobila. Ova pojava ne samo da dovodi do finansijskih gubitaka vlasnika, već može biti iznimno rizična ako lopov upotrijebi ukradeni automobil za nezakonite radnje. Srećom, sada postoje raznovrsni protuprovalni uređaji koji se mogu instalirati u vozila, što značajno otežava pokušaje krađe.

Autonomni automobili su opremljeni sofisticiranim senzorima i tehnologijama koje im omogućuju identifikaciju i izbjegavanje mogućih sudara. Ova mogućnost ima potencijal da značajno smanji incidente izazvane ljudskim greškama.

Suvremena vozila ostvarila su značajan napredak u smanjenju ispuštanja emisija i povećanju učinkovitosti potrošnje goriva. Električni automobili postaju sve popularniji zbog svoje nulte emisije štetnih plinova. Autonomna vozila imaju potencijal unaprijediti učinkovitost i praktičnost putovanja. Ona su sposobna samostalno voziti, eliminirajući potrebu za vozačem u prometu i traženju parkirnih mjesta. Iako je početni trošak autonomnih vozila visok, imaju potencijal smanjiti ukupne troškove prijevoza. Efikasniji su u potrošnji goriva od konvencionalnih vozila te bi mogli smanjiti potrebu za posjedovanjem vlastitog automobila jer se ljudi sve više okreću dijeljenom prijevozu. Autonomna vozila mogu poboljšati pristup osobama s invaliditetom i starijim osobama kojima bi vožnja mogla predstavljati izazov. Samoupravljajući automobili mogli bi im pružiti veću neovisnost i mobilnost.

Napredak u transportnoj industriji dolazi kroz razvoj autonomnih vozila, što ima potencijal da značajno unaprijedi sigurnost na cestama i smanji gužve. No, s novim tehnologijama dolaze i sigurnosni izazovi. Autonomna vozila se suočavaju s jedinstvenim sigurnosnim pitanjima koja je potrebno riješiti prije opsežne implementacije. Jedan od ključnih izazova jest mogućnost softverskih problema jer ova vozila ovise isključivo o sensorima i algoritmima. Pogreške u kodu ili kvarovi u hardveru mogu izazvati nesreće, pa je ključno temeljito testiranje i redovito ažuriranje softvera. Kibernetički napadi predstavljaju drugi veliki rizik za autonomna vozila. S obzirom na povezanost s internetom, vozila su podložna hakiranju, što bi omogućilo preuzimanje kontrole i izazivanje nesreća. Kako bi se spriječili takvi napadi, važno je osigurati snažne mjere kibernetičke sigurnosti. Također, autonomna vozila trebaju se nositi s različitim izazovnim situacijama poput nepredvidivih vremenskih uvjeta i prometnih gužvi. Ključno je da vozila budu opremljena naprednim sensorima i algoritmima kako bi prepoznala i reagirala na potencijalne opasnosti u tim složenim scenarijima.

U zaključku, napredak u domeni autonomnih vozila predstavlja uzbudljiv korak naprijed u transportnoj industriji. Međutim, neophodno je suočiti se s izazovima vezanim za sigurnost koje ovo donosi. Ključno je temeljito ispitati i redovito ažurirati softver, zaštititi vozila od potencijalnih cyber napada, opremiti ih naprednim sensorima i algoritmima te educirati vozače o sigurnom međudjelovanju s autonomnim vozilima. Kroz rješavanje ovih sigurnosnih pitanja, možemo osigurati da autonomna vozila postanu siguran i efikasan način prijevoza.

