

Senzori u inteligentnim transportnim sustavima

Salamon, David

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:187:108724>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-10-28**



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**

DAVID SALAMON

**SENZORI U INTELIGENTNIM TRANSPORTNIM
SUSTAVIMA**

ZAVRŠNI RAD

Rijeka, 2024.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
POMORSKI FAKULTET**

**SENZORI U INTELIGENTNIM TRANSPORTNIM
SUSTAVIMA
SENSORS IN INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS
ZAVRŠNI RAD
BACHELOR THESIS**

Kolegij: Inteligentni transportni sustavi

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

Student: David Salamon

Studijski smjer: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112069788

Rijeka, rujan 2024.

Student: David Salamon

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112069788

IZJAVA O SAMOSTALNOJ IZRADI ZAVRŠNOG RADA

Kojom izjavljujem da sam završni rad s naslovom

Senzori u inteligentnim transportnim sustavima

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 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

David Salamon

David Salamon

Student: David Salamon

Studijski program: Elektroničke i informatičke tehnologije u pomorstvu

JMBAG: 0112069788

IZJAVA STUDENTA – AUTORA
O JAVNOJ OBJAVI OBRANJENOG ZAVRŠNOG RADA

Izjavljujem da kao student – autor završnog rada dozvoljavam Pomorskom fakultetu 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



David Salamon

SAŽETAK

Pojava različitih tehnologija omogućila je razvoj inteligentnih transportnih sustava i u vezi s njima primjenu u automobilske industriji. Korištenje inteligentnih transportnih sustava odnosi se prije svega na senzorske tehnologije. Danas se sve češće javlja potreba za osiguravanjem sigurnosti prometa svim korisnicima stoga se s pomoću umjetne inteligencije nastoji osigurati potpuna autonomija u vozilima. Senzorske tehnologije u vozilima i prometu omogućavaju značajno veću sigurnost u prometu, lakše odvijanje prometa i udobnost vozačima. Toyota je jedan od dobrih primjera upotrebe senzorskih tehnologija u vozilima i jedan je od lidera koji potiče ostale proizvođače na primjenu takvih tehnologija. U budućnosti se može očekivati sve veća autonomnost vožnje koju prate sigurnost i mogućnost osiguravanja vožnje svakom korisniku.

Ključne riječi: inteligentni transportni sustavi, senzori, autonomna vozila, Toyota Prius.

SUMMARY

The emergence of various technologies has enabled the development of intelligent transportation systems and their application in the automotive industry. The use of intelligent transportation systems primarily involves sensor technologies. Today, there is an increasing need to ensure traffic safety for all users, which is why artificial intelligence is being used to achieve full autonomy in vehicles. Sensor technologies in vehicles and traffic provide significantly increased traffic safety, smoother traffic flow, and comfort for drivers. Toyota is one of the prime examples of utilizing sensor technologies in vehicles and is one of the leaders encouraging other manufacturers to adopt such technologies. In the future, increasing autonomy in driving can be expected, accompanied by safety and the ability to provide driving for every user.

Keywords: intelligent transportation systems, sensors, autonomous vehicles, Toyota Prius.

SADRŽAJ

SAŽETAK	I
SUMMARY	I
SADRŽAJ	II
1. UVOD	1
2. POJAM I OBILJEŽJA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA	2
2.1. Pojam i značaj ITS sustava.....	2
2.2. Razvoj ITS sustava	5
2.3. Inteligentne prometnice	6
2.4. Autonomna vozila.....	8
3. SENZORSKE TEHNOLOGIJE ZA INTELIGENTNE TRANSPORTNE SUSTAVE	10
3.1. Senzori u cestovnom sustavu.....	11
3.2. Senzori u vozilima	13
3.2.1. Kamera.....	14
3.2.2. RADAR	15
3.2.3. LiDAR	15
3.2.4. Ultrazvučni senzori	16
3.3. Taksonomija senzora u vozilima	17
3.3.1. Kategorija sigurnosti.....	19
3.3.2. Dijagnostika	20
3.3.3. Kategorija okoliša.....	21
3.3.4. Kategorija korisnika.....	21
3.4. Primjene senzorskih tehnologija u inteligentnim sustavima prometa	23
3.5. Izazovi i budući trendovi	24
4. CASE STUDY – SENZORI AUTOMOBILA TOYOTA PRIUS	26
4.1. Toyota SafetySens	26
4.2. Budućnost autonomnih vozila	29
5. ZAKLJUČAK	31
LITERATURA	33

POPIS ILUSTRACIJA	36
KAZALO KRATICA.....	37

1. UVOD

Prometni sustavi ključni su za ekonomski rast svih nacija, ali suočavaju se s problemima kao što su gužve, kašnjenja, nesreće i onečišćenje. Pametne aplikacije prometa imaju potencijal za rješavanje ovih problema putem sveobuhvatne koordinacije među različitim sustavima kontrole prometa. Implementacija novih tehnologija omogućuje održivost prometnih infrastruktura i potiče učinkovitu uporabu postojećih resursa za reguliranje, kontrolu i upravljanje prometom vozila, što rezultira poboljšanim upravljanjem gužvama i smanjenjem njihovih negativnih učinaka. Inteligentni transportni sustavi predstavljaju napredne tehnologije koje unapređuju učinkovitost, sigurnost i udobnost u prometu. Koriste senzorske, računalne, elektroničke i komunikacijske tehnologije kako bi optimizirali promet, povećali sigurnost i smanjili negativni utjecaj na okoliš. Senzorske tehnologije igraju ključnu ulogu u funkcioniranju pametnih aplikacija prometa i inteligentnih transportnih sustava. Kao takve omogućuju prikupljanje podataka o prometu, vozilima i okolini te pružaju osnovu za analizu i donošenje odluka u stvarnom vremenu.

Cilj ovog rada je objasniti značaj senzora u inteligentnim prometnim sustavima u cestovnom prometu te njihovu primjenu u svrhu osiguravanja sigurnosti i učinkovitosti prometa. Svrha rada je prikazati i objasniti različite senzore u autonomnim vozilima na primjeru automobila Toyota Prius.

Ovaj rad, pored uvoda i zaključka, podijeljen je na četiri međusobno povezana dijela. Drugi dio rada objašnjava pojam i obilježja inteligentnih transportnih sustava pri čemu su isti definirani te je opisan razvoj ITS sustava kroz povijest. Opisane su inteligentne prometnice te karakteristike autonomnih vozila. Treći dio rada objašnjava senzorske tehnologije za inteligentne transportne sustave; pri čemu su objašnjeni senzori u cestovnom sustavu. Pored navedenog daje se uvid u senzore u vozilima te taksonomiju senzora u vozilima. Kroz praktični primjer objašnjen je i način rada senzorskih tehnologija u inteligentnim sustavima prometa. Također su navedeni i prikazani izazovi i budući trendovi razvoja senzorskih tehnologija. Četvrti dio rada orijentiran je na prikaz senzora automobila Toyota Prius gdje je prikazan sustav Toyota SafetySens te budućnost autonomnih vozila.

2. POJAM I OBILJEŽJA INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA

Prometni sustavi postali su temelj ekonomskog rasta svih nacija. Ipak, mnogi gradovi diljem svijeta suočavaju se s nekontroliranim porastom prometnog volumena, što uzrokuje ozbiljne probleme poput kašnjenja, prometnih gužvi, viših cijena goriva, povećanja emisija CO², nesreća, hitnih situacija i degradacije kvalitete života u suvremenom društvu. Implementacija i primjena najnovijih komunikacijskih, elektroničkih i računalnih sposobnosti omogućuje prijenos informacija, kontrolu protoka prometa i upravljanje mrežama prijevoza. Četiri ključna koncepta koja uključuju održivost, integraciju, sigurnost i reagiranje prioritet su prilikom usvajanja i primjene novih tehnologija u sustavima prijevoza. Navedeni principi bit će ključni za ostvarenje glavnih ciljeva pametnog prijevoza; pristupa i mobilnosti, ekološke održivosti i gospodarskog razvoja.

2.1. Pojam i značaj ITS sustava

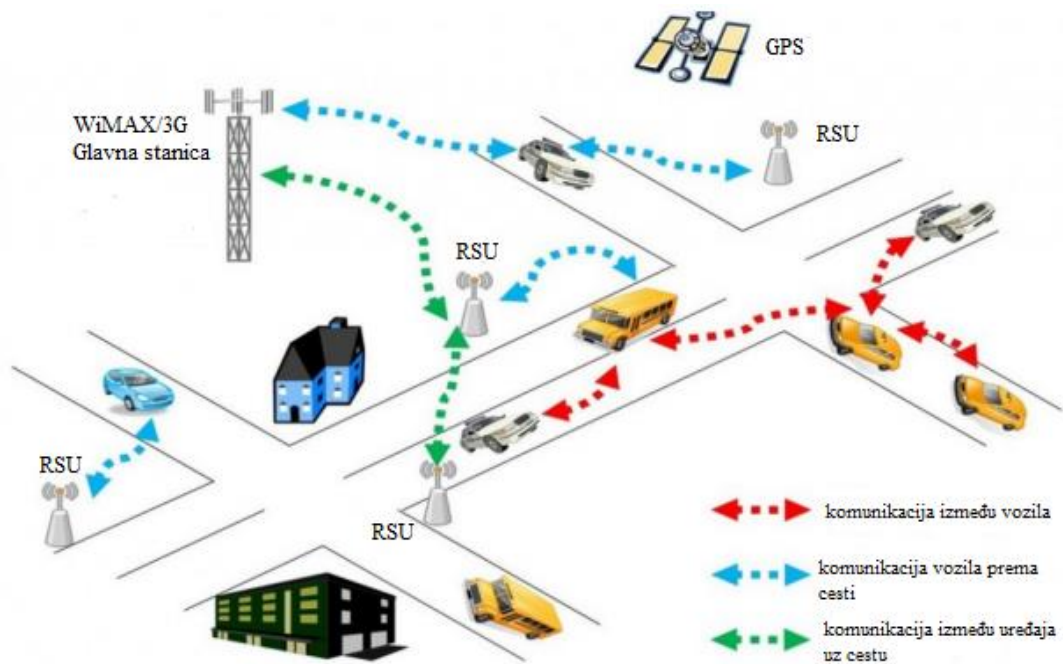
Inteligentni transportni sustavi (engl. *Intelligent Transport Systems* - ITS) mogu se definirati kao cjelovita nadogradnja upravljanja, dobivanja informacija i komunikacije za klasične prometne sustave, što omogućuje značajno poboljšanje performansi, protočnosti prometa te učinkovitosti prijevoza putnika i tereta. Također pridonose sigurnosti i zaštiti prometa, osiguravaju udobnije putovanje putnicima te smanjuju onečišćenje. ITS predstavlja ključne sustave budućnosti mijenjajući pristupe i trendove u istraživanju i tehnologiji prometa s ciljem rješavanja sve češćih problema zagušenja, onečišćenja, učinkovitosti prijevoza, sigurnosti putnika i tereta [1. p. 12].

Drugi naziv za inteligentne transportne sustave je „pametni sustavi prometa“ a mogu se definirati kao primjena naprednih senzorskih, računalnih, elektroničkih i komunikacijskih tehnologija te strategija upravljanja na integrirani način radi poboljšanja sigurnosti i učinkovitosti površinskog prometnog sustava [2. p. 21]. Također ITS čini inteligentni sustav koji koristi inovativne razvoje u modeliranju transportnih sustava i regulaciji prometnih tokova, pruža krajnjim korisnicima veću informativnu vrijednost i sigurnost, te kvalitativno povećava razinu interakcije među sudionicima u prometu u usporedbi s konvencionalnim transportnim sustavima [3. p. 37]

ITS rješenja uključuju redizajn prometne infrastrukture s novim prometnim rješenjima organizacije i vođenja tokova, inteligentnim navođenjem na rute s manjim opterećenjem, informiranjem o slobodnim parkirnim mjestima, daljinskim praćenjem tereta i vozila, telematskom naplatom cestarine, upravljanjem incidentnim situacijama u prometu itd. Za razliku od izoliranih tehničkih rješenja kao što su zeleni val, promjenjivi znakovi, telematički uređaji i sl.; u vozilima koncept ITS-a predstavlja „sustav sustava” što znači da u tom sustavu djeluje pomoću različitih drugih sustava. Kod upravljanja ITS rješenjima važno je napomenuti da su isti povezani s konceptom inteligentnih informacijskih sustava kao i naprednim tehnikama umjetne inteligencije (engl. *Artificial Intelligence* - AI). Tehnike kao što su prepoznavanje slike, strojno učenje, inteligentno izračunavanje i druge koriste se u dizajniranju, razvoju i implementaciji različitih ITS aplikacija. Kao takvi, ITS sustavi također su od važnosti u smanjivanju konvencionalnih kulturnih problema. Prihvatanje ITS-a od strane građana ključno je a iste treba educirati o koristima ITS sustava u prometu [4].

Ovisno o vrsti tehnološki orijentiranih sustava inteligentni transportni sustavi dijele se u dvije skupine: [5. p. 398-399] inteligentne infrastrukturne sustave i inteligentne sustave u vozilima. Računalni vid i algoritmi za raspoznavanje registarskih pločica koriste se najčešće kao osnovni moduli inteligentnih infrastrukturnih sustava. U okviru inteligentnih transportnih sustava izrazito je zastupljena automatska identifikacija vozila (engl. *Automatic Vehicle Identification*) koja je osnova svakog inteligentnog prometnog sustava. Automatsku identifikaciju vozila moguće je provesti upotrebom posebnih elektroničkih uređaja ili raspoznavanjem registarskih pločica.

ITS koji se nalaze u vozilima uključuju komunikacijske sustave i tehnologije unutar njih, te zajedno čine „inteligentna vozila”. S druge strane, ITS koji se nalaze u infrastrukturi cestovnog prijevoza uključuju dinamičke signale, sustave za upravljanje poremećajima i slično. U obje kategorije uloženi su veliki naponi i rad kako bi se poboljšala učinkovitost, temeljena na razvoju modela hardvera i programa za optimizaciju ruta i prometa. Takvi sustavi su integrirani putem informacijske mreže koja uključuje akumulaciju informacija, komunikaciju, obradu, širenje i korištenje informacija od strane korisnika, posebice za upravljanje i donošenje odluka [6. p. 55] Slika 1. prikazuje primjer scenarija inteligentnog transportnog sustava.



Slika 1. Primjer scenarija inteligentnog transportnog sustava

Izvor: Vanni, R.M.P. et al.: **Ontology Driven Reputation Model for VANET**, AICT 2016: TheTwelfth Advanced International Conference on Telecommunications, 2016., p. 14

Ad hoc mreže (engl. *Vehicular ad-hoc networks* - VANETs) poseban su tip ad hoc mreža koji se formira vozilima s obradbenim i bežičnim komunikacijskim sposobnostima koja putuju cestama ili autocestama. Obično, vozila mogu komunicirati izravno ili putem uređaja uz cestu (engl. *Roadside Unit* - RSU) te tako mogu pristupiti mrežnim uslugama i dobiti podatke iz drugih mreža, kao što je Internet. Zbog takve prirode, VANET-ovi se mogu uspostaviti u različitim okruženjima, poput urbanih središta i autocesta [7. p. 14]

Predmet upravljanja za ITS su vanjski prometni tokovi i unutarnji tokovi u infrastrukturnim elementima (tokovi putnika i tereta). Izvori informacija o objektima u prometu su razni senzori i detektori, tehnologije identifikacije te povezani informacijski sustavi. Što se tiče analize informacija o objektima u prometu, potrebno je u sustav unijeti neku ideju o tom objektu, koja se naziva modelom. Detalji i preciznost modela određeni su isključivo zadacima s kojima se susreće ITS. Inteligentni sustavi prijevoza pružaju podršku donošenju odluka u slučaju: optimizacije raspodjele prometa u mreži u vremenu i prostoru; povećanja kapaciteta postojeće transportne mreže; osiguravanja prioriteta prijevoza određene vrste; upravljanja prometom u slučaju nesreća, katastrofa ili događaja koji utječu na promet; poboljšanja sigurnosti cestovnog prometa, što dovodi do povećanja kapaciteta;

smanjenja negativnog okolišnog utjecaja i pružanja informacija o prometnim situacijama svim dionicima. Kao posljedica korištenja ITS-a, značajno je da faktore koji utječu na razvoj tehnologije određuje politička i ekonomska situacija u zemlji. Stoga privatni sektor može vrlo brzo razviti tehnologiju ITS-a [3. p. 39]. Inteligentni transportni sustavi razvijaju se tijekom godina, počevši od danas poznatih i opće prihvaćenih prometnih rješenja do novih tehnoloških i inteligentnih tehnika upravljanja prometom. Sljedećim dijelom rada pobliže je objašnjen razvoj ITS sustava kroz povijest.

2.2.Razvoj ITS sustava

Električni semafori, koji su prvi put korišteni 1928. godine, smatraju se prvom primjenom inteligentnih prometnih sustava, a računalom upravljani semafori, koji su se počeli koristiti 1960-ih godina, također su važni u povijesti primjene ITS-a. Koncept telematike prvi puta se javlja 1970-ih godina a osmislila su ga dva francuska stručnjaka spajanjem riječi telekomunikacija i informatika. Navedeni koncept počeo se koristiti na engleskom i drugim jezicima tijekom 1980-ih. Naime, koncept telematike može se opisati kao kombinacija prijenosa informacija putem telekomunikacijske mreže i računalne obrade tih informacija. Prema nekim istraživačima, koncept telematike, zajedno s ovom definicijom, uključuje i automatske kontrolne sustave osmišljene za zadovoljenje potreba fizičkih sustava za infrastrukturom, organizacijom, održavanjem i upravljanjem zadataka koji su usklađeni s tim sustavima [8.p. 78].

Povijest razvoja ITS-a može se podijeliti na tri faze. Prva faza, tijekom 1970-ih i 1980-ih, obuhvaćala je početno istraživanje ITS-a. Tvrtke u Europi razvile su sustave koji su prenosili kodove određenim vozilima, poput njemačkog autoputnog radijskog sustava uvedenog 1974. godine. Druga faza, od 1981. do 1994. godine, karakterizirana je uvjetima koji su omogućili razvoj ITS-a. Tehnološki napreci, uključujući masovnu memoriju, smanjili su troškove obrade informacija, što je rezultiralo praktičnim istraživačkim i razvojnim naporima. Projekti poput PROMETHEUS-a i DRIVE-a pokrenuti su u Europi kako bi se poboljšala učinkovitost i sigurnost prometa. PROMETHEUS, pokrenut 1986. godine kao dio programa EUREKA, uključivao je 18 europskih proizvođača automobila, državne vlasti i više od 40 istraživačkih institucija. Godine 1991. osnovan je ERTICO kao privatno-javno partnerstvo kako bi se promovirala sigurna i učinkovita mobilnost putem ITS-a. Treća faza, počevši od 1994. godine, označila je praktičnu primjenu ranijih programa. ITS počeli su se

razmatrati u kontekstu intermodalnog prometa, a ne samo prometa automobilima. ITS su stekli priznanje kao ključni elementi u globalnoj hijerarhiji informacijske tehnologije. Zajednička prometna politika Europske unije za razdoblje 2001. do 2010. godine otvorila je nove mogućnosti razvoja ITS-a. Europska komisija također je imala za cilj implementirati sustav e-poziva za hitne situacije u novim automobilima do 2010. godine [9. p. 403-406].

Različiti čimbenici oblikovali su sadašnje stanje tehnologije ITS-a. Ekonomski pad tijekom 2000-tih godina usmjerio je povećanu pažnju na što učinkovitiju upotrebu autocestovnog sustava i voznog parka. Tijekom proteklih godina u području ITS-a, napreci u prometnom sustavu sve su više oblikovani digitalnom erom i ovisnošću društva o informacijskim i komunikacijskim tehnologijama. Raširena upotreba pametnih telefona, mobilnih aplikacija i dostupnih informacija promijenila je percepciju o tome što je učinkovit prometni sustav i kako ga najbolje postići. Danas su proizvođači sve više usmjereni na integraciju pametnih telefona s vozilima kako bi poboljšali iskustvo unutar vozila.

Također, automobili su postali sve više računalizirani zahvaljujući tehnologijama pomoći vozačima koje već pomažu u spašavanju života i sprječavanju ozljeda. Motorizirana vozila sada imaju tehnologiju koja pomaže vozačima izbjegavanje skretanja u susjedne trake ili sigurne promjene traka te upozoravaju vozače na vozila koja se nalaze iza njih pri kretanju unatrag te automatski koči ako vozilo ispred naglo stane ili uspori. Ove i druge sigurnosne tehnologije koriste kombinaciju hardvera (senzori, kamere i radar) i softvera kako bi vozila prepoznala određene rizike za sigurnost i upozorile vozača da djeluje kako bi izbjegao sudar [10. p. 37]. Osnovni pojmovi koji se koriste u razmatranju inteligentnih transportnih sustava jesu inteligentne cestovne prometnice te inteligentna vozila koja su detaljnije analizirana sljedećim potpoglavljima rada.

2.3. Inteligentne prometnice

Inteligentna cestovna prometnica jest upravljačka i informacijsko-komunikacijska nadogradnja klasičnih cestovnih prometnica čime se osim osnovnih funkcija ostvaruje bolje informiranje vozača, vođenje prometa, sigurnosne aplikacije i ostalo [11. p. 59]. Arhitektura sustava inteligentne cestovne prometnice (engl. *Intelligent Road* - IR) kompleksna je i visokotehnološka cesta koja integrira okolinsku percepciju, planiranje odlučivanja, interakciju informacija i automatsko održavanje. Koncept strukturne razine sustava inteligentne prometnice može se podijeliti na tri strukturne razine: [12. p. 4]

- Sloj percepcije i kontrole - uglavnom se sastoji od uređaja uz cestu i pametnih vozila, čime se ostvaruje učinkovito prikupljanje informacija o cesti i vozilu te učinkovito upravljanje izvršnim uređajem. Također je odgovoran za automatsko praćenje i dinamičko upravljanje radnim statusom podložnog senzora. Prometnica tako može sveobuhvatno prikupiti informacije o okolini spajajući opremu uz cestu i senzore vozila, te pružiti informacije o stanju ceste i temelj za donošenje odluka za autonomnu vožnju.
- Sloj mrežne komunikacije - sastoji se uglavnom od različitih komunikacijskih tehnologija i mrežnog protokola, uglavnom implementirajući senzorske mreže, mrežne sustave vozila, optičke mreže i različite bežične mreže. Međusobna povezanost osigurava učinkovit prijenos svih vrsta informacija uz održavanje stabilnosti mreže i sigurnosti informacija u ekstremnim uvjetima. Kroz integraciju interoperabilnih mreža međusobne komunikacije vozila, sloj mrežne komunikacije može učinkovitije dobiti informacije o vozačima, informacije o stanju vozila i okolini, što pruža mogućnost integracije i analize podataka.
- Sloj upravljanja informacijama – sastoji se od tehnologija računalstva u oblaku i velikih podataka te ostvaruje pohranu podataka o ljudima, vozilima i cesti, rudarenje informacija i podršku odlučivanju. Kroz stvarnu analizu stanja podataka vozilo-cesta, može se ostvariti vođenje i preusmjeravanje tijekom prometa u vremenu i prostoru kako bi se izbjegla gužva na cestama, poboljšalo upravljanje trakama i objavljujale informacije o vođenju prometa putem prometnih znakova ili digitalnih prometnih obavijesti.

Inteligentne cestovne prometnice nude mnoge prednosti koje doprinose općoj učinkovitosti, sigurnosti i održivosti urbanih okruženja. Ovi inovativni sustavi cesta integriraju najnovije tehnologije kako bi poboljšali upravljanje prometom, unaprijedili potrošnju energije i smanjili ekološki utjecaj. Implementacija senzora, komunikacijskih mreža i analitike podataka omogućava stvarno vremensko praćenje uvjeta na cestama, protoka prometa i okolišnih čimbenika. Ovaj pristup temeljen na podacima omogućava prilagodljivu kontrolu prometa, optimiziranje planiranja ruta i učinkovito upravljanje incidentima. Osim toga, pametne ceste olakšavaju integraciju električnih i autonomnih vozila pružajući odgovarajuću infrastrukturu za punjenje baterija i podršku komunikaciji [13. p. 22]. Sljedećim potpoglavljem daje se detaljniji uvid u značajke inteligentnih vozila.

2.4. Autonomna vozila

Paralelno s razvojem inteligentnih transportnih prometnica razvijaju se i inteligentna vozila koja svojim novim svojstvima u znatnoj mjeri unapređuju sigurnost, učinkovitost i udobnost vožnje. Korisnici inteligentnih transportnih sustava mogu biti vozači i putnici koji čine krajnje korisnike, vlasnici sustava, mrežni operateri, turističke tvrtke, pružatelji usluga, lokalne zajednice i gradske uprave [11. p. 59]. Automatizirana vozila su ona u kojima se barem neki aspekt sigurnosno kritične kontrolne funkcije (npr. upravljanje, kontrola ispušnih plinova ili automatsko kočenje) odvija bez izravnog utjecaja vozača. Automatizirana vozila mogu biti autonomna (tj. koristiti samo senzore vozila) ili mogu biti povezana. Povezana vozila koriste bežičnu tehnologiju za povezivanje informacija i lokacije vozila s drugim vozilima (engl. *Vehicle to Vehicle*- V2V); s infrastrukturom (engl. *Vehicle to Infrastructure* - V2I); ili s drugim načinima, kao što su internet oblaci, pješaci i biciklisti (engl. *Vehicle To Everything* - V2X). Bežična tehnologija obično korištena za povezana vozila je dedikirana komunikacijakratkog dometa (engl. *Dedicated Short-Range Communications* – DSRC), ali neke funkcije mogu koristiti staničnu ili druge vrste komunikacije [10. p. 31].

Društvo automobilskih inženjera (engl. *The Society of Automotive Engineers* - SAE) razvilo je sustav s šest razina autonomije kako bi opisalo različite stupnjeve automatizacije autonomnih vozila. Ovi stupnjevi pružaju jasnu sliku o ulozi vozača i sustava za vožnju u različitim fazama automatizacije. Na nultoj razini vozač obavlja sve aspekte vožnje, iako su prisutni sigurnosni sustavi koji mogu pružiti podršku putem upozorenja ili intervencija u određenim situacijama. Kod razine jedan se uvodi pojedinačni automatizirani aspekt vožnje, kao što je prilagodljivi tempomat ili stabilizacija, ali vozač i dalje kontrolira dinamičke zadatke vožnje. Na drugoj razini, autonomni sustav može upravljati i longitudinalnom i lateralnom kontrolom vozila u određenim uvjetima. Vozač je i dalje potreban kako bi nadzirao vožnju i preuzeo kontrolu po potrebi. U trećoj razini sustav može upravljati cijelim dinamičkim zadatkom vožnje, ali vozač mora biti spreman preuzeti kontrolu kada sustav to zatraži, posebno u izvanrednim situacijama ili u okruženjima izvan definirane operativne domene. Četvrta razina predstavlja visoku automatizaciju gdje sustav može izvoditi kompletnu vožnju u određenim, unaprijed definiranim uvjetima, kao što su precizno mapirane rute i prometne situacije. Vozač nije nužan, ali može intervenirati po potrebi. Peta razina je potpuna autonomnost gdje je vozilo sposobno za potpuno autonomnu vožnju u svim uvjetima i okruženjima. Vozač nema obvezu nadzora ili intervencije. Ove razine pružaju

jasno razumijevanje kako se autonomija postupno povećava, uz sve manju potrebu za vozačkom interakcijom kako u višim razinama [14. p. 35].

Napredak u tehnologiji omogućio je poboljšanje inteligentnih transportnih sustava dovodeći do stvaranja potpuno autonomnih vozila i pametnih infrastruktura koja će zasigurno biti u porastu u budućnosti. Autonomna vozila već danas omogućuju bolju sigurnost u prometu, informacije i podršku vozaču a takva vozila nazivaju se vozilima budućnosti.

3. SENZORSKE TEHNOLOGIJE ZA INTELIGENTNE TRANSPORTNE SUSTAVE

Razvoj tehnologije autonomne vožnje jedno je od vodećih područja istraživanja koje značajno utječe na automobilsku industriju. Trenutno, tehnologiju autonomne vožnje razvijaju kako tradicionalne automobilske tvrtke poput Daimlera i Toyote, tako i informatičke industrije poput Ubera i Applea. Četiri osnovne tehnologije koje se trenutno razvijaju su okolišna percepcija, lokalizacija, planiranje puta i upravljanje vozilom. Lokalizacija se može postići različitim metodama, uključujući upotrebu globalnog sustava za određivanje položaja (engl. *Global Positioning System* – GPS), vizualnog sustava i infrastrukture ceste kao i karata okoliša ceste. Učinkovita uporaba lokalizacije jedna je od najvažnijih značajki koja utječe na performanse samovozećeg automobila.

Najpopularnije metode lokalizacije koriste GPS senzore, koji su povoljni zbog svoje široke popularnosti na tržištu i niske cijene u usporedbi s drugim sensorima. Međutim, metode temeljene na GPS-u ne djeluju dobro u zasjenjenim područjima (nadvožnjaci, tuneli, neboderi itd.), gdje se satelitski signal možda ne može primiti, što uzrokuje veliku grešku pri određivanju pozicije. Rad autonomnih vozila u urbanoj okolini zahtijeva besprijekornu sposobnost lokalizacije s točnošću od nekoliko centimetara ili manje. U tu svrhu, istraživači su nedavno proučavali metode lokalizacije temeljene na kartama okoliša ceste, koristeći mjerenja senzora u vozilu [15. p. 1-2].

Formiranje i uspostavljanje pametnih transportnih sredstava izravno je povezano s razvojem i primjenom tehnologija senzora te komunikacijskih i informacijskih sustava. Tehnologije senzora koriste se u dizajniranju sustava za izbjegavanje sudara pokretnih vozila, vođenje transportnih sredstava i drugih aktivnosti s ciljem zaštite vozila, tereta, ljudi i okoliša. Informacijski sustavi pružaju sudionicima u prometu podatke u obliku glasa, slika ili teksta te omogućuju komunikaciju s prometnim subjektima, kontrolnim centrom i drugim pružateljima informacija. Za prijenos se mogu koristiti fiksne komunikacijske mreže, bežične koptene i satelitske komunikacije. Prikupljanje podataka pretpostavlja potrebu za alatima za primanje, usporedbu, analizu, vrednovanje, odabir, distribuciju i pohranu informacija kao i oblikovanje dostupne i sveobuhvatne baze ispravnih podataka koji su lako dostupni i jednostavni za ažuriranje u vremenu [16. p. 196]. Sljedećim potpoglavljem daje se detaljniji pregled senzora u cestovnom prometu.

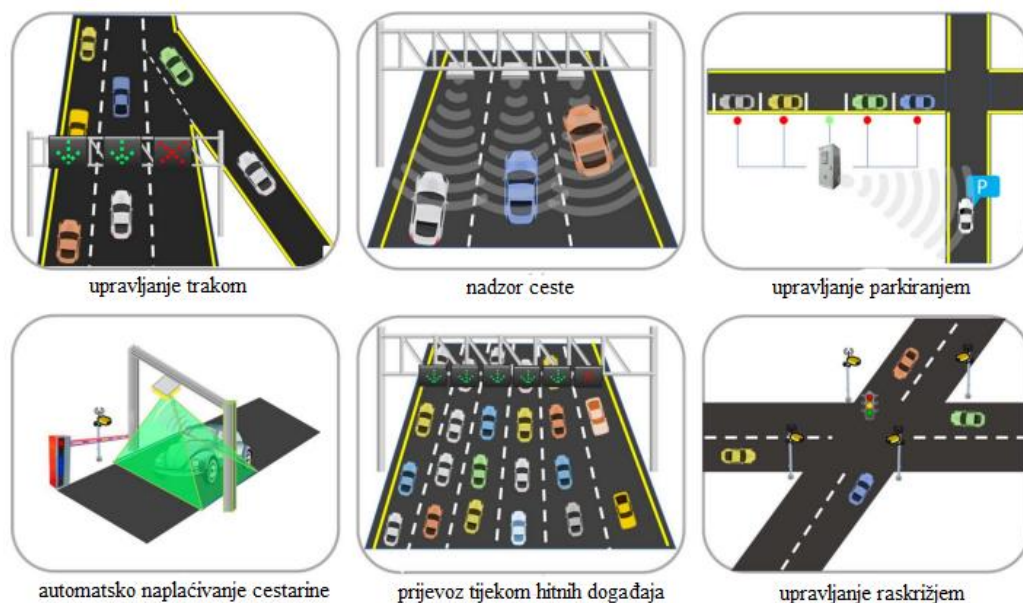
3.1. Senzori u cestovnom sustavu

Senzori u cestovnom sustavu se mogu podijeliti u dvije kategorije prema njihovoj lokaciji; na invazivne i neinvazivne. Invazivni senzori su instalirani na površinama ceste i imaju visoku preciznost, ali također imaju visoke troškove instalacije i održavanja. U osnovi, invazivni senzori mogu se svrstati u tri skupine koju čine pasivni magnetski senzori koji su postavljeni na cestama i povezani su žičano ili bežično s procesorskim jedinicama, senzori s pneumatskim cijevima postavljeni preko ceste koji prenose podatke procesorskim jedinicama putem žičanih/bežičnih medija te induktivne petlje koje su žičane zavojnice zakopane u cestama i šalju podatke procesorskim jedinicama. Ova skupina senzora najviše se koristi u sustavima kontrole prometa [17. p. 24].

Najrašireniji tip senzora za praćenje prometa su ugradbene induktivne petlje (engl. *inductive loops*). Ove petlje sastavljene su od žica većih promjera ukopanih ispod ceste te spojenih na kontrolnu kutiju postavljenu uz rub ceste. Kontrolna kutija provodi električnu struju kroz petlju dok dolazak vozila mijenja induktanciju petlje. U većini uređaja, kontrolna kutija generira digitalni signal temeljen na određenoj induktancijskoj vrijednosti koji se potom može koristiti za upravljanje semaforima ili za brojanje vozila. Induktivne petlje moraju biti fizički prostrane jer nisu u mogućnosti razlikovati vozila u gustom prometnom stanju kada se primjerice dva vozila istovremeno nalaze iznad senzora. Za detekciju prometa također se mogu koristiti magnetski senzori. Ovi senzori reagiraju na prolazna vozila mjereći promjene u magnetskom polju Zemlje. Magnetski senzori za praćenje prometa su znatno kompaktniji od induktivnih petlji te se bolje snalaze u brojnim vozilima koja se kreću jedno uz drugo u gusto prometnim situacijama [18. p. 6].

Prilikom ugradnje, magnetski senzori za rad zahtijevaju manju površinu ceste i manje su osjetljivi na utjecaje prometa. Također, potreba za baterijama kojima se služe magnetski senzori može dodatno smanjiti oštećenja ceste i troškove instalacije. Ovi modeli mogu formirati bežične senzorske mreže (engl. *Wireless Sensor Networks*- WSN). Sustavi za detekciju vozila temeljeni na magnetometrima također mogu učinkovito raditi kada su postavljeni u neposrednoj blizini ceste. Prednost tehnologije temeljene na magnetskim sensorima je da čak i jedinica sa jednim sensorom može učinkovito procijeniti smjer kretanja, što se može koristiti za otkrivanje vozila koja voze u krivom smjeru, npr. tijekom pretjecanja. Klasifikacija vozila pomoću tehnologije magnetskih senzora može se provesti pomoću dva senzora mjerenjem duljine vozila i/ili obradom magnetskog potpisa vozila, koji je puno detaljniji od potpisa temeljenog na induktivnoj petlji. Za razliku od induktivnih

petlji, osovine vozila ne mogu se lako detektirati u valnim oblicima [19. p. 92]. Slika 2. prikazuje primjere upravljanja prometom pomoću inteligentnih transportnih sustava.



Slika 2. Primjeri upravljanja prometom pomoću ITS

Izvor: Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., Contreras-Castillo, J.: *Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Sensors (Basel), Vol. 18., No. 4., 2018., p. 12

Povećanjem raznolikosti i sazrijevanjem tehnologija senzora, postale su dostupne dodatne vrste senzora. Navedeno uključuje unaprjeđene verzije magnetometara i magnetskih senzora, koji su postavljeni u ili ispod kolnika, te sustave video detekcije (engl. *Video Detection Systems* - VDS), mikrovalne radarske senzore, Doppler mikrovalne senzore, pasivne infracrvene (engl. *Passive Infrared* - PIR) senzore, lidarske senzore, akustičke senzore, ultrazvučne senzore i senzore koji koriste kombinacije ovih tehnologija. Vrste navedenih senzora postavljene su iznad ili sa strane kolnika, pri čemu mnogi mogu pokrivati više prometnih traka [20. p. 1].

Senzori se često koriste za kontrolu semafora na križanjima; oni identificiraju područja gdje se promet akumulira dok se približava križanju, te produžuju zeleno svjetlo kako bi omogućili prolazak većeg broja vozila. Transponderi instalirani na križanjima također se mogu koristiti za davanje prednosti ulasku u križanje kako bi hitna vozila i javni

prijevoz mogli brže proći kroz križanje. Pažljivim reguliranjem vremena semafora i brzine prilazećih vozila, upravljanje križanjem nastoji maksimizirati protok na križanju i smanjiti vrijeme zaustavljanja.

Otkrivanje i prevencija nesreća, jedno od područja pametnog prijevoza, izuzetno je važno za svaki grad jer učinkovita preventivna strategija može spasiti živote. Ako vozači održavaju veću koncentraciju tijekom vožnje, nesreće se mogu izbjeći. Sustav za prevenciju nesreća omogućava vozačima da budu obaviješteni o kritičnim situacijama i da brzo reagiraju. Identificiranjem mjesta sklonih nesrećama ili nesreća koje su već nastale u stvarnom prometnom sustavu, otkrivanje nesreća također može pomoći smanjiti broj nesreća i gužvi u prometu. Strojno učenje se pokazalo posebno korisnim u identificiranju prometnih incidenata, kao i u prepoznavanju obrazaca koji mogu dovesti do novih nesreća te obavještavanju vozača kako bi im pomogao da ih izbjegnu [21. p. 22-23].

Pored senzora u cestovnom prometu i njihove važnosti za nesmetano i sigurno upravljanje prometom kroz sustav inteligentnih prometnica značajno je detaljno opisati senzore u vozilima. Sljedeće potpoglavlje rada sveobuhvatno prikazuje senzore u vozilima.

3.2.Senzori u vozilima

Način na koji autonomna vozila stječu informacije o okolini jest kroz svoje senzore. Senzori moraju generirati perceptivni i lokacijski pogled na okolinu kako bi vozilo moglo donositi odluke u stvarnom vremenu što zahtijeva brzo i precizno generiranje visokokvalitetnog razumijevanja lokacije vozila, kako bi se te informacije mogle dalje proslijediti kontrolnim algoritmima. U autonomnim vozilima se koriste dvije glavne vrste senzora: eksteroreceptivni senzori koriste se za percepciju okoline i izračun udaljenosti do objekata i proprioceptivni senzori koji mjere vrijednosti unutar samog sustava, kao što su brzina motora, položaj kotača, kutovi zglobova i sl. [22. p. 1]. Sljedećim potpoglavljima analizirani su najčešće korišteni senzori u autonomnim vozilima.

3.2.1. Kamera

Prije svega kamere se koriste za praćenje držanja tijela vozača, položaja glave i aktivnosti očiju kako bi se otkrile abnormalne situacije poput znakova umora ili ponašanja vozila koje nije uobičajeno (skretanje s pravca na cesti ili iznenadan prelazak pješaka ispred vozila). Pored navedenog, kamere pružaju mogućnost izvršavanja aplikacija koje pomažu vozačima da vide dalje niz cestu i otkriju objekte poput životinja, ljudi ili drveća na putu koji mogu izazvati potencijalno opasnu situaciju ili nesreću [23. p. 4].

Novi automobili imaju desetke različitih kamera postavljenih na vozila. Kamere omogućuju autonomnom vozilu da doslovno vizualizira svoju okolinu. Veoma su učinkovite u klasifikaciji i interpretaciji teksture, široko su dostupne i pristupačnije od RADAR-a ili LiDAR-a. Nedostatak kamere je potrebna računalna snaga za obradu podataka. Najnovije kamere visoke razlučivosti mogu proizvesti milijune piksela po okviru, s 30 do 60 okvira u sekundi, kako bi razvile složene slike što dovodi do više megabajta podataka koji su potrebni za obradu u stvarnom vremenu [24. p. 420-425].

Kamera radi na principu pasivnih svjetlosnih senzora kako bi proizvela digitalnu sliku pokrivenog područja. Kamere su sposobne otkriti i pokretne i statičke objekte u svom okruženju. Glavna prednost kamera u odnosu na druge vrste senzora je ta što imaju sposobnost vidjeti boje i teksture što je velika prednost za poboljšanje percepcijskog sustava autonomnih vozila jer tehnologija omogućuje vozilu da identificira prometne znakove, semafore, oznake traka itd. Kamere također mogu odrediti udaljenost do određenog objekta, ali to zahtijeva prilično složene procesne algoritme. Još jedna velika prednost ove tehnologije je njihova niska cijena i visoka dostupnost, iako je potrebna visoka obradna snaga za analizu podataka, još uvijek su jeftinija opcija od LiDAR sustava. Glavne mane kamera su osjetljivost na slabu svjetlost i mogu biti snažno pogođene lošim vremenskim uvjetima. Većina proizvođača autonomnih vozila naglašava da su kamere temeljna tehnologija za potpuno autonomnu navigaciju, ali ih se može maksimalno iskoristiti tek spajanjem podataka koje pružaju s podacima LiDAR ili RADAR sustava [22. p. 2]. Sljedećim potpoglavljem daje se uvid u karakteristike RADAR senzora.

3.2.2. **RADAR**

Radar (engl. *Radio Detection and Ranging*) je senzor integriran u vozila za različite svrhe poput adaptivnog kontroliranja brzine, upozorenja na mrtvi kut, upozorenja na sudar i izbjegavanja sudara. Iako je RADAR zrela tehnologija i dalje se poboljšava, posebno za primjenu kod autonomne vožnje. Dok ostali senzori mjere brzinu računajući razliku između dviju očitavanja, RADAR koristi Dopplerov efekt za direktno mjerenje brzine. Dopplerov efekt je važan za fuziju senzora jer pruža informacije o brzini kao neovisan parametar mjerenja, što čini da algoritmi fuzije konvergiraju puno brže. Radar se može koristiti za lokalizaciju generiranjem radar mapa okoline, može „vidjeti“ ispod drugih vozila te uočiti građevine i objekte koji bi inače bili skriveni. Od svih senzora na vozilu, radar je najmanje pogođen u uvjetima kiše ili magle te može imati široko polje pokrivenosti, oko 150 stupnjeva, ili dugi doseg, preko 200 metara. U usporedbi s LIDAR senzorima i kamerama, radari imaju nisku razlučivost, posebno u vertikalnom smjeru [24. p. 422].

Radarski senzori se klasificiraju kao senzori kratkog do srednjeg dometa (50-100 m), međutim, neki su sposobni detektirati objekte na udaljenosti i većoj od 150 m. Radarski senzori pružaju mnoge prednosti za autonomna vozila zbog svoje otpornosti na sve vrste okolišnih uvjeta. Za razliku od LiDAR senzora, RADAR je znatno jeftiniji i mnogo lakše dostupan. Radarski senzori se često koriste u modernim cestovnim vozilima koja sadrže sustave napredne pomoći vozaču ADAS (engl. *Advanced driver-assistance systems*). Ti sustavi su dizajnirani za pružanje funkcija upravljanja vožnjom kao i detekciju sudara. Još jedna važna značajka ovih senzora je ta što su također sposobni odrediti relativno kretanje detektiranih objekata [22. p. 1-2]. Sljedećim potpoglavljem opisuju se karakteristike LiDAR senzora.

3.2.3. **LiDAR**

LiDAR (engl. *Light Detection and Ranging*) odnosno senzori za detekciju svjetla i određivanje udaljenosti, koristi infracrveni laserski snop za precizno određivanje udaljenosti do obližnjih objekata. Većina današnjih LiDAR senzora u automobilskoj industriji koristi svjetlost u rasponu valnih duljina od 900 nm, iako neki omogućuju i mjerenje dužih valnih duljina, posebice kada je prisutna kiša ili magla. Ti senzori opremljeni su rotirajućim okretnicima koji omogućuju skeniranje laserskim zrakama preko cijelog vidnog polja. Refleksije tih zraka od objekata stvaraju oblak točaka koji precizno predstavlja okolinu.

Zahvaljujući fokusiranijem laserskom snopu, većem broju slojeva skeniranja u vertikalnom smjeru i visokoj gustoći točaka po sloju, LiDAR ima značajno veću prostornu razlučivost od RADAR-a. Osim toga, postoje i LiDAR senzori s vibrirajućim mikro-zrcalima koji omogućuju precizno skeniranje laserskim zrakama. Umjesto mehaničkog pomicanja snopa, ovi senzori koriste sličan princip kao faze niza radara [24. p. 420-425].

Razdvajanjem jednog laserskog snopa na više niti, može se mijenjati fazna relacija između niti i time promijeniti smjer laserskog snopa. Koherentni LiDAR senzori mogu direktno mjeriti brzinu. Visoka razlučivost je važna za identifikaciju objekata. LiDAR senzori mogu mapirati statično okruženje kao i otkriti i identificirati pokretna vozila, pješake i divlje životinje. Današnji LiDAR senzori su sposobni mjeriti udaljenosti pri brzinama većim od 150 kiloherca (150.000 impulsa u sekundi) i klasificirani su kao senzori dugog dometa s dometom većim od 250 metara. Kao takvi mogu proizvesti visoko razlučivu, gusto raspoređenu mrežu točaka elevacije nazvanu oblak točaka. Ovi podaci oblaka točaka potrebni su za precizne tehnike lokalizacije i kartiranja poput simultane lokalizacije i kartiranja; SLAM-a (engl. *Simultaneous Localization & Mapping*). Potencijal ovih senzora još nije potpuno istražen zbog njihove visoke cijene i niske dostupnosti. Oni su kompleksni mehanički sustavi ogledala koji nude potpunu vidljivost od 360° i mogu koštati desetke tisuća eura. Danas se bilježi pomak prema razvoju LiDAR senzora niže cijene koji su pogodniji za masovnu implementaciju. Dva takva sustava uključuju čvrsti LiDAR i infracrveni LiDAR [22. p. 2]. Sljedećim potpoglavljem daje se uvid u karakteristike ultrazvučnih senzora.

3.2.4. Ultrazvučni senzori

Ultrazvučni senzori prikladni su za mnoge zadatke detekcije u industrijskim primjenama. Imaju sposobnost detektiranja objekata koji su čvrsti, tekući, zrnati ili u prahu. Ultrazvučni senzori oslanjaju se na zvučne pretvarače za prijenos zvučnih valova u rasponu od 40 kHz do 70 kHz za automobilske primjene. Ovaj frekvencijski raspon izvan je slušnog raspona za ljude, što ga čini sigurnim za ljudske uši što je važan faktor budući da sustavi za parkiranje automobila mogu generirati više od 100 dB tlaka zvuka kako bi osigurali jasan prijem, što je ekvivalentno slušnom tlaku zvuka mlaznog motora. Većina ultrazvučnih senzora temelji se na principu mjerenja vremena leta zvučnih valova između prijena i prijema. Izmjereno

vrijeme leta zatim se koristi za izračun udaljenosti (d) do objekta ili reflektora unutar mjernog raspona [25. p. 6].

Poboljšanje performansi povezivanja podataka i klasifikacije pokreta može se postići upotrebom informacija o klasama i obliku vizualnih objekata kako bi se odabrala metoda za detekciju objekata [24. p. 6]. Među svim sensorima za detekciju prepreka, ultrazvučni senzori imaju najveći tržišni udio i očekuje se da će biti sve više instalirani na vozilima. Glavna prednost ultrazvučnih senzora je što su obično najjeftiniji u odnosu na ostale vrste senzora. Već godinama ih većina proizvođača automobila koristi kao senzore za parkiranje. Ultrazvučni senzori također se smatraju najpreciznijim sensorima u primjenama bliskog dometa. Međutim, nedostatak ovih senzora je što će biti ozbiljno pogođeni akustičnom interferencijom. Budući da se zvuk može širiti samo u mediju, promjene okolišnih uvjeta poput temperature i vlage bitno će utjecati na performanse senzora [26. p. 1021-1022].

Jedan od izazova u razvoju autonomnih vozila je sposobnost preciznog osjećanja okoline. Stoga je za potpunu sigurnost značajno kombinirati različite senzore u vozilima. Fuzija senzora uključuje spajanje podataka više senzora kako bi se povećala percepcija vozila i stvorio pouzdaniji i precizniji sustav. Vozilo je obično opremljeno skupom senzora koji pružaju specifične informacije o okolini. Prednost je u tome što svi ovi senzori promatraju istu scenu, pa se kombiniranjem informacija sa svih senzora može postići visokokvalitetni izlaz. Različiti senzori imaju različite prednosti i nedostatke. Radar može pružiti precizna mjerenja udaljenosti i nije pogođen osvjetljenjem okoline, ali ne pruža detaljne informacije o izgledu objekata. S druge strane, kamere mogu pružiti detaljne podatke o izgledu objekata, ali mogu biti nepostojane u različitim uvjetima osvjetljenja. Stoga, spajanjem prednosti svakog pojedinog senzora, sustav može postati sposobniji za postizanje maksimalne učinkovitosti [22. p. 3]. Sljedeće potpoglavlje rada prikazuje taksonomiju senzora u vozilima odnosno njihovu klasifikaciju i primjenu.

3.3. Taksonomija senzora u vozilima

U prometu, tehnologija senzora podržava dizajn i razvoj različitih primjena za kontrolu prometa, sigurnost kao i zabavu. U posljednjih nekoliko godina, senzori i aktuatori poput senzora tlaka u gumama i sustava za vidljivost u retrovizoru postali su obvezni u proizvodnji vozila i implementaciji inteligentnih sustava prometa, s ciljem pružanja usluga za povećanje zadovoljstva vozača i putnika, poboljšanje sigurnosti na cestama i smanjenje prometnih

gužvi. Ostali senzori se po želji ugrađuju kako bi pratili performanse i status vozila, pružili veću učinkovitost i pomoć vozačima. Trenutno, prosječan broj senzora u vozilu je oko 60–100, ali kako vozila postaju „pametnija“, broj senzora bi mogao doseći i do 200 senzora po vozilu [23. p. 2]. Tablica 1. prikazuje klasifikaciju i kategorije senzora unutar vozila.

Tablica 1. Klasifikacija i kategorije senzora unutar vozila

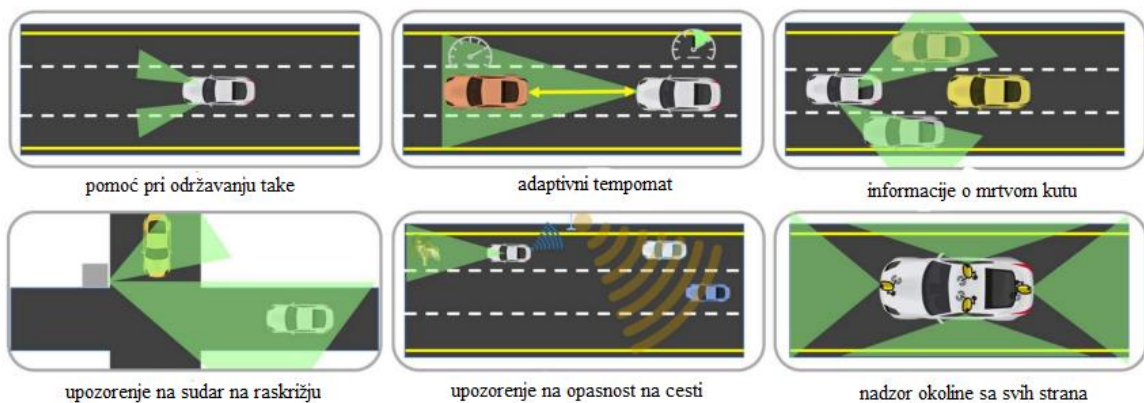
Kategorija	Opis	Primjer
Sigurnost	Tvore temelj sigurnosnih sustava i usredotočuju se na prepoznavanje opasnosti od nesreća i događaja gotovo u stvarnom vremenu.	Mikromehaničkioscilatori, senzori brzine, kamere, radari i laserski snopovi, inercijalni senzori, ultrazvučni senzori, senzori blizine, senzori noćnog vida, haptički senzori.
Dijagnostika	Fokusira se na prikupljanje podataka za pružanje informacija u stvarnom vremenu o stanju i performansama vozila radi otkrivanja bilo kakvih kvarova vozila.	Senzor položaja, kemijski senzori, senzori temperature, senzori sastava plina, senzor tlaka, senzor zračnog jastuka.
Promet	Prati uvjete prometa u određenim zonama, prikupljajući podatke koji poboljšavaju upravljanje prometom.	Kamere, radari, ultrazvuk, senzori blizine.
Pomoć	Odgovorni su za prikupljanje podataka koji pružaju podršku za aplikacije udobnosti i praktičnosti.	Senzor sastava plina, senzori vlage, senzori temperature, senzori položaja, senzori okretnog momenta, senzori slike, senzori kiše, senzori sprječavanja zamagljivanja, senzori udaljenosti.
Okoliš	Prate uvjete okoliša i nude vozačima i putnicima usluge upozorenja koje se koriste kako bi se poboljšala njihova putovanja.	Senzori tlaka, senzori temperature, senzori udaljenosti, kamere, vremenski uvjeti.
Korisnik	Fokusira se na prikupljanje podataka koji podržavaju otkrivanje abnormalnih zdravstvenih stanja i ponašanja vozača koja mogu pogoršati vozačku izvedbu.	Kamere, termistori, senzori elektrokardiograma (EKG), senzori elektroencefalograma (EEG), senzor brzine otkucaja srca.

Izvor: Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., Contreras-Castillo, J.: *Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Sensors (Basel), Vol. 18., No. 4., 2018., p. 3

Sljedećim se potpoglavljima opisuju karakteristike i značaj pojedinih kategorija senzora u inteligentnim transportnim sustavima uključujući kategoriju sigurnosti, dijagnostike, okoliša i korisnika.

3.3.1. Kategorija sigurnosti

Sustavi za upozorenja na sudar na raskrižju koriste položajne i brzinske senzore kako bi odredili vjerojatnost sudara vozila i šalju upozoravajući signal kada je vjerojatnost sudara veća od nekog uspostavljenog sigurnosnog raspona. Sustavi nadzora okoline koriste kamere za otkrivanje prepreka oko automobila, olakšavajući postupak parkiranja i manevriranja. Sustav za prilagodljivi tempomat (engl. *Adaptive Cruise Control* - ACC) održava vozilo pri brzini postavljenoj od strane vozača, i kada detektira vozilo ispred, koje se kreće sporijom brzinom od vozila vozača, kontrolira brzinu vozila kako bi se uskladila s brzinom vozila ispred. Također provodi kontrolu slijeđenja vozila kako bi se održala razina udaljenosti između vozila koju je postavio vozač (udaljenost proporcionalna brzini vozila). Prošla istraživanja ACC sustava bila su usmjerena na dizajn sustava kontrole udaljenosti prilikom slijeđenja vozila koristeći linearne aproksimacije i linearnu logiku kontrole [27. p. 3]. Slika 3. prikazuje primjer sigurnosne primjene senzora u vozilima.



Slika 3. Primjer sigurnosne primjene senzora

Izvor: Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., Contreras-Castillo, J.: *Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Sensors (Basel), Vol. 18., No. 4., 2018., p. 11

Funkcija prilagodljivog tempomata uključuje uglavnom radarske senzore, ultrazvučne senzore udaljenosti, infracrvene senzore udaljenosti, digitalne procesore signala i kontrolne module. Kada je funkcija prilagodljivog tempomata u upotrebi, precizna pozicija vozila ispred mjeri se fuzijom više senzora poput radara niskog napajanja ili infracrvenih snopova. Kada vozilo ispred počne usporavati ili se pojave novi ciljevi, automatski sustav

upravljanja poslat će signal kočnici kako bi smanjio brzinu. Kada ispred nema automobila ili automobil ispred mijenja trake, sustav prilagodljivog tempomata dopustit će automobilu sigurnu vožnju prema postavljenoj brzini, a radar će neprekidno otkrivati ciljeve ispred i prilagođavati brzinu vozila prema stvarnim uvjetima na cesti. Trenutno, upravljački dizajn sustava prilagodljivog tempomata uglavnom usvaja dvoslojnu kontrolu. Gornji kontroler svoj rad temelji na okolini vožnje koju detektiraju senzori na vozilu kako bi izračunao odgovarajuće očekivano ubrzanje, dok donji kontroler upravlja kočnicom i gasom na temelju očekivanog ubrzanja dobivenog od gornjeg kontrolera kako bi postigao odgovarajuće ubrzanje ciljnog vozila [28. p. 1-2]. Sljedeće potpoglavlje opisuje kategoriju dijagnostike.

3.3.2. Dijagnostika

Ovi senzori u vozilu koriste se za pružanje dijagnostičkih usluga vozačima kako bi otkrili kvarove komponenata i spriječili daljnja oštećenja koja bi mogla uzrokovati kvar. Osim upozorenja vozačima, sustav dijagnostike u vozilu bilježi sve dostupne podatke radi njihove upotrebe u sljedećem dijagnostičkom pregledu što štedi vrijeme u otkrivanju problema. Također, sustav dijagnostike može omogućiti izvještavanje za daljinsku dijagnozu. Većina senzora za dijagnostiku u vozilu smještena je u području pogonskog sklopa kako bi pratila stanje i funkcioniranje mehaničkih dijelova i motora vozila. Neke od njih također se mogu koristiti za dijagnosticiranje stanja šasije i karoserije vozila [29. p. 289].

Dijagnostika se postiže korištenjem raznovrsnih vrsta senzora, uključujući senzore za pogon koji omogućuju stvarno vrijeme praćenje mehaničkih komponenata i performansi motora, senzore razine goriva, kemijske senzore za procjenu kvalitete tekućina, senzore temperature za mjerenje temperature tekućina ili plinova, senzore kompozicije za nadzor izgaranja motora radi smanjenja onečišćenja, senzore šasije za identifikaciju kvarova u sustavima šasije, senzore brzine i tlaka za praćenje tlaka i brzine kotača, omogućujući procjenu stanja sustava protiv blokiranja kočnica i sustava kontrole trakcije te senzore unutar vozila za dijagnosticiranje električnih i ambijentalnih sustava. Napredak ove kategorije može se olakšati integracijom komunikacijskih tehnologija, omogućujući izravno prijenos informacija u oblak i sektor usluga i održavanja vozila. Nadalje, upotreba personaliziranog registra vozila pruža potencijal za prepoznavanje i sprječavanje potencijalnih kvarova vozila unaprijed putem održavanja sveobuhvatnih zapisa i statusa za svaki dio vozila [23. p. 12]. Sljedećim potpoglavljem opisuje se kategorija okoliša.

3.3.3. Kategorija okoliša

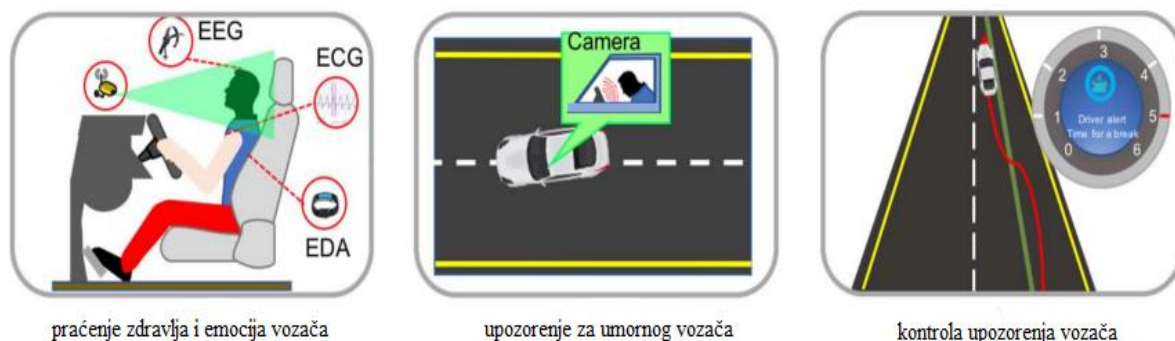
U vozilima se koriste aplikacije za vremenske uvjete na cestama kako bi se olakšale odluke o strategijama održavanja i savjetovalo vozače o uvjetima na cestama. Na cestama su postavljene meteorološke postaje i infracrveni senzori za određivanje temperature zraka, oborina te prisutnosti magle, dima ili drugih uvjeta koji bi mogli povećati rizik za vozače ili utjecati na odluke o održavanju cesta. Aplikacije za stanje na cestama koriste infracrvene senzore za mjerenje infracrvenog zračenja s površine te primjenjuju inteligentno procesiranje signala za daljinsko mjerenje parametara ceste poput temperature, količine vode, leda i snijega. Jedna varijacija je aplikacija za praćenje anomalija na površini ceste koja koristi senzore poput GPS-a, lasera, infracrvenih i akcelometara u vozilima za otkrivanje anomalija poput rupa ili drugih usporivača brzine.

Ipak, pojedinačni rad aplikacija nije uspješan za stvaranje ITS-a; jedino su potpuna integracija i razmjena podataka podržana računalstvom u oblaku i inteligentnim algoritmima ključni su za upravljanje prometom kako bi se donosile odluke uzimajući u obzir ne samo protok vozila, već i uvjete okoliša i okoline kako bi se omogućila uravnotežena redistribucija prometa i smanjila onečišćenja unutar određene zone bez utjecaja na druge [23. p. 13]. Sljedeće potpoglavlje objašnjava kategoriju korisnika u sklopu primjene senzora u autonomnim vozilima.

3.3.4. Kategorija korisnika

Najčešće zastupljene tehnike detekcije pospanosti vozača i praćenja nepažnje jesu vizualne karakteristike (izrazi lica, treptaji očiju, pogled, pokreti glave) koje koriste računalne tehnike obrade slike. Druga vrsta tehnika za određivanje razine pospanosti vozača koristi parametre vozila kao što su pokretanje upravljača, brzina kretanja vozila, pritisak na kočnicu, ugao guma i ostalog korištenjem senzora. Iako ove dvije vrste tehnika koriste neinvazivne senzore i prednosti sofisticiranih tehnologija obrade slika i računalstva, ove tehnike imaju ozbiljna ograničenja. Budući da su fizički parametri na kojima se ove tehnike zasnivaju mogu biti različiti za različite vozače i različite načine vožnje, ove tehnike ponekad netočno detektiraju pospanost. Međutim, treća vrsta tehnika, zasnovana na fiziološkoj analizi vozača, može preciznije odrediti razinu pospanosti vozača jer su fiziološki pokazatelji direktno povezani sa fizičkim i mentalnim umorom vozača. Različiti fiziološki pokazatelji kao što su

elektrokardiogram (EKG), elektroencefalogram (EEG) i elektrookulogram (EOG) obično se koriste u ovim tehnikama [23. p. 14]. Slika 4. prikazuje aplikacije za praćenje korisnika inteligentnog sustava.



Slika 4. Aplikacije za praćenje korisnika inteligentnog sustava

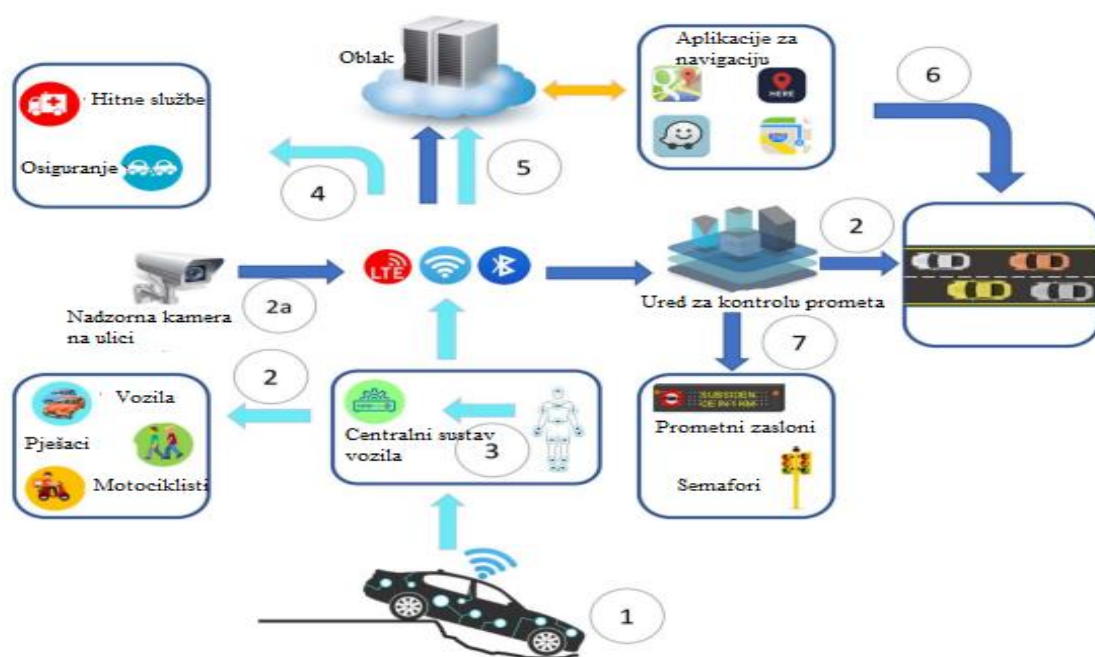
Izvor: Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., Contreras-Castillo, J.: *Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Sensors (Basel), Vol. 18., No. 4., 2018., pp. 11

Mjerenje pospanosti vozača na osnovu informacija dobivenih od vozila u većini se slučajeva mjeri postavljanjem senzora na različite dijelove vozila uključujući volan i papučicu za ubrzanje; signali poslani od strane senzora se zatim analiziraju kako bi se utvrdio nivo pospanosti. Dvije najčešće korištene tehnike zasnovane na tim informacijama su pokretanje upravljača i standardna devijacija pozicije trake. Mjerenje pokreta upravljača (engl. *Steering Wheel Movement - SWM*) obavlja se pomoću senzora kuta upravljača i to je široko korištena metoda za otkrivanje razine pospanosti vozača. Pomoću senzora kuta postavljenog na upravljački stup, mjeri se ponašanje vozača tijekom vožnje. Kada je vozač pospan, broj mikro-korekcija na upravljaču se smanjuje u usporedbi s normalnom vožnjom. Stoga je na temelju malih pokreta upravljača moguće odrediti stanje pospanosti vozača i, ako je potrebno, uputiti upozorenje. Standardna devijacija položaja trake (engl. *Standard Deviation of Lane Position - SDLP*) je još jedna tehnika putem koje se može procijeniti razina pospanosti vozača. U simuliranom okruženju, softver sam izračunava SDLP, a u slučaju terenskih eksperimenata položaj trake se prati pomoću vanjske kamere [30. p. 575].

Brojne su prednosti različitih kategorija senzora te njihove primjene u inteligentnim vozilima. Sljedećim potpoglavljem ukratko se nastoji prikazati primjer primjene senzorskih tehnologija u inteligentnim sustavima prometa.

3.4. Primjene senzorskih tehnologija u inteligentnim sustavima prometa

Kako bi se prikazao rad senzorskih tehnologija u ovom potpoglavljju prikazana je studija slučaja koja pokazuje kako se tehnologije senzora mogu integrirati s informacijskim i komunikacijskim tehnologijama kako bi se poboljšali sustavi prijevoza i pružila pomoć i podrška kada je automobil uključen u prometnu nesreću zbog iznenadnog otvaranja rupe na cesti te kada se automobil nađe unutar te rupe.



Slika 5. Primjer rada senzorskih tehnologija u slučaju nesreće

Izvor: Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., Contreras-Castillo, J.: *Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Sensors (Basel), Vol. 18., No. 4., 2018., p. 15

Prvo, sustav za nadzor vozila otkriva potencijalno opasnu situaciju koristeći senzore unutar vozila, senzore izvan vozila te nosive senzore na putnicima (akcelerometar, koji mjeri horizontalni položaj vozila; LiDAR koji mjeri udaljenost do sudara; senzori sudara koji detektiraju razmjere sudara, EKG koji mjeri promjene u brzini otkucaja srca). Međutim,

nesreća je neizbježna i automobil se nađe u nedavno nastaloj rupi na cesti. Automobil odmah pokreće uključene protokole sigurnosti kako bi se obavila preliminarna procjena situacije. Nadalje, centralni sustav vozila pokreće protokol emitiranja upozorenja kako bi obavijestio vozače i pješake u blizini o nesreći i kako bi se poduzele dodatne sigurnosne i pravovremene mjere (na primjer: smanjenje brzine ili odabir alternativnih ruta). Istovremeno, korištenjem algoritama prepoznavanja uzoraka koji se izvode u nadzornim kamerama, prometna infrastruktura detektira situaciju i aktivira niz sigurnosnih mjera za ovu situaciju, pri čemu inteligentna prometna svjetla mogu promijeniti svoju strategiju upravljanja, zabranjujući ulazak vozilima u ulicu ili blokirajući pristup cesti. Zatim, centralni sustav vozila prima informacije i obavlja procjenu zdravstvenog statusa putnika, putem nosivih senzora na putniku.

Nakon procjene štete na vozilu i zdravstvenog statusa putnika, centralni sustav obavještava relevantne strane, poput osiguravajućeg društva vozila, slanjem informacija poput lokacije, broja police osiguranja i preliminarne procjene štete provedene na temelju informacija pruženih različitim sensorima; ili hitnih službi, slanjem obavijesti o nesreći uključujući, ali ne ograničavajući se na, broj putnika, lokaciju putnika unutar vozila i vitalne znakove svakog putnika. Sve informacije o nesreći, generirane sustavima i protokolima vozila te infrastrukturom ceste, šalju se i pohranjuju u oblaku i dostupne su informacijskim sustavima kako bi pružile daljnje informacije i obavijesti u stvarnom vremenu drugim vozačima. Usluge lokacije poput: Google Maps, Apple Maps, HereWeGo i Waze mogu koristiti informacije kako bi izračunale nove ili alternativne rute i spriječile prometne gužve ili drugu nesreću. Centralni sustav može kontinuirano slati obavijesti o stanju promente infrastrukture (prometnim svjetlima, upozoravajućim zaslonima, prometnim signalima) kako bi vozači i pješaci bili informirani o situaciji u prometu [23. p. 16]. S obzirom na značaj i sve češću primjenu inteligentnih transportnih sustava i senzora u istima važno je napomenuti da će njihov razvoj u budućnosti prolaziti kroz izazove. Stoga se sljedećim potpoglavljem nastoje prikazati izazovi i budući trendovi razvoja inteligentnih transportnih sustava i senzora u vozilima.

3.5. Izazovi i budući trendovi

U okviru primjena inteligentnih sustava u prometu nekoliko je izazova koje će biti potrebno rješavati u budućnosti kako bi se poboljšali prometni sustavi, mobilnost i sigurnost vozača i putnika. Neprestano uvođenje inteligentnih senzora unutar fizičke infrastrukture, u vozilima te u mobilne senzorske jedinice i sustave temeljene na računalnom vidu pomoći će u

osiguravanju sigurnosti. Međutim, sami senzori ne mogu riješiti izazov mobilnosti; za poboljšanje prometnih sustava potrebna je integracija drugih tehnologija i uređaja poput analize podataka, alata za automatizirani rad, alata za donošenje odluka te društvenih i mobilnih mreža kako bi se ispunili zahtjevi za potpunu integraciju i u stvarnom vremenu primali, analizirali i dijelili s relevantnim stranama svi podaci generirani iz različitih izvora [23. p. 16].

Privatnost i sigurnost vozila uvelike ovise o smanjenju invazivnosti na dva nivoa. Dijeljenje informacija u povezanom okruženju može omogućiti identifikaciju korisnika. Naime, kako bi se spriječilo otkrivanje bilo kakvih informacija koje bi mogle dovesti do potencijalnog rizika za privatnost putnika u vozilu, potrebno je uključiti sigurnosne i privatne protokole u komunikacijske uređaje. Dodatno, integracija novih uređaja u vozilu zahtijeva od istih da budu optimalno smješteni unutar ili izvan vozila kako ne bi ometali vozača, ali istovremeno povećavali njegovu udobnost pružajući sve relevantne informacije o različitim dijelovima vozila. Također je važno razmotriti optimalno sučelje za upozorenje vozača. Moguće rješenje je stvaranje mehanizama za poboljšanje fokusa vozača na vožnju; minimiziranje ometača, uključujući upozorenja i informacije o infrastrukturi uz cestu, možda automatizirajući neke zadatke na temelju ljudske interferencije putem umjetne inteligencije [23. p. 17].

Senzorske tehnologije koje se koriste u prometu od velikog su značaja te omogućavaju stvaranje sigurnosti i brzu reakciju te pomažu u osiguravanju neometanog prometa. S obzirom na porast umjetne inteligencije i s njom povezanih tehnologija očekuje se da će u budućnosti pametna vozila osiguravati dodatne značajke koje će poboljšati sigurnost korisnika tako i sigurnost odvijanja prometa. Brojni proizvođači automobila koriste različite senzorske tehnologije a jedan od njih je i Toyota čije su senzorske tehnologije opisane sljedećim poglavljem rada.

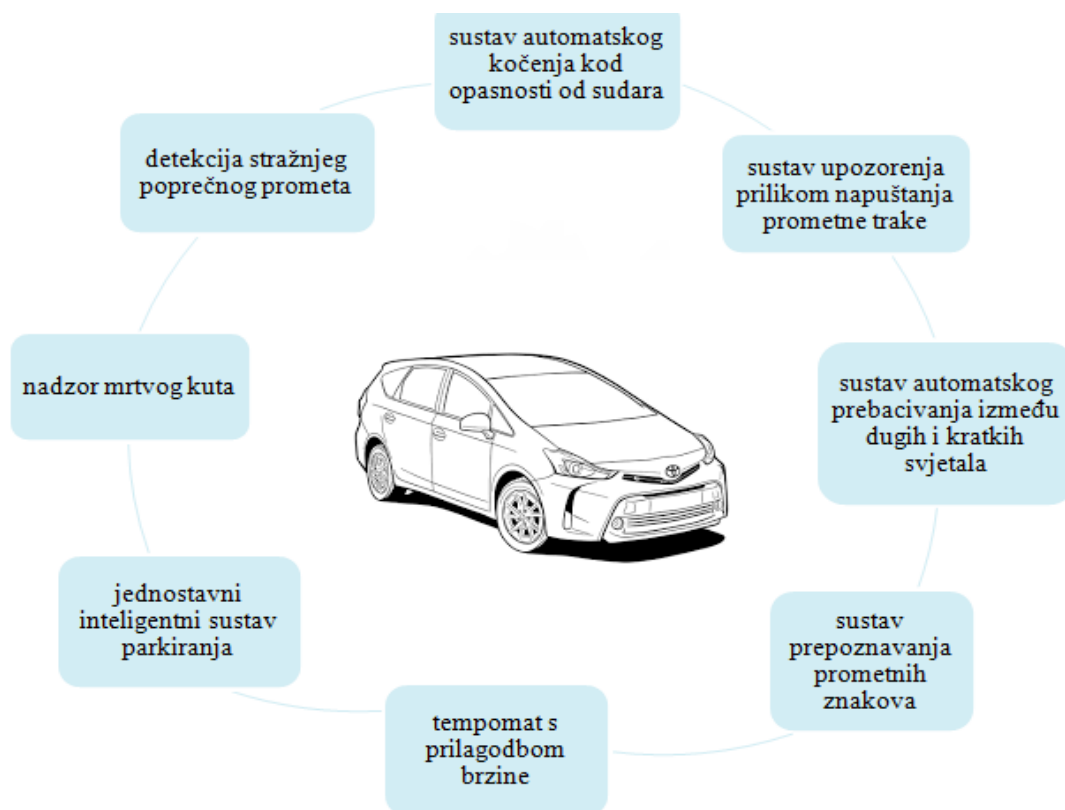
4. CASE STUDY – SENZORI AUTOMOBILA TOYOTA PRIUS

Japanska tvrtka Toyota Motor Corporation osnovana je 1937. godine. Bavi se dizajnom, proizvodnjom, montažom i prodajom putničkih automobila, minivanova, komercijalnih vozila te pripadajućih dijelova i dodatne opreme, prije svega u Japanu, Sjevernoj Americi, Europi i Aziji. Trenutni brendovi tvrtke uključuju Toyotu, Lexus, Daihatsu i Hino. Temeljna kompetencija tvrtke Toyota Motor Corporation je njezina sposobnost proizvodnje automobila visoke kvalitete po najboljim cijenama, pružajući tako kupcima odgovarajuću vrijednost za uloženi novac. Ova osnovna kompetencija kvalitete može se pripisati inovativnim proizvodnim praksama tvrtke. Kvaliteta proizvoda tvrtke Toyota revolucionirala je automobile u prošlosti, te su gotovo sve automobilske tvrtke morale pokušati poboljšati kvalitetu svojih proizvoda. Toyota koristi vlastiti proizvodni sustav poznat kao „Toyota Production System“ ili TPS. TPS se temelji na konceptu Lean proizvodnje koja je dovela Toyotu do konkurentske prednosti i vodeće pozicije na tržištu [31. p. 4-6].

Lean proizvodnja je izumljena 1950-ih godina od strane Ōno Taiichija, direktora tehnologije proizvodnje i glavnog inženjera proizvodnje u Toyoti. Proizvođači automobila u Sjedinjenim Američkim Državama mogli su si priuštiti kupnju specijaliziranih strojeva koji bi se mogli koristiti na dugi vremenski period i tako izdvojiti prostor u tvornici kako bi zadržali obilne zalihe u svrhu osiguravanja trajnosti proizvodnih linija. Problem s kojim se suočio Ōno bio je taj što Toyota nije imala dovoljno veliko tržište da podrži takav sustav. Stoga je osmislio alternativni pristup koji zahtijeva niže kapitalne troškove i nudi veću produktivnost po jedinici kapitala od metode znanstvenog upravljanja [32. p. 141].

4.1. Toyota SafetySens

Toyota SafetySense predstavlja skup naprednih sigurnosnih tehnologija koje uključuju sustav upozorenja na predstojeći sudar, sustav upozorenja na napuštanje prometne trake, sustav automatskog prilagođavanja svjetlosnog snopa i sustav prepoznavanja prometnih znakova. Cilj ovih tehnologija je smanjenje rizika od prometnih nesreća i stvaranje sigurnijeg okruženja za vozače. Slika 6. prikazuje Toyota SafetySens senzore.



Slika 6. Toyota SafetySense senzori

Izvor: izrada Autora

Sustav automatskog kočenja u slučaju opasnosti od sudara koristi laserske senzore i kameru za detekciju mogućih sudara s drugim vozilima ili preprekama. Kada se prepozna potencijalna opasnost, vozač se upozorava zvučnim i vizualnim signalima, a u slučaju potrebe, sustav aktivira kočnice radi izbjegavanja sudara ili smanjenja posljedica [33].

Sustav upozorenja na napuštanje prometne trake (engl. *Lane Departure Alert* - LDA) koristi kameru za detekciju prometnih linija na cesti. Ako vozilo počne skretati izvan trake, vozač se upozorava zvučnim i vizualnim signalima te se, ako je potrebno, automatski korigira položaj upravljača. Sustav koristi dvije kamere postavljene iza unutarnjeg retrovizora kako bi kontinuirano nadgledao položaj vozila u odnosu na oznake prometne trake. Ako detektira da se vozilo udaljava iz svoje trake, LDA aktivira zvučno i vizualno upozorenje kako bi vozač poduzeo korektivne radnje [33].

Sustav automatskog prilagođavanja svjetlosnog snopa poboljšava vidljivost tijekom noćnih vožnji prilagođavajući intenzitet svjetlosnog snopa prema uvjetