

Automatsko upravljanje vozilom

Kalac, Leon

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:187:579410>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



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

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

LEON KALAC

**AUTOMATSKO UPRAVLJANJE VOZILOM
ZAVRŠNI RAD**

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**AUTOMATSKO UPRAVLJANJE VOZILOM
AUTOMATIC VEHICLE CONTROL**

**ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Inteligentni transportni sustavi

Mentor: izv. prof. dr. sc. Jasmin Čelić

Student: Leon Kalac

Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0116165657

Rijeka, rujan 2024.

Student: Leon Kalac

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0116165657

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom Automatsko upravljanje vozilom izradio samostalno pod mentorstvom izv. prof. dr. sc. Jasmina Čelića.

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

Student

Handwritten signature of Leon Kalac in blue ink, consisting of stylized initials and the name 'Leon Kalac' written below.

Leon Kalac

Student: Leon Kalac

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0116165657

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Leon Kalac', is positioned above a horizontal line.

Leon Kalac

SAŽETAK

U današnjem svijetu, automatizacija i autonomno upravljanje igraju sve značajniju ulogu, posebno u sektoru prometa. Pametni sustavi za upravljanje gradskim prometom koriste naprednu tehnologiju, uključujući senzore, brze komunikacije i umjetnu inteligenciju, kako bi smanjili prometne gužve i poboljšali mobilnost. Autonomna vozila koriste ove tehnologije za prepoznavanje i reagiranje na okolinu u stvarnom vremenu, oslanjajući se na sofisticirane algoritme, visokoprecizne senzore i robusne komunikacijske sustave. Njihova primjena obuhvaća osobni prijevoz, logistiku i dostavu, dok kibernetička sigurnost postaje ključna za zaštitu ovih sustava od potencijalnih prijetnji. Proizvođači ulažu velike napore u zaštitu vozila od potencijalnih napada na sustave, osiguravajući da podaci ostanu sigurni i pouzdani, što je ključno za izgradnju povjerenja korisnika u nove tehnologije i osiguranje sigurne primjene autonomnih vozila na cestama.

U ovome radu istražit će se različiti aspekti automatskog upravljanja vozilom, uključujući tehničke principe koji stoje iza ove tehnologije, trenutne trendove i dostignuća u industriji, kao i izazove i pitanja koja se pojavljuju u procesu implementacije ove inovacije. Kroz analizu literature, studija slučaja i relevantnih istraživanja, cilj je stvoriti sveobuhvatan pregled stanja autonomne vožnje i pružiti uvid u njezinu budućnost i potencijalne implikacije na društvo, ekonomiju i infrastrukturu.

Ključne riječi: autonomna vozila, senzori u autopilotskim sustavima, tehnički aspekti, kibernetička sigurnost, promet.

SUMMARY

In today's world, automation and autonomous control play an increasingly significant role, especially in the transportation sector. Smart traffic management systems utilize advanced technology, including sensors, fast communications, and artificial intelligence, to reduce traffic congestion and improve mobility. Autonomous vehicles leverage these technologies to recognize and respond to their surroundings in real-time, relying on sophisticated algorithms, high-precision sensors, and robust communication systems. Their applications range from personal transportation to logistics and delivery, while cybersecurity becomes crucial in protecting these systems from potential threats. Manufacturers are making substantial efforts to safeguard vehicles from potential attacks on their systems, ensuring that data remains secure and reliable, which is essential for building user trust in new technologies and ensuring the safe deployment of autonomous vehicles on the roads.

This work will explore various aspects of autonomous vehicle control, including the technical principles behind this technology, current trends and advancements in the industry, as well as the challenges and issues that arise during the implementation of this innovation. Through the analysis of literature, case studies, and relevant research, the aim is to provide a comprehensive overview of the state of autonomous driving and offer insights into its future and potential implications for society, the economy, and infrastructure.

Keywords: autonomous vehicles, sensors in autopilot systems, technical aspects, cyber security, traffic.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	II
SADRŽAJ	III
1. UVOD	1
2. NAPREDNI SUSTAVI ZA POMOĆ U VOŽNJI	4
3. SENZORI U AUTOPILOTSKIM SUSTAVIMA	6
3.1. LiDAR	6
3.2. KAMERE U AUTONOMNIM VOZILIMA	7
3.3. RADARI U AUTONOMNIM VOZILIMA	9
4. TEHNIČKI ASPEKTI AUTONOMNIH VOZILA	11
4.1. KOMPONENTE V2X KOMUNIKACIJE.....	12
4.2. TEHNOLOGIJE ZA V2X KOMUNIKACIJU.....	13
3.3 PREDNOSTI V2X KOMUNIKACIJE	13
3.4. CAN BUS.....	14
3.5. ETHERNET	14
5. SIGURNOSNI PROTOKOLI	16
4.1. ŠIFRIRANJE PODATAKA	16
4.2. AUTENTIFIKACIJA	17
4.3. INTEGRITET PODATAKA	17
4.4. DETEKCIJA I PREVENCIJA UPADA	18
4.5. MREŽNA SEGMENTACIJA	18
4.6. REDUDANTNOST I OTPORNOST	18
4.7. KIBERNETIČKA SIGURNOST U OBLAKU.....	19
6. PREDNOSTI I IZAZOVI AUTOPILOTA	20
6.1. PREDNOSTI AUTOPILOTA U AUTOMOBILIMA	20
6.2. IZAZOVI AUTOPILOTA U AUTOMOBILIMA	21
7. PROIZVOĐAČI AUTONOMNIH VOZILA	23
7.1. TESLA.....	23
7.2. WAYMO.....	26

7.3. GENERAL MOTORS.....	27
8. ZAKLJUČAK.....	30
LITERATURA.....	31
POPIS KRATICA.....	32
POPIS SLIKA.....	34

1. UVOD

U posljednjih nekoliko desetljeća, tehnološki napredak u automobilskoj industriji dosegao je nevjerojatne visine, posebno u području autonomne vožnje ili automatskog upravljanja vozilom. Ova tehnološka revolucija promijenila je način na koji se razmišlja o putovanju i transportu, otvarajući vrata za potpuno novo iskustvo vožnje. Automatsko upravljanje vozilom predstavlja spoj naprednih senzora, računalnih algoritama i umjetne inteligencije, omogućavajući vozilima da samostalno obavljaju različite zadatke kao što su upravljanje, regulacija brzine i detekcija prepreka na putu. Ova tehnologija obećava brojne koristi, uključujući povećanje sigurnosti na cestama, smanjenje prometnih gužvi, kao i mogućnost pružanja veće mobilnosti osobama s invaliditetom ili ograničenim sposobnostima. Senzori igraju veliku ulogu u navigaciji autonomnih vozila kako bi mogli prepoznati i reagirati na okolinu u stvarnome vremenu. Tehnički aspekti autonomnih vozila uključuju napredne algoritme za umjetnu inteligenciju, visokoprecizne senzore i robusne komunikacijske sustave koje pomažu vozilima da se samostalno kreću u različitim uvjetima. Primjena autonomnih vozila obuhvaća širok spektar mogućnosti, od osobnog prijevoza do logistike i dostave. Također, kibernetička sigurnost postaje sve važnija kako se autonomna vozila oslanjaju sve više na povezane sustave. Proizvođači ulažu velike napore u zaštitu vozila od potencijalnih napada na sustave, osiguravajući da podaci ostanu sigurni i pouzdani. To je ključno za izgradnju povjerenja korisnika u nove tehnologije i osiguranje sigurne primjene autonomnih vozila na cestama. Budućnost autonomnih vozila obećava daljnji razvoj u primjeni ovih sustava, s naglaskom na njihovu ekološku prihvatljivost. Očekuje se da će autonomna vozila drastično promijeniti način na koji koristimo prometne sustave, donoseći brojne prednosti u smislu sigurnosti, efikasnosti i ekološke održivosti.

Autonomna vozila klasificirana su prema SAE (Society of Automotive Engineers) standardu na šest razina autonomije, od 0 (potpuno ručno) do 5 (potpuno autonomno). Ove razine omogućuju klasifikaciju tehnologije autonomnih vozila i pomažu u razumijevanju trenutnog stanja razvoja i budućih potencijala. U nastavku slijedi opis pojedine razine [5].

a) RAZINA 0: Bez automatizacije

Većina vozila danas su na ovoj razini automatizacije gdje su ljudi ti koji imaju potpunu kontrolu nad vozilom, iako može postojati sustav koji pomaže vozaču kao na primjer sustav kočenja u nuždi (emergency braking system) budući da se tehnički ne "vozi" vozilo, ne kvalificira se kao automatizacija.

b) RAZINA 1: Pomoć vozaču (Driver Assistance)

Vozilo može kontrolirati jednu funkciju vožnje, kao što je upravljanje ili ubrzavanje/kočenje. Primjer je adaptivni tempomat (Cruise Control) koji održava udaljenost od vozila ispred. Kvalificira se pod razinu 1. pošto je vozač i dalje taj koji prati ostale aspekte vožnje kao što su manevriranje volanom i kočenje.

c) RAZINA 2: Djelomična automatizacija (Partial Automation)

Vozilo može kontrolirati obje funkcije vožnje (upravljanje i ubrzavanje/kočenje) u određenim uvjetima, ali vozač mora stalno pratiti vožnju i biti spreman preuzeti kontrolu. Primjeri su Tesla Autopilot i GM Super Cruise.

d) RAZINA 3: Uvjetna automatizacija (Conditional Automation)

Vozilo može preuzeti sve funkcije vožnje u određenim uvjetima i okruženju na primjer na autocestama. Vozač mora biti spreman intervenirati ako to sustav od njega zatraži. Primjer je Audi Traffic Jam Pilot.

e) RAZINA 4: Visoka automatizacija (High Automation)

Vozilo može upravljati svim funkcijama vožnje u većini uvjeta bez ljudske intervencije, ali postoji ograničenje područja rada (npr. geografska područja). Glavna razlika između razine 3 i razine 4 je ta da vozilo može intervenirati ako nešto pođe po zlu sa svojim sigurnosnim sustavom. Za primjer možemo uzeti NAVYA, Francusku kompaniju koja prodaje taksije razine 4 u SAD-u (Sjedinjene Američke Države) na potpuno električnu snagu te može postići brzine do 55 mph (miles per hour).

f) RAZINA 5: Potpuna automatizacija (Full Automation)

Vozilo može upravljati svim funkcijama vožnje u svim uvjetima i okruženjima bez ikakve ljudske intervencije. Vozilo ne zahtijeva volan, papučice ili druge kontrole za vozača.

2. NAPREDNI SUSTAVI ZA POMOĆ U VOŽNJI

Uz sve strože automobilske sigurnosne standarde koji se provode za svaku novu generaciju automobila, vozila dolaze opremljena sve većim brojem inovativnih tehnologija i nizom sustava pomoći. Cilj ovih standarda i tehnologija nije samo zadovoljavanje zakonskih propisa, već i stvaranje okruženja u kojemu su vozači, putnici i ostali sudionici u prometu bolje zaštićeni od potencijalnih opasnosti. Neke od osnovnijih tehnologija koje se nalaze u modernim automobilima i čine svakodnevnu vožnju sigurnijom jesu [6]:

a) ABS (Sustav protiv blokiranja kotača)

Sustav koji sprječava blokiranje kotača tijekom naglog kočenja, omogućujući vozaču zadržavanje kontrole nad upravljanjem i skraćivanje zaustavnog puta.

b) ESP (Elektronički program stabilnosti)

Sustav koji pomaže održati stabilnost vozila tijekom vožnje kroz zavojite ceste ili u slučaju naglih manevara. ESP detektira gubitak trakcije i automatski koči pojedine kotače kako bi pomogao vozaču zadržati kontrolu nad vozilom.

c) ACC (Adaptivni tempomat)

Napredni tempomat koji automatski prilagođava brzinu vozila kako bi održao sigurnu udaljenost od vozila ispred. ACC koristi senzore i radare za praćenje prometa ispred vozila.

d) LKA (Pomoć pri održavanju trake)

Sustavi koji pomažu vozaču zadržati vozilo unutar prometnog traka. LKA koristi kamere za praćenje oznake na cesti i automatski ispravlja upravljanje ako vozilo počne izlaziti iz traka bez signaliziranja.

e) BSW (Upozorenje o mrtvom kutu)

Sustav koji upozorava vozača na vozila koja se nalaze u njegovom „mrtvom kutu“. BSW koristi radare ili kamere za otkrivanje vozila koja vozač ne može vidjeti u retrovizorima.

f) AEB (Automatsko kočenje u nuždi)

Sustav koji automatski aktivira kočnice kako bi spriječio sudar ili ublažio njegovu ozbiljnost. AEB koristi senzore za detekciju prepreka ispred vozila i djeluje ako vozač ne reagira na vrijeme.

g) Park Assist (Pomoć pri parkiranju)

Sustav koji pomaže vozaču pri parkiranju vozila. Park Assist koristi senzore i kamere kako bi identificirao prikladna parkirna mjesta i automatski upravlja vozilom tijekom parkiranja, dok vozač kontrolira brzinu.

3. SENZORI U AUTOPILOTSKIM SUSTAVIMA

Kod autonomnih vozila nužna komponenta koja omogućuje njihovu funkcionalnost je napredni sustav senzora. Senzori pružaju vozilu sposobnost da percipira i interpretira okolinu, donosi odluke o stvarnom vremenu i sigurno se kreće kroz složene prometne scenarije. Među najvažnijim sensorima koji se koriste u autonomnim vozilima su LiDAR, kamere i radari. Svaka od ovih tehnologija ima jedinstvene karakteristike i prednosti kako bi omogućile vozilu da razumije i reagira na različite prometne situacije.

3.1. LiDAR

LiDAR (Light Detection and Ranging) tehnologija predstavlja veoma bitnu stavku u razvoju autonomnih vozila, pružajući detaljne informacije o okolini vozila putem preciznog mapiranja. Ova tehnologija funkcionira na način da se emitiranjem laserskih zraka, koje se odbijaju od objekata u okolini i vraćaju natrag na senzore, mjere vrijeme koje je potrebno za povratak svjetlosti. Na temelju tih mjera, LiDAR stvara trodimenzionalnu mapu okoline s visokom razinom detalja što omogućuje autonomnom vozilu da percipira i analizira prostor u kojem se nalazi [7].

LiDAR se koristi kako bi se otkrili i klasificirali različiti objekti poput drugih vozila, pješaka, prometnih znakova i prepreka na cesti. Zbog svoje sposobnosti da precizno identificira udaljenost i oblik objekata, LiDAR omogućuje autonomnim vozilima da donose brze i točne odluke u stvarnome vremenu, čime se povećava sigurnost vožnje. Ova tehnologija time pomaže u detekciji objekata i u uvjetima slabe vidljivosti, kao što su noć, magla ili kiša, gdje kamere i radari mogu imati poteškoća.

Postoji nekoliko vrsta LiDAR sustava, ali za potrebe ovoga rada dati će se naglasak na uskopulsnu ToF (Time of Flight) metodu. Općenito, LiDAR sustavi koriste dvije glavne metode upravljanje zrakom:

Mehanički LiDAR, koji koristi visokokvalitetnu optiku i rotirajući sklop kako bi stvorio široko vidno polje, često 360 stupnjeva. Ova metoda pruža visok omjer signala i šuma u širokom vidnom polju, ali rezultira glomaznijim uređajem.

Solid-state LiDAR nema rotirajućih mehaničkih dijelova i ima smanjeno vidno polje, što ga čini jeftinijim. Korištenjem više kanala sprijeda, straga i sa strane vozila, te fuzijom podataka, solid-state LiDAR može postići slično vidno polje kao što je kod mehaničkog LiDAR-a.



Slika 1 Prikaz 3D mape LIDAR-a

Izvor: <https://velodynelidar.com/blog/guide-to-lidar-wavelengths/>

3.2. KAMERE U AUTONOMNIM VOZILIMA

Kamere su ključna komponenta senzorskog sustava autonomnih vozila, pružajući vizualne informacije koje omogućuju vozilu da „vidi“ i razumije svoju okolinu. One igraju ključnu ulogu u prepoznavanju objekata, oznaka na cestama, semafora, pješaka i drugih sudionika u prometu. Kroz napredne algoritme za obradu slike, kamere pomažu autonomnim vozilima u donošenju informiranih odluka u stvarnom vremenu.

Kamere u autonomnim vozilima funkcioniraju slično kao ljudsko oko, hvatajući svjetlost koja se reflektira od objekata i pretvarajući je u elektronske signale, koje procesorski sustavi mogu analizirati. Te kamere obično koriste tzv. CMOS (Complementary Metal-Oxide-Semiconductor) senzore, koji su učinkoviti, brzi i energetski štedljivi.

Kamere u autonomnim vozilima mogu se podijeliti u nekoliko vrsta, od kojih svaka ima specifičnu ulogu. Monokularne kamere koriste jedan objektiv za snimanje dvodimenzionalnih (2D) slika i najčešće se primjenjuju za prepoznavanje prometnih znakova, semafora i oznaka na cesti. Stereoskopske kamere, s druge strane, koriste dva objektiva postavljena na određenoj udaljenosti kako bi stvorile trodimenzionalne (3D) slike, što omogućuje procjenu dubine i udaljenost objekata, slično ljudskom vidu. Kamere s velikim kutom gledanja obuhvaćaju šire vidno polje, čime osiguravaju bolji pregled situacija izvan centralnog vidnog polja vozila. Infracrvene kamere koriste infracrvenu svjetlost za detekciju objekata u uvjetima slabog osvjetljenja ili tijekom noći, što ih čini posebno korisnim za prepoznavanje pješaka i životinja u mraku [7].

Tehničke karakteristike kamera u autonomnim vozilima značajno utječu na njihovu učinkovitost i sigurnost. Visoka rezolucija pruža detaljno prepoznavanje sitnih objekata, poput prometnih znakova i oznaka na cesti, a kamere visokih rezolucija poput 4K, sve su češće u uporabi. Brzina snimanja, koja se obično kreće između 30 i 60 sličica po sekundi, osiguravaju bolju analizu brže vožnje i naglih promjena u okolini. Kamere s visokim dinamičnim rasporom (HDR) bilježe detalje u različitim svjetlosnim uvjetima, dok široko vidno polje, od 120 do 180 stupnjeva, poboljšava detekciju okolnih objekata i situacija.

Kamere u autonomnim vozilima imaju mnoge prednosti, kao što su visoka razlučivost slike, koja doprinosi preciznom prepoznavanju i klasifikaciji objekata. Njihova široka primjena uključuje prepoznavanje prometnih znakova, semafora, pješaka, biciklista i drugih važnih elemenata za sigurnu vožnju. Osim toga, kamere se lako integriraju s drugim senzorskim tehnologijama, poput LiDAR-a i radara, čime se dodatno poboljšava situacijska svjesnost vozila.

Međutim, kamere također imaju određene nedostatke. Ovisnost o svjetlosnim uvjetima čini ih manje učinkovitim u slabom osvjetljenju, jakom suncu, sjenama ili refleksijama, što može utjecati na prepoznavanje objekata. Loši vremenski uvjeti, poput magle, kiše, snijega i prljavštine, smanjuju vidljivost i kvalitetu slike. Također, monokularne kamere imaju ograničenu sposobnost procjene dubine i udaljenost objekata u usporedbi s LiDAR-om ili stereoskopskim kamerama.

3.3. RADARI U AUTONOMNIM VOZILIMA

Radari (Radio Detection and Ranging) predstavljaju važan dio senzorskog sustava autonomnih vozila, osiguravajući pouzdane podatke o udaljenosti, brzini i položaju objekata u okolini vozila. Ova tehnologija koristi radio valove za otkrivanje objekata i odlikuje se visokom preciznošću, uz mogućnost rada u raznim vremenskim uvjetima, što je posebno korisno u situacijama gdje kamere i LiDAR mogu biti manje učinkoviti.

Radarski sustavi, dakle, rade na principu emitiranja radio valova koji se odbijaju od objekata i vraćaju prema prijamniku. Analizom vremena povratka signala i promjene frekvencije odbijenih valova (Dopplerov efekt), radar izračunava udaljenost, brzinu i smjer kretanja objekata. Komponente radarskog sustava uključuju predajnik za emitiranje radio valove i procesorsku jedinicu koja obrađuje signale i izračunava potrebne podatke [7].

Postoje različite vrste radara u autonomnim vozilima, a podjela ovisi o dometu koji radar može detektirati. Kratkodometni radari detektiraju objekte u neposrednoj blizini vozila, primjerice tijekom parkiranja, s dometom do 30 metara. Srednjodometni radari koriste se za detekciju objekata na udaljenosti od 30 do 80 metara, dok dugodometni radari mogu otkriti objekte na udaljenosti većoj od 250 metara, što je važno za sigurnu vožnju autocestama.

Tehničke karakteristike radara uključuju frekvencijski pojas, obično između 24 GHz i 77 GHz, gdje radari viših frekvencija pružaju bolju rezoluciju i preciznost. Razlučivost omogućava precizno razlikovanje više objekata koji su blizu jedan drugome, dok širina snopa (beamwidth) određuje pokrivenost okoline, pri čemu uži snopovi detektiraju objekte s većom preciznošću.

Radari donose brojne prednosti u svim vremenskim uvjetima, sposobnosti preciznog mjerenja brzine kretanja objekata zahvaljujući Dopplerovom efektu i detekcije na velikim udaljenostima. Osim toga radari mogu „prodrijeti“ kroz prepreke poput lišća, što osigurava pouzdane podatke i u uvjetima ograničene vidljivosti.

Njihova je razlučivost, zato, manja u usporedbi s kamerama i LiDAR-om, što otežava prepoznavanje sitnih detalja i precizno razlikovanje objekata u blizini. Također, radari mogu biti podložni smetnjama od drugih radarskih sustava i izvora elektromagnetnog značenja, a refleksija od metalnih površina mogu izazvati smetnje u detekciji [8].

U primjeni, radari se koriste za adaptivni tempomat (ACC), gdje održavaju sigurnu udaljenost od vozila ispred, automatsko kočenje u nuždi (AEB), gdje detektiraju prepreke i aktiviraju kočnice, te za upozorenje na mrtvi kut i pomoć pri parkiranju.

4. TEHNIČKI ASPEKTI AUTONOMNIH VOZILA

Autonomna vozila predstavljaju vrhunac napredne tehnologije i inženjeringa, kombinirajući sofisticirane senzore, računalne sustave i algoritme kako bi se vozila mogla samostalno kretati, percipirati okolinu i donositi odluke u stvarnom vremenu. Razumijevanje tehničkih aspekata autonomnih vozila ključno je za razvoj sigurnih i pouzdanih sustava koji će oblikovati budućnost transporta.

Računalne jedinice autonomnih vozila odgovorne su za obradu podataka prikupljenih iz senzora, donošenje odluka i upravljanje vozilom. Centralna računarska jedinica (ECU) koordinira sve funkcije vozila, dok procesori visokih performansi obrađuju ogromne količine podataka u stvarnom vremenu koristeći napredne algoritme za percepciju, lokalizaciju i planiranje. Algoritmi za fuziju senzora kombiniraju podatke iz različitih senzora kako bi stvorili sveobuhvatnu sliku okoline, dok algoritmi za prepoznavanje objekata služe za identifikaciju i klasifikaciju objekata u okolini vozila. Algoritmi za planiranje puta generiraju sigurne i optimalne rute kretanja vozila, dok kontrolni algoritmi izvršavaju planiranje rute i prilagođavaju akcije vozila u stvarnom vremenu.

Mrežna arhitektura omogućuje komunikaciju između različitih komponenti autonomnog vozila. CAN bus (Controller Area Network) je standardna mrežna tehnologija za komunikaciju između različitih mikroprocesora unutar vozila. Ethernet se koristi za brzi prijenos velikih količina podataka, često povezujući senzore visoke rezolucije i računarske jedinice. V2X (Vehicle-to-Everything) komunikacija omogućuje interakciju vozila s drugim entitetima poput infrastrukture, drugih vozila i pješaka, čime se vrši koordinirana vožnja i povećanje sigurnosti.

Aktuatori izvršavaju naredbe za upravljanje, ubrzavanje i kočenje. Sigurnosni sustavi, kao što su redundantni sustavi i kibernetička sigurnost, osiguravaju pouzdanost i zaštitu. Kontinuirano testiranje i validacija sustava ključni su za osiguranje sigurnosti autonomnih vozila.

V2X komunikacija značajno doprinosi poboljšanju sigurnosti, učinkovitosti prometa i povezivanju u transportnim sustavima. U ovome poglavlju, detaljno će se razmotriti različiti aspekti V2X komunikacije, uključujući njezine komponente, tehnologije i prednosti [3].

4.1. KOMPONENTE V2X KOMUNIKACIJE

V2X komunikacija omogućuje sveobuhvatnu povezanost vozila s njihovom okolinom. Jedna od njih je V2V (Vehicle to Vehicle) komunikacija, koja stvara razmjenu informacija između vozila o brzini, položaju smjera i namjerama. Ova vrsta komunikacije pomaže u koordinaciji manevara između vozila, izbjegavanju sudara i poboljšanju sigurnosti na cesti. Na primjer, ako vozilo ispred naglo koči, ono može poslati upozorenju iza sebe, čime se smanjuje rizik od lančanih sudara.

V2P (Vehicle to Pedestrian) komunikacija, s druge strane, dozvoljava vozilima da komuniciraju s pješacima putem mobilnih uređaja ili nosivih tehnologija. Ova tehnologija značajno povećava sigurnost pješaka, posebno u urbanim područjima gdje je koncentracija pješaka i biciklista visoka, jer upozorava pješake na nadolazeća vozila i obrnuto.

V2I (Vehicle to Infrastructure) komunikacija uspostavlja vezu između vozila i prometne infrastrukture, poput semafora, prometnih znakova i pametnih cesta. Kroz ovu tehnologiju moguće je optimizirati protok prometa prilagodbom semaforskih ciklusa u stvarnom vremenu, smanjiti zastoje i povećati sigurnost na raskrižjima. Vozila tako dobivaju informacije o trenutnim uvjetima na cesti, nadolazećim radovima ili nesrećama, što pomaže vozačima ili autonomnim sustavima da prilagode svoju rutu.

Na kraju, V2N (Vehicle-to-Network) komunikacija nudi vozilima pristup informacijama u stvarnom vremenu, kao što su prometni uvjeti, vremenske prognoze i ažuriranje karata. Ova vrsta komunikacije poboljšava navigaciju, planiranje puta i ukupnu učinkovitost vožnje, pružiti će vozilima bolju informiranost i bržu reakciju na promjene u prometnom okruženju [10].

4.2. TEHNOLOGIJE ZA V2X KOMUNIKACIJU

V2X komunikacija koristi nekoliko ključnih tehnologija koje osiguravaju prijenos podataka između vozila i okoline. Jedna od tih tehnologija je DSRC (Dedicated Short-Range Communications), radiokomunikacijski sustav koji djeluje na frekvencijama od 5.9 GHz i omogućava izravnu komunikaciju između vozila i infrastrukture. DSRC je posebno dizajniran za nisku latenciju i visoku pouzdanost, što ga čini idealnim za primjene koje se odnose na sigurnost.

Pored DSRC-a, C-V2X (Cellular Vehicle to Everything) koristi postojeće mobilne mreže za komunikaciju između vozila i drugih entiteta u prometnom sustavu. Ova tehnologija pruža širu pokrivenost i podržava aplikacije koje zahtijevaju visoku propusnost podataka. S pristupom 5G mrežama, C-V2X dodatno poboljšava brzinu i pouzdanost komunikacije.

5G, najnovija generacija mobilnih mreža, nudi visoke brzine prijenosa podataka, nisku latenciju i kapacitet za povezivanje velikog broja uređaja. Ove karakteristike omogućuju napredne V2X aplikacije, poput kooperativne vožnje i razmjene velikih količina podataka u stvarnom vremenu [10].

3.3 PREDNOSTI V2X KOMUNIKACIJE

V2X komunikacija donosi brojne prednosti koje značajno poboljšavaju sigurnost, učinkovitost i iskustvo vožnje. Na području sigurnosti, V2X pruža pravovremena upozorenja na opasnosti, poboljšava koordinaciju između vozila i smanjuje rizik od nesreća. Vozila tako mogu međusobno dijeliti informacije o naglim kočenjima, opasnostima na cesti ili prometnim nesrećama, što vozačima omogućuje da poduzmu odgovarajuće mjere.

U pogledu optimizacije prometa, V2I komunikacija prilagođava semafore u stvarnom vremenu, smanjuje zastoje i poboljšava protok prometa. Dijeljenjem informacija o prometnim uvjetima s vozilima, moguće je izbjeći gužve i skratiti vrijeme putovanja.

Što se tiče povećane učinkovitosti, V2X tehnologija omogućuje koordinaciju vozila u realnom vremenu, što dovodi do smanjenja potrošnje goriva i emisije štetnih plinova.

Kooperativna vožnja i grupiranje vozila u konvoje (platooning) smanjuju aerodinamički otpor, čime se poboljšava ekonomičnost vožnje.

Dok V2N komunikacija pruža vozilima pristup informacijama u stvarnom vremenu, uključujući navigacijske usluge, upozorenja na prometne uvjete i ažuriranje karata. To značajno poboljšava iskustvo vožnje, čineći ga ugodnijim i manje stresnim.

3.4. CAN BUS

Controller Area Network (CAN) bus predstavlja standardnu mrežnu tehnologiju koja osigurava komunikaciju između različitih elektroničkih kontrolnih jedinica (ECU) unutar vozila. Dizajniran je kao robusna, pouzdana i niskobudžetna mreža koja podržava komunikaciju u stvarnom vremenu. Arhitektura CAN bus-a temelji se na jednostavnoj dvožičnoj sabirnici koja povezuje sve ECU-ove u vozilu, pri čemu svaki ECU može slati i primiti poruke preko zajedničke sabirnice.

CAN protokol koristi jedinstvene identifikatore za svaku poruku, što omogućuje prioritetizaciju kritičnih informacija. Poruke se prenose u obliku okvira koji uključuju identifikator, podatke i kontrolne informacije. CAN bus podržava brzine prijenosa podataka do 1 Mbps, što je zadovoljavajuće za većinu aplikacija unutar vozila, ali može predstavljati ograničenje kada je riječ o prijenosu velikih količina podataka iz naprednih senzora.

3.5. ETHERNET

Ethernet je brza mrežna tehnologija koja se sve više koristi u autonomnim vozilima za povezivanje senzora visoke rezolucije, računarskih jedinica i drugih kritičnih komponenti. Ethernet nudi veće brzine prijenosa podataka u usporedbi s CAN busom, što je ključno za obradu i prijenos velikih količina podataka u stvarnome vremenu.

Arhitektura Etherneta koristi topologiju zvijezde ili drveta, gdje su sve komponente povezane preko mrežnih sklopki ili rutera. Ova arhitektura omogućuje stabilnost i jednostavno dodavanje novih komponenti.

Ethernet koristi TCP/IP protokol za prijenos podataka, osiguravajući pouzdanu komunikaciju i mogućnost korištenja različitih mrežnih usluga.

Brzina prijenosa podataka preko Ethernet-a podržava brzine prijenosa podataka do 10 Mbps do 100 Gbps, što omogućava brzo prenošenje podataka iz LIDAR-a, kamera i drugih senzora visoke rezolucije.

5. SIGURNOSNI PROTOKOLI

Sigurnost je veoma bitna stavka kod razvoja autonomnih vozila, s posebnim naglaskom na zaštitu komunikacija i integriteta sustava od neovlaštenog pristupa, manipulacije i kibernetičkih napada. Naime u današnjem svijetu informatike, svatko tko ima pristup internetu i odgovarajućem uređaju (kao što su mobitel ili računalo) može potencijalno hakirati sustave i nanijeti značajnu štetu u prometu. Sigurnosni protokoli za autonomna vozila dizajnirani su kako bi osigurali pouzdanu i sigurnu razmjenu podataka između različitih komponenti vozila, infrastrukture i drugih sudionika u prometu. U nastavku, detaljno su opisani ključni sigurnosni protokoli i metode koje se koriste za postizanje visoke razine sigurnosti u autonomnim vozilima kako bi se zaštitili od takvih napada.

4.1. ŠIFRIRANJE PODATAKA

Šifriranje je osnovna tehnika za zaštitu podataka tijekom prijenosa između različitih komponenti autonomnog vozila. Korištenjem algoritama, podaci se pretvaraju u nečitljiv oblik koji se može dešifrirati samo pomoću odgovarajućeg ključa. Postoje dvije vrste šifriranja:

- a) **Simetrično šifriranje:** U ovom načinu šifriranja, isti ključ se koristi za šifriranje i dešifriranje podataka. Algoritmi poput AES (Advanced Encryption Standard) pružaju visoku razinu sigurnosti i učinkovitosti za zaštitu podataka u realnom vremenu.
- b) **Asimetrično šifriranje:** Koristi par javnog i privatnog ključa. Javni ključ se koristi za šifriranje podataka, dok se privatni ključ koristi za dešifriranje. RSA (Rivest-Shamir-Adleman) i ECC (Elliptic Curve Cryptography) su popularni algoritmi za asimetrično šifriranje, često korišteni za sigurnu razmjenu ključeva i digitalne potpise.

4.2. AUTENTIFIKACIJA

Autentifikacija je proces provjere identiteta uređaja i korisnika koji pokušavaju pristupiti mreži autonomnog vozila. To osigurava da samo ovlašteni uređaji i korisnici mogu komunicirati unutar sustava. Jedan od načina autentifikacije je digitalni certifikat.

Uređaji koriste certifikate izdane od strane pouzdanog autoriteta CA (Certificate Authority) za autentifikaciju. Certifikati sadrže javne ključeve i identifikacijske podatke koji potvrđuju identitet uređaja.

Zatim imamo dvofaktorsku autentifikaciju (2FA). Kombinacija dva različita faktora za autentifikaciju, poput lozinke i sigurnosnog tokena, pruža dodatni sloj sigurnosti.

Konačno imamo biometrijsku autentifikaciju koja koristi biometrijske podatke kao što su otisci prstiju, prepoznavanje lica ili skeniranje šarenice za provjeru identiteta korisnika vozila.

4.3. INTEGRITET PODATAKA

Osiguravanje integriteta podataka znači da se podaci ne mijenjaju ili narušavaju tijekom prijenosa. Kriptografske hash funkcije i digitalni potpisi koriste se za postizanje ove sigurnosti. Hash funkcije, algoritmi kao što su SHA-256 (Secure Hash Algorithm 256-bit) generiraju jedinstvene hash vrijednosti za određene podatke. Ako se podaci promijene, hash vrijednost će se promijeniti, omogućujući otkrivanje bilo kakvih izmjena.

Digitalni potpisi, kombinacija su kriptografskih hash funkcija i asimetričnih kriptografskih algoritama. Digitalni potpisi osiguravaju integritet i autentičnost podataka. Potpisani podaci mogu se verificirati pomoću javnog ključa, čime se potvrđuje da podaci nisu promijenjeni i da dolaze od ovlaštenog izvora.

4.4. DETEKCIJA I PREVENCIJA UPADA

Sustavi za detekciju upada IDS (Intrusion Detection System) i prevenciju upada IPS (Intrusion Prevention System) igraju ključnu ulogu u prepoznavanju i odgovoru na sumnjive aktivnosti ili napade na mrežu autonomnog vozila.

IDS praćenje mrežnog prometa i sustavnog aktivnosti radi prepoznavanja sumnjivih uzoraka ili anomalija koje mogu ukazivati na pokušaje napada. IDS može biti baziran na potpisima poznatih napada ili na analizi anomalija u ponašanju mreže.

IPS nadograđuje IDS dodavanjem mogućnosti aktivne prevencije napada. Kada IPS otkrije sumnjivu aktivnost, može preuzeti mjere poput blokiranja prometa iz određenog izvora ili resetiranje veze kako bi spriječio napad.

4.5. MREŽNA SEGMENTACIJA

Mrežna segmentacija dijeli mrežu autonomnog vozila na manje, izolirane segmente, čime se smanjuje rizik od širenja napada i olakšava upravljanje sigurnošću.

Korištenjem virtualne lokalne mreže (VLAN) za logičku segmentaciju mreže omogućava odvajanje različitih vrsta prometa i osigurava da osjetljivi podaci ostanu izolirani od manje sigurnih dijelova mreže.

Demilitarizirane zone (DMZ) segment je mreže koji je izložen vanjskom prometu. Dok su unutarnji dijelovi mreže zaštićeni, ovo omogućava sigurno upravljanje vanjskim komunikacijama bez ugrožavanja unutarnje mreže vozila.

4.6. REDUDANTNOST I OTPORNOST

Redundantni sustavi i strategije otpornosti osiguravaju da autonomno vozilo može nastaviti funkcionirati čak i u slučaju kvara ili napada. Što uvelike osigurava sudionike u prometu. U tu svrhu koriste se više primjeraka ključnih sustava (npr. senzora, procesora) kako bi se osigurao kontinuitet rada u slučaju kvara jednog sustava.

Tu su i failover mehanizmi koji automatski prelaze na rezervni sustav u slučaju kvara primarnog sustava, osiguravajući minimalne prekide u radu vozila.

Neizmjerne je važno redovito stvaranje sigurnosnih kopija važnih podataka i pohranjivanje na sigurnim lokacijama kako bi se omogućio oporavak u slučaju gubitka podataka.

4.7. KIBERNETIČKA SIGURNOST U OBLAKU

Autonomna vozila često se oslanjaju na oblak za pohranu podataka, analitiku i ažuriranja softvera. Osiguravanje sigurnosti ovih usluga ključno je za zaštitu podataka i integriteta sustava vozila.

Sigurna komunikacija s oblakom bitna je tokom korištenja enkripcije za osiguranje komunikacije između vozila i oblaka, uključujući TLS (Transport Layer Security) za siguran prijenos podataka. Ne smije se zaboraviti na implementaciju stroge kontrole pristupa kako bi se osiguralo da samo ovlašteni uređaji i korisnici mogu pristupiti resursima u oblaku, te sigurnosni mehanizmi za ažuriranje softvera osiguravaju da se samo provjereni i ovjereni softver može instalirati na vozilu, čime se smanjuje rizik od zlonamjernog softvera.

6. PREDNOSTI I IZAZOVI AUTOPILOTA

Razvoj tehnologije autopilota u automobilima predstavlja jedan od najznačajnijih pomaka u modernoj automobilskoj industriji. Autonomna vozila, koja su nekada bila samo koncept znanstvene fantastike, danas su postala stvarnost zahvaljujući napretku u područjima umjetne inteligencije, računalnog vida i sensorike. Ovi sustavi obećavaju revoluciju u načinu na koji se krećemo, nudeći potencijal za značajna poboljšanja u sigurnosti, efikasnosti, mobilnosti i zaštiti okoliša.

Međutim, unatoč brojnim prednostima, implementacija autopilota u automobilima suočava se s nizom tehničkih, pravnih, etničkih i društvenih izazova. Tehnička složenost i potreba za visokim stupnjem pouzdanosti predstavlja značajne prepreke. Pravni okvir i regulativa još uvijek nisu u potpunosti prilagođeni ovoj tehnologiji, a etničke dileme vezane uz donošenje odluka u kritičnim situacijama otvaraju dodatne pitanja. Također, društveno prihvaćanje i potencijalni ekonomski utjecaji, poput gubitka radnih mjesta, dodatno kompliciraju široku primjenu autonomnih vozila.

6.1. PREDNOSTI AUTOPILOTA U AUTOMOBILIMA

Smanjenje ljudskih pogrešaka, velika većina prometnih nesreća uzrokovana je ljudskim greškama kao što je nepažnja, umor ili neiskustvo. Autopilot sustavi koriste napredne senzore i algoritme za prepoznavanje i izbjegavanje opasnosti, što značajno smanjuje rizik od nesreća.

Autopilot sustavi mogu reagirati brže od ljudskih vozača na iznenadne prepreke ili promjene u prometnim uvjetima, čime se dodatno smanjuje rizik od sudara.

Optimizacijom vožnje, autopilotski sustavi mogu optimizirati brzinu i putanju vozila za maksimalnu efikasnost, čime se smanjuje potrošnja goriva i emisija štetnih plinova.

Smanjenje prometnih gužvi pomoću V2V i V2I komunikacije dobiti će potrebne informacije o mogućim radovima ili nesreći na cestama i samim time poboljšati protok prometa.

Autopilot tehnologija može znatno poboljšati mobilnost osoba s invaliditetom, starijih osoba i drugih koji nisu u mogućnosti samostalno voziti.

Autonomna vozila mogu značajno poboljšati efikasnost u sektoru dostave i logistike, smanjujući troškove i vrijeme isporuke.

Kroz optimizaciju vožnje i smanjenje prometnih gužvi, dolazi do smanjenja potrošnje goriva i emisija CO₂, što doprinosi zaštiti okoliša.

Integracija sustava autopilota u električna vozila dodatno potiče prelazak na ekološki prihvatljivije alternative. Osim toga, smanjenje broja nesreća povezanih s autonomnim vozilima može rezultirati nižim premijama osiguranja za ta vozila.

Na kraju, optimizacija transportnih sustava može znatno smanjiti operativne troškove za poduzeća koja se bave prijevozom robe i putnika, čime se postiže veća učinkovitost u cijelom sektoru [2].

6.2. IZAZOVI AUTOPILOTA U AUTOMOBILIMA

Senzori moraju biti iznimno precizni i pouzdani, a softver mora točno interpretirati podatke i donositi pravovremene odluke.

Autopilot sustavi moraju biti sposobni funkcionirati u različitim vremenskim uvjetima (kiša, snijeg, magla) i u složenim urbanim sredinama.

Postoje velike razlike u regulativi između različitih zemalja, što otežava globalnu implementaciju tehnologije. Potrebno je uspostaviti međunarodne standarde i regulative.

Odgovornost u slučaju nezgode, potrebno je jasno definirati tko snosi odgovornost vozač, proizvođač vozila ili proizvođač softvera.

Autopilot sustavi mogu se suočiti s etičkim dilemama u hitnim situacijama (npr. odlučivanja između dva loša ishoda u slučaju neizbježnog sudara). Potrebno je definirati kako bi sustavi trebali postupati u takvim situacijama.

Prikupljanje i obrada velikih količina podataka o vožnji i vozačima otvara pitanje o privatnosti i sigurnosti tih podataka.

Široka primjena autonomnih vozila mogla bi dovesti do gubitka radnih mjesta u sektorima poput transporta i logistike.

Društveno prihvaćanje autonomnih vozila može biti sporo zbog nepovjerenja u tehnologiju i strah od gubitka kontrole.

Razvoj i implementacija tehnologije autopilota su skupi, što može utjecati na cijenu vozila i pristupačnost tehnologije.

Održavanje i redovite nadogradnje softvera i hardvera mogu predstavljati dodatne troškove za vlasnike vozila [4].

7. PROIZVOĐAČI AUTONOMNIH VOZILA

Primjena autopilota u automobilskoj industriji brzo napreduje, s različitim proizvođačima i tehnološkim tvrtkama koje ulažu značajne resurse u razvoj i testiranje autopilotnih sustava. Dok su neki sustavi već dostupni na tržištu i koriste se u svakodnevnoj vožnji, drugi su u fazi testiranja i daljnjeg razvoja. Ovaj zadatak nije ni malo lagan za proizvođače autonomnih vozila. Skok s razine 1 autonomije na razinu 2, na primjer, mali je u usporedbi s povećanjem složenosti potrebnim za rad autonomnih vozila razine 3, gdje vozač može skrenuti pogled s ceste. Ti se sustavi tada čine smiješno jednostavnima u usporedbi s razinom složenosti koja će biti potrebna za istinski autonomne modele razine 4 i razine 5, koji možda neće ni imati kontrole za ljudske vozače.

Ipak, nisu sve tvrtke jednake kada je riječ o njihovim sposobnostima i ulaganjima u ključne teme koje su najvažnije za njihovu industriju. Razumijevanje kako su tvrtke pozicionirane i rangirane prema najvažnijim temama može biti ključni pokazatelj njihovog budućeg potencijala zarade i relativne konkurentske pozicije. U nastavku priložiti će se vodeći proizvođači u smislu autonomije.

7.1. TESLA

Tesla je jedna od najistaknutijih kompanija u razvoju tehnologije autonomne vožnje, s dva ključna sustava, Tesla Autopilot i Full Self-Driving (FSD). Ovi sustavi predstavljaju vrhunac napretka u automatiziranoj vožnji i nude niz funkcionalnosti koje vozačima omogućuju sigurniju, udobniju i efikasnu vožnju.

Tesla Autopilot je napredni sustav pomoći vozaču (ADAS) koji značajno povećava sigurnost i udobnost tijekom vožnje. Korištenjem kombinacije kamera, radara i ultrazvučnih senzora, sustav automatski upravlja vozilom unutar jasno označenih traka, što je posebno korisno na autocestama i u uvjetima s malo prometa. Sustav također prilagođava brzinu vozila prema prometnim uvjetima, održavajući siguran razmak od vozila ispred, što smanjuje potrebu za stalnim prilagođavanjem brzine u prometnim gužvama.

Pored toga, Autopilot može automatski mijenjati trake na autocesti kada vozač aktivira pokazivač smjera, osiguravajući sigurno kretanje između traka. Funkcija automatskog parkiranja omogućuje vozilu da se samostalno parkira, bilo paralelno ili okomito, dok vozač nadzire postupak. Nadalje, sustav Summon pruža mogućnost pomicanja vozila naprijed ili natrag iz uskih parkirnih mjesta putem aplikacije na pametnom telefonu, što je posebno korisno u situacijama kada je pristup vozilu otežan zbog ograničenog prostora.

FSD je napredniji paket koji Tesla nudi kao nadogradnju na osnovni Autopilot sustav. FSD uključuje dodatne funkcionalnosti koje omogućuju još višu razinu autonomne vožnje. Iako FSD još uvijek zahtijeva nadzor vozača, njegova tehnologija stalno napreduje prema potpunoj autonomiji.

Ključne značajke FSD-a uključuju sposobnost vozila da samostalno vozi na autocesti, od ulaska na rampu do izlaska, s automatskim mijenjanjem traka, prelaskom na brže trake i navigacijom kroz raskrižja, koristeći navigacijske podatke i senzore za sigurno kretanje kroz promet. Uz to, vozilo može automatski mijenjati trake na autocesti kako bi se prilagodilo prometnim uvjetima ili slijedilo zadanu navigacijsku rutu.

FSD također prepoznaje i reagira na semafore i znakove stop, omogućujući vozilu da se zaustavi na crvenom svjetlu i znaku stop te nastavi vožnju kada je to sigurno. Tesla razvija Autosteer funkcionalnost za gradsku vožnju, gdje vozilo autonomno upravlja u složenim urbanim okruženjima, iako se ova funkcija u nekim slučajevima pokazala nepouzdanom, što je rezultiralo nesrećama. Ova kompanija unaprijedila je Summon sa Enhanced Summon pružajući vozilu sposobnost da se kreće kroz parkiralište i dođe do vozača na zadanu lokaciju, što je impresivan i veoma zanimljiv podhvat .

Tesla koristi kombinaciju softvera i hardvera za postizanje autonomne vožnje. Vozila su opremljena s osam kamera, dvanaest ultrazvučnih senzora, prednjim radarom i naprednim računalom za obradu podataka. Softver koristi algoritme strojnog učenja i umjetne inteligencije za prepoznavanje i interpretaciju okoline, donošenje odluka i upravljanje vozila u stvarnom vremenu. Tesla također koristi flotu svojih vozila za prikupljanje podataka i kontinuirano poboljšanje svojih sustava kroz over-the-air (OTA) nadogradnje. Svako vozilo pridonosi mreži podataka koja omogućava Tesli da unaprijedi algoritme i poboljša performanse autopilot sustava.

Iako su Tesla Autopilot i FSD među najnaprednijim sustavima autonomne vožnje dostupni na tržištu, još uvijek postoje izazovi koje treba riješiti prije nego što se postigne potpuna autonomija (razina 5).

Neki od tih izazova uključuju probleme kao što su pouzdanosti sustava u svim mogućim prometnim i vremenskim uvjetima. Prilagodba zakona i regulativa za omogućavanje i reguliranje autonomnih vozila. Osiguranje da korisnici razumiju mogućnosti i ograničenja sustava te izgradnje povjerenja u tehnologiju.

Tesla nastavlja ulagati značajne resurse u istraživanje i razvoj kako bi unaprijedio svoje autopilot sustave. Kompanija redovito objavljuje softverske nadogradnje koje proširuju funkcionalnost i poboljšavaju sigurnost sustava, te nastavlja s testiranjem i razvojem novih tehnologija koje će omogućiti postizanje potpune autonomije [10].



Slika 2. Prikaz Tesla Plaid modela

Izvor: <https://insideevs.com/news/566047/tesla-models-clever-battery-advancements/>

7.2. WAYMO

Waymo, produžnica Alphabet Inc., jedan je od vodećih pionira u razvoju potpuno autonomnih vozila. Osnovan 2009. godine kao projekt Googleovog samovozećeg automobila, Waymo je 2016. postala samostalna tvrtka unutar Alphabet. Waymo se fokusira na razvoj tehnologije autonomne vožnje koje može transformirati transport, poboljšati sigurnost na cestama i pružiti nove mogućnosti mobilnosti.

Waymo koristi senzore poput LIDAR-a, kamera, radara i ultrazvučnih senzora. Pomoću naprednog softvera procesira sve podatke te upravlja vozilom, planira rutu i donosi odluke u stvarnome vremenu.

Waymo One je komercijalna usluga autonomnih taksija koja je pokrenuta 2018. godine u Phoenixu, Arizona. Putem aplikacije, korisnici mogu naručiti vožnju u potpuno autonomnom vozilu. Waymo One koristi flotu Chrysler Pacifica i Jaguar I-PACE vozila opremljenih Waymo tehnologijom.

Ova je tvrtka 2022. godine uvela potpuno autonomna vozila. Nakon početnih faza čekanja i potpisivanja ugovora o povjerljivosti, Waymo sada nudi uslugu taksija bez vozača svima u San Franciscu koji su preuzeli aplikaciju. Oko 300 000 ljudi koristilo je Waymo taksij, vozila su prešla ukupno 3.8 milijuna milja s flotom koja broji 300 vozila. Pored San Francisca, Waymo djeluje i u Phoenixu, Arizona, gdje taksiji pokrivaju oko 180 kvadratnih milja.

Okolo 30 % vožnji Waymo u San Franciscu odnosi se na lokalne biznise. Usluga je doprinijela lokalnoj ekonomiji s vožnjama do restorana, glazbenih događaja, barova, kafića, parkova i muzeja. Više od polovice korisnika koristilo je Waymo za medicinske preglede u proteklih nekoliko mjeseci.

Waymo je nedavno morao povući svoja vozila radi softverske nadogradnje nakon nesreće u Phoenixu, iako nitko nije ozlijeđen. No, unatoč povlačenju, operacije nisu pogođene. Waymo tvrdi da ima nenadmašan sigurnosni rekord, s prosjekom od 50 000 vožnji tjedno. Prema njima, njihovi automobili izbjegavaju sudare s visokim stupnjem težine bolje nego najpažljiviji ljudski vozač. Podaci pokazuju manje zahtjeva za osiguranje, manje ozljeda i policijskih izvješća u usporedbi s ljudskim vozačima.

Waymo nastavlja ulagati u istraživanje i razvoj kako bi unaprijedio svoju tehnologiju autonomne vožnje i proširio njezinu primjenu. U planu im je proširiti svoju uslugu autonomnih taksija na druge gradove i regije, omogućujući širu primjenu tehnologije i pristup većem broju korisnika. Također, rade na razvoju autonomnih kamiona za komercijalne svrhe, koji će omogućiti efikasniji i sigurniji transport robe na dugim relacijama, smanjujući troškove i povećavajući produktivnost. Waymo surađuje s različitim proizvođačima vozila kako bi integrirao svoju tehnologiju u različite modele automobila, što omogućuje širu primjenu Waymo tehnologije u industriji [9].



Slika 3. Prikaz Jaguar I Pace modela opremljen Waymo tehnologijom

Izvor: <https://www.popsci.com/story/technology/self-driving-car-waymo-jaguar-sensors/>

7.3. GENERAL MOTORS

General Motors (GM) intenzivno radi na razvoju autonomnih vozila kroz svoju produžnicu Cruise LLC. Cilj GM-a je transformirati budućnost transporta, smanjujući nesreće, zagušenje prometa i emisiju štetnih plinova kroz naprednu tehnologiju autonomne vožnje.

GM je 2016. godine kupio Cruise Automation, tvrtku specijalizirana za autonomna vozila, kako bi ubrao svoj ulazak u industriju autonomne vožnje. Cruise LLC postala je ključna produžnica GM-a, fokusirana na razvoj i implementaciju tehnologije za autonomna vozila.

GM i Cruise surađuju na razvoju hardvera i softvera za autonomna vozila. Koristeći napredne senzore, kamere, LIDAR-e i radare za prepoznavanje okoline.

GM je razvio Super Cruise, napredni sustav pomoći vozaču (ADAS) koji omogućava polu-autonomnu vožnju na određenim autocestama. Super Cruise koristi kombinaciju kamera, radara i GPS-a za održavanje vozila u traci i prilagođavanje brzine prema prometnim uvjetima. Sustav također koristi tehnologiju praćenja pažnje vozača kako bi osigurao da vozač ostane angažiran i spreman preuzeti kontrolu kada je to potrebno.

Cruise Origin je potpuno autonomno vozilo dizajnirano za dijeljenje vožnji bez vozača. Vozilo nema volan ni pedale, a dizajnirano je za maksimalnu udobnost putnika s prostranom unutrašnjosti. Cruise Origin koristi napredne senzore i softvere za sigurno kretanje u urbanim sredinama i složenim prometnim situacijama.

GM i Cruise provode opsežna testiranja autonomnih vozila na javnim cestama u raznim gradovima, uključujući San Francisco, Phoenix i Detroit. Testiranja obuhvaćaju različite vremenske uvjete, prometne scenarije i složenost urbanih sredina kako bi se osigurala pouzdanost i sigurnost sustava.

2022. godine Cruise je dobio dozvolu od California Public Utilities Commission (CPUC) omogućujući korištenje autonomnih taksija na području San Francisca. Samo godinu dana kasnije California DMV suspendirala je vožnju autonomnih taksija bez nadzornog vozača. Može se reći da se Cruise i GM nisu proslavili sa svojim autonomnim vozilima te su nailazili na brojne probleme sa sustavom što je doprinijelo mnogim incidentima i nesrećama. Počevši od vožnje noću bez putnika s ugašenim svjetlima, blokiranje prolaza vatrogascima i policajcima u više navrata, izazivanje nesreća sa drugim automobilima i nekoliko sudara s pješacima.

Unatoč svemu General Motors stoji čvrsto iza svoje produžnice te ulaže još 850 milijuna američkih dolara što diže ukupnu investiciju do vrtoglavih 8 milijardi dolara.

Cruise polako vraća svoja autonomna vozila na javne ceste, ali ovoga puta s ljudskim vozačima iza volana kako bi prikupili čim više informacija o cesti i kreirali bolje mape [11].



Slika 4. Prikaz GM Cruise autonomnog vozila

Izvor: <https://www.wired.com/story/gm-cruise-generation-3-self-driving-car/>

8. ZAKLJUČAK

Zaključno, autonomna vozila predstavljaju jednu od najvažnijih inovacija u prometnom sektoru, a njihova uspješnost uvelike ovisi o naprednim sensorima poput LiDAR-a, kamera i radara. LiDAR senzori omogućuju detaljno mapiranje okoline uz visoku preciznost, kamere pružaju vizualne informacije ključne za prepoznavanje objekata i oznaka na cesti, dok radari osiguravaju pouzdanu detekciju udaljenosti i brzine kretanja drugih vozila, osobito u nepovoljnim vremenskim uvjetima. Iako se LiDAR često ističe kao najučinkovitiji senzor zbog svojih prednosti, upravo kombinacija svih ovih senzora omogućuje autonomnim vozilima da sigurno i efikasno navigiraju složenim prometnim okruženjima, nadopunjavajući međusobno svoje slabosti.

Od komercijalnih proizvoda, najuspješnija je tvrtka Waymo, zahvaljujući dugogodišnjim istraživanjima i eksperimentalnim prototipovima. Naime, od svih tvrtki analiziranih u ovom radu, Waymo je jedina koja je uspjela stvoriti vozilo koje je potpuno sigurno za uporabu bez potrebe za vozačem.

U budućnosti, daljnji razvoj i integracija ovih tehnologija dodatno će unaprijediti sposobnosti autonomnih vozila, smanjujući ovisnost o ljudskom faktoru i povećavajući sigurnost na cestama. Očekuje se da će autonomna vozila revolucionirati način na koji se prevozimo, s dalekosežnim utjecajima na društvo, ekonomiju i infrastrukturu. Smanjenje prometnih nesreća, optimizacija protoka prometa i smanjenje emisije štetnih plinova samo su neke od prednosti koje će poboljšati kvalitetu života u urbanim sredinama.

Međutim, ovaj tehnološki napredak zahtijevat će prilagodbu postojećih infrastruktura i zakonodavnih okvira, kao i rješavanje etičkih i sigurnosnih pitanja. Društvo će morati pronaći ravnotežu između tehnoloških mogućnosti i odgovornosti kako bi se osiguralo da autonomna vozila postanu integralni dio održive i sigurne budućnosti prometa.

LITERATURA

1. Krasniqi, X., & Hajrizi, E. (2016). Use of IoT Technology to Drive the Automotive Industry from Connected to Full Autonomous Vehicles. IFAC-PapersOnLine.
2. Jurgen, R. K. 2013, Autonomous Vehicles and V2V/V2I Communications Set, vol. 1, SAE International
3. Bagloee, S. A., Tavana, M., Asadi, M., Oliver, T. (2016). Autonomous vehicles: challenges, opportunities, and future implications for transportation policies. Journal of Modern Transportation.
4. <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>
5. <https://www.oryx-asistencija.hr/savjeti-za-vozace/savjeti/leksikon-sustava-pomoc-voznji-sto-aute-cini-sigurnijima-13219>
6. https://pastel.hal.science/tel-03052168/file/2020UPSLM028_archivage.pdf
7. <https://www.oliverwyman.com/our-expertise/insights/2023/jul/lidar-radar-future-of-autonomous-driving-systems.html>
8. <https://siliconangle.com/2024/06/26/waymo-scrap-waitlist-makes-robotaxis-available-everyone-san-francisco/>
9. <https://www.encora.com/insights/enhancing-transportation-with-vehicle-to-everything-v2x-communication>
10. <https://cars.usnews.com/cars-trucks/advice/tesla-full-self-driving>
11. <https://www.therobotreport.com/gm-invests-another-850m-into-cruise-as-it-expands-manual-operations/>

POPIS KRATICA

Kratica	Puni naziv na engleskom jeziku	Puni naziv na hrvatskom jeziku
Radar	Radio Detection and Ranging	Radio detekcija i mjerenje udaljenosti
LiDAR	Light Detection and Ranging	Svjetlosno zamjećivanje i klasifikacija
AI	Artificial Intelligence	Umjetna inteligencija
GM	General Motors	General Motors
SAE	Society of Automotive Engineers	Društvo automobilskih inženjera
ToF	Time of Flight	Vrijeme letenja
Mph	Miles per hour	Milja na sat
SAD	United States of America	Sjedinjene Američke Države
ABS	Anti-lock Braking System	Sustav protiv blokiranja kotača
ESP	Electronic Stability Control	Elektronički program stabilnosti
ACC	Adaptive Cruise Control	Adaptivni tempomat
LKA	Lane Keeping Assistance	Pomoć pri održavanju traka
BSW	Blind Spot Warning	Upozorenje o mrtvom kutu
AEB	Autonomous Emergency Braking	Automatsko kočenje u nuždi
CMOS	Complementary Metal-oxide Semiconductor	Komplementarni metal-oksadni poluvodič
2D	Two dimension	Dvodimenzionalno
3D	Three dimension	Trodimenzionalno
GHz	Gigahertz	Gigaherca
Mbps	Megabits per second	Megabita po sekundi
Gbps	Gigabits per second	Gigabita po sekundi
ECU	Electronic Control Unit	Elektronička kontrolna jedinica
CAN	Controller Area Network	Područna mreža kontrolera
V2X	Vehicle to Everything	Vozilo prema svemu
V2P	Vehicle to Pedestrian	Vozilo prema pješaku
V2I	Vehicle to Infrastructure	Vozilo prema infrastrukturi
V2N	Vehicle to Network	Vozilo prema mreži
DSRC	Dedicated Short-Range Communications	Namjenske komunikacije kratkog dometa
C-V2X	Cellular-Vehicle to Everything	Statično-vozilo prema svemu

5G	Fifth generation of wireless cellular technology	Peta generacija bežične mobilne tehnologije
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	Protokol kontrole prijenosa/internetski protokol
AES	Advanced Encryption Standard	Napredni standard šifriranja
RSA	Rivest–Shamir–Adleman	Rivest–Shamir–Adleman
ECC	Elliptic Curve Cryptography	Kriptografija eliptične krivulje
CA	Certificate Authority	Izdavač certifikata
2FA	Two Factor Autentification	Dvofaktorska autentifikacija
SHA-256	Secure Hash Algorithm 256-bit	Algoritam sigurnog raspršivanja 256-bitni
IDS	Instruction Detection System	Sustav otkrivanja instrukcija
IPS	Instruction Prevention System	Sustav za prevenciju instrukcija
VLAN	Virtual Local Area Network	Virtualne lokalne mreže
DMZ	Demilitarized Zone	Demilitariziran zone
TLS	Transport Layer Security	Sigurnost transportnog sloja
FSD	Full Self Driving	Potpuno samostalna vožnja
ADAS	Advanced Driver-Assistance Systems	Napredni sustav pomoći vozaču
OTA	Over-the-air	Bežično
GPS	Global Positioning System	Globalni sustav pozicioniranja
CO2	Carbon Dioxide	Ugljikov dioksid
TACC	Traffic Aware Cruise Control	Tempomat s obzirom na promet
CPUC	California Public Utilities Commission	Komisija za javne komunalne usluge Kalifornije
DMV	Department of Motor Vehicles	Zavod za motorna vozila

POPIS SLIKA

Slika 1 Prikaz 3D mape LIDAR-a	7
Slika 2. Prikaz Tesla Plaid modela	25
Slika 3. Prikaz Jaguar I Pace modela opremljen Waymo tehnologijom	27
Slika 4. Prikaz GM Cruise autonomnog vozila	29