7. ZAKLJUČAK

Pametna vozila, poznata i kao autonomni automobili ili automobili bez vozača, otkrivaju složene tehnologije koje omogućuju tim vozilima da se kreću i donose odluke bez ljudske intervencije. Ključna komponenta ovih vozila su senzori koji obuhvaćaju kamere, infracrvene senzore, LIDAR i RADAR tehnologije, magnetske senzore te računalni vid, omogućujući precizno detektiranje okoline i interpretaciju informacija. Odluke u vezi upravljanja, brzine i kočenja donose se kroz algoritme upravljanja, pri čemu je najizazovniji aspekt autonomne vožnje donošenje složenih odluka u različitim voznim situacijama. Aktuatori, strojni algoritmi, sustavi strojnog učenja te moćni procesori omogućuju izvršenje softverskih zadataka. Senzori prikupljaju podatke koje analizira upravljačka jedinica, donoseći odluke i šaljući upute aktuatorima za upravljanje vozilom. Na razini 0, vozila nemaju automatizirane značajke, već vozač koristi pomoćne sustave. Razina 1 označava vozila s osnovnim sustavom pomoći pri vožnji, dok vozač još uvijek aktivno upravlja. Djelomična automatizacija razine 2 donosi napredne sustave za pomoć u vožnji uz mogućnost prenošenja dijela kontrole vozilu. Razina 3 predstavlja uvjetnu automatizaciju gdje vozač ne mora stalno nadzirati vozilo, ali treba biti spreman preuzeti kontrolu u nuždi. Sve te razine ukazuju na postupni prijelaz prema autonomnoj vožnji, gdje tehnologija preuzima sve više zadaća, no vozačeva prisutnost i uloga i dalje ostaju važne. Razlika između autonomnih sustava razine 3 i razine 4 leži u sposobnosti sustava da intervenira u slučaju kvara, bez obavezne prisutnosti vozača. Razine 5, najviša razina autonomije prema SAE klasifikaciji, pružaju potpunu neovisnost o ljudskoj intervenciji, omogućujući vozilima da samostalno upravljaju bez obzira na uvjete vožnje ili stanje ceste. Odsutnost upravljača i pedala u vozilima razine 5 osigurava mogućnost obavljanja različitih aktivnosti dok se putuje. Ove tehnologije ne samo da mijenjaju način putovanja, već i otvaraju vrata potpuno novim konceptima mobilnosti. Korištenje senzora i naprednih algoritama umjetne inteligencije omogućuje tim vozilima da efikasno planiraju i sigurno putuju. Ključna prednost autonomnih vozila leži u činjenici da su oslobođena fizičkih ograničenja poput umora i smanjenog vremena reakcije, što im omogućuje brzu i preciznu reakciju u prometnim situacijama. Iako ljudi imaju bogatije kognitivne sposobnosti za tumačenje vizualnih informacija, autonomna vozila pružaju dosljednu percepciju bez obzira na uvjete kao što su loše vrijeme ili zdravstveni problemi. Sveukupno gledano, razvoj autonomnih vozila predstavlja inovativan korak prema sigurnijoj i učinkovitijoj budućnosti prometa.

ECU (Engine Control Unit) predstavlja ključni komponentu u vozilima koja obavlja funkciju kontroliranja različitih aspekata motora. Ovo kontrolno računalo upravlja važnim parametrima poput ubrizgavanja goriva, paljenja, isparavanja i zraka. Senzori šalju kontinuirane podatke o radu motora, omogućavajući ECU-u da prilagodi svoje postavke i optimizira performanse vozila. ECU koristi različite vrste memorija, uključujući ROM za trajno pohranjene informacije, RAM za dinamičko ažuriranje i pohranu privremenih podataka te PROM s tvornički programiranim uputama za kalibraciju. Ova tehnologija omogućava sofisticiranu kontrolu i optimizaciju motora, pružajući sigurniju i efikasniju vožnju. Primjena računalnog vida u autonomnim vozilima značajno unapređuje funkcionalnost i sigurnost ovih vozila. Kroz neprestano prikupljanje i analizu vizualnih podataka, autonomni automobili stvaraju 3D karte okoline koje omogućavaju precizno prepoznavanje prepreka i odabir optimalnih ruta. Ovaj pristup također omogućava predviđanje potencijalnih nesreća te trenutačnu aktivaciju sigurnosnih sustava. Kombinacija ovih faktora podiže razinu pouzdanosti i sigurnosti autonomnih vozila na višu razinu, čime se otvara put prema budućnosti samostalne i bezbjedne vožnje. Tehnologija naprednih sustava pomoći vozaču (ADAS) značajno unapređuje sigurnost u vožnji kroz svoju sposobnost prepoznavanja potencijalno opasnih situacija na cesti i pravovremenog reagiranja radi zaštite putnika i drugih sudionika u prometu. Ova rješenja prikupljaju podatke iz okoline te primjenjuju različite značajke kao što su upozorenja za napuštanje prometne trake, prednji sudar ili sudar s pješacima, te čak automatsko kočenje u hitnim situacijama. Sve ove funkcije zajedno stvaraju složen i sveobuhvatan sustav koji doprinosi smanjenju rizika od nesreća na cestama, čime se ostvaruje viši nivo sigurnosti u prometu. Planiranje rute autonomnih automobila sve je lakše dok efikasno planiranje u kontekstu upravljanja pokretnim objektima predstavlja ključni izazov, zahtijevajući sposobnost predviđanja ponašanja drugih sudionika u prometu. Korištenje prediktivnog pristupa uz funkciju troška, kao što je PCB, omogućava generiranje raznovrsnih potencijalnih putanja uzimajući u obzir interakcije s okolnim vozilima. Na temelju evaluacije ukupnih faktora poput udobnosti, sigurnosti i ekonomičnosti, donosi se optimalna odluka koja rezultira precizno definiranim kontrolnim naredbama. Ključno je osigurati da odabrano ponašanje bude transformirano u dinamički izvodivu putanju, koja osigurava udobnost putnika i izbjegava prepreke. Sveukupno, proces planiranja mora usklađivati najkraću putanju bez zastoja s kontinuiranim nizom pokreta kako bi se osigurala fluidna vožnja i optimalno reagiranje na promjenjive uvjete u okruženju. Najbolji primjer kontrole autonomnih automobila je ACC koji omogućuje vozačima da kontroliraju udaljenost i brzinu u odnosu na vozila ispred uz pomoć

kontrola na volanu, papučice kočnice ili gasa. Sustav koristi radarske valove za očitavanje objekata ispred vozila te na temelju tih podataka prilagođava brzinu i putanju automobila. ACC tako pridonosi povećanju sigurnosti i udobnosti vožnje, automatski prilagođavajući brzinu i udaljenost prema prometu. S razvitkom senzora razvile su se i nove vrste komunikacije između pametnih automobila i njihove okoline. V2X komunikacija predstavlja inovativni komunikacijski okvir koji omogućava interakciju između vozila i različitih elemenata okoline koji mogu utjecati na vožnju. Ovaj sustav obuhvaća razne varijante komunikacije, uključujući V2I (Vehicle to Infrastructure), V2N (Vehicle to Network), V2V (Vehicle to Vehicle), V2P (Vehicle to Pedestrian) i V2D (Vehicle to Device), sa ciljem unapređenja sigurnosti cestovnog prometa, optimizacije prometne protočnosti, smanjenja potrošnje energije te efikasnijeg upravljanja prometnim tokovima. Među poznatijim i razvijenijim pametnim automobilima je Teslin sustav autonomne vožnje, autopilot, koji je spomenut u tekstu. Kamere na Teslinim automobilima neprestano bilježe okoliš, prepoznaju prometne trake, znakove, zgrade i objekte. Te slike se pretvaraju u specifičan kod koji softver koristi za održavanje smjera vožnje. No, kamere same po sebi nisu dovoljne, stoga se koriste i radari koji virtualno "vide" sve u svom polju djelovanja putem laserskih snopova, omogućujući percepciju koja je izvan sposobnosti ljudskog oka. Potpuna funkcionalnost autonomnog sustava zahtijeva povezanost s internetom i satelitskom mrežom. GPS sustav je dovoljno precizan da odredi položaj objekta bilo gdje te putem navigacije unutar vozila omogući automatsko usmjeravanje od točke A do točke B. Mercedes-Benz S klasa savršen je primjer budućnosti pametnih automobila. Njegov DRIVE PILOT omogućuje vozaču da skrene misli s prometa i usredotoči se na određene sekundarne aktivnosti. Primjerice kada vozač aktivira DRIVE PILOT, sustav kontrolira brzinu i udaljenost te bez napora vodi automobil unutar svoje trake. Postoje i drugi načini za definiranje i mapiranje okoline putem skeniranja i kodiranja. Glavna korist autonomnih automobila bila bi smanjenje broja prometnih nesreća koje redovno oduzimaju ljudske živote. Druga značajna prednost bila bi pristup vozilima osobama s invaliditetom, čime bi svima omogućili vožnju. Što se tiče puteva, gužve bi se smanjile zbog bolje međusobne komunikacije vozila. Pametni automobili su razvili sve oblike komunikacije počevši od infrastrukture, vozila, mreže, uređaja pa sve do pješaka i njihovih kretanja u okolini. Međutim, unatoč prednostima, postoje i nedostaci. Mnogi ljudi su skeptični prema ovakvom sistemu, a postoji i zabrinutost zbog gubitka radnih mjesta vozača. Iako bi se nesreće mogle umanjiti, ne može se potpuno eliminirati njihova pojava. Također, pitanje odgovornosti za nesreće ostaje nejasno. Mnogi aspekti ovog sistema još uvijek nisu potpuno definirani.

LITERATURA

1) KNJIGE

M. Bosch, P. , Becker, F , Becker, H. : *Cost-based analysis of autonomous mobility services*, IVT, Zurich, 2018 (25.6.2023.)

Karnouskos, S. , Kerschbaum, F. : *Privacy and Integrity Considerations in Hyperconnected Autonomous Vehicles*, SAP, 2018 (24.6.2023.)

2) INTERNET IZVORI

Ingle, S., Phute, M.: „Tesla Autopilot: Semi Autonomous Driving, an Uptick for Future Autonomy“, *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol.03., no.09, 2016., p. 369-372, online: <https://www.academia.edu/download/83530830/IRJET-V3I969.pdf> (20.7.2023.)

„Specially-Designed Toyota "Tokyo 2020 Version" e-Palette to Provide Automated Mobility to Athletes“, *Toyota Motor Corporation Official Global Website*, 9.10.2019. <https://global.toyota/en/newsroom/corporate/29933371.html>(25.7.2023.)

Webb, N., Smith, D., Ludwick, C., Victor, T., Hommes, Q., Favaro, F., ... & Daniel, T.: „Waymo's safety methodologies and safety readiness determinations.“, 30.10.2020. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2011.00054>(26.7.2023.)

Pavlić, M.: *Autonomna cestovna vozila-Robote vozi polako!*, 19.4.2021. <https://www.bug.hr/transport/autonomna-cestovna-vozila-robote-vozi-polako-20775> (28.7.2023.)

Hamblen, M.: *San Jose hackathon focuses on pedestrian safety*, 11.8.2023. <https://www.fierceelectronics.com/sensors/san-jose-hackathon-focuses-pedestrian-safety>(24.7.2023.)

„How Self-driving Cars Work: Sensor Systems.“ *Udacity*, 3.3.2021.
<https://www.udacity.com/blog/2021/03/how-self-driving-cars-work-sensor-systems.html>
(28.7.2023.)

“Autonomous Vehicles Factsheet.” *Center for Sustainable Systems*,
<https://css.umich.edu/publications/factsheets/mobility/autonomous-vehicles-factsheet>(25.7.2023.)

“24 Self-Driving Car Statistics & Facts.“ *Carsurance*, 20.2.2022.
<https://carsurance.net/insights/self-driving-car-statistics/> (28.7.2023.)

Gitnux: „Self-Driving Cars Statistics and Trends in 2023.“ *GITNUX*, 8.2.2023,
<https://blog.gitnux.com/self-driving-cars-statistics/> (1.8.2023.)

Placek, M.: „Autonomous Vehicles statistics & facts.“ *Statista*, 23.9.2022.
<https://www.statista.com/topics/3573/autonomous-vehicle-technology/#topicOverview>
(1.8.2023.)

“Top 10 Benefits of Self-Driving Systems for Vehicles.” *Dordulian Law Group*, 19.5.2023.
www.dlawgroup.com/top-benefits-self-driving-systems-for-vehicles/ (3.8.2023.)

Barać, A.: **Sigurnost i pouzdanost autonomnih vozila**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2021.

Ćosić, K.: **BEZ RUKU I BEZ OČIJU: Mercedes-Benz prvi prodaje samovozeća vozila razine 3**, 11.06.2023. <https://smartlife.story.hr/e-Zivot/Pametna-mobilnost/a15003/BEZ-RUKU-I-BEZ-OCIJU-Mercedes-Benz-prvi-prodaje-samovozeca-vozila-razine-3.html>
(18.8.2023.)

Pribisalić, I.: **Autonomna vozila**, Osijek, Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Odjel za matematiku, 2021.,

Tomaš, M.: **VIZUALNE INFORMACIJE I NAPREDNI SUSTAVI POMOĆI VOZAČU**, Zagreb, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, 2022.,

Popis slika

Slika 1. Razine autonomije vozila	3
Slika 2. Senzorski sustav autonomnog automobila	7
Slika 3. Prikaz RADAR-ove detekcije	8
Slika 4. Prikaz LIDAR-a i laserskih impulsa.....	9
Slika 5. Opažanje pješaka na pješačkom prijelazu putem kamere	10
Slika 6. Prikaz ECU unutar pametnog automobila.....	11
Slika 7. Perspektiva hiperspektralnih kamera	12
Slika 8. Prikaz IMU na autonomnom automobilu	13
Slika 9. Funkcije ADAS-a	14
Slika 10. Prikaz detekcije prometne trake i vozila	16
Slika 11. Prilagodljivi tempomat.....	17
Slika 12. Prikaz V2X komunikacije.....	18
Slika 13. Komunikacija automobila i infrastrukture.....	20
Slika 14. Povezanost između vozila.....	21
Slika 15. Prikaz Teslinog 3 modela automobila	24
Slika 16. Waymo Driver senzori.....	26
Slika 17. Prikaz Mercedes-Benz S klase.....	28
Slika 18. Cijene po putničkom kilometru u odnosu na broj putnika	30

Popis kratica

Kratica	Puni naziv na stranom jeziku	Tumačenje na hrvatskom jeziku
LIDAR	engl. Light Detection and Ranging	Svjetlosni detektor
RADAR	engl. Radio Detection and Ranging	Senzor za identifikaciju opasnih objekata na cesti
NFC	engl. Near Field Communication	Komunikacija u blizini polja
SAE	engl. Society of Automotive Engineers	Društvo automobilskih inženjera
ABS	engl. Anti-lock Brake System	Sustav protiv blokiranja kočnica
ESP	engl. Electronic Stability program	Elektronički program stabilnosti
ACC	engl. Adaptive Cruise Control	Adaptivni tempomat
ADAS	engl. Advanced Driving Assistance System	Napredni sustavi pomoći u vožnji
DNN	engl. Deep Neural Network	Duboka neutralna mreža
ECU	engl. Engine Control Unit	Upravljačka jedinica motora
PCB	engl. Prediction and Cost-function Based	Predviđanje na temelju funkcije troškova
V2X	engl. Vehicle to Everything	Vozilo povezano sa svime
V2I	engl. Vehicle to Infrastructure	Vozilo povezano sa infrastrukturom
V2V	engl. Vehicle to Vehicle	Vozilo povezano sa vozilom
V2P	engl. Vehicle to Pedestrian	Vozilo povezano sa pješacima
V2D	engl. Vehicle to Device	Vozilo povezano sa uređajem
V2N	engl. Vehicle to Network	Vozilo povezano sa mrežom
ITS	engl. Intelligent Transportation System	Inteligentni transportni sustav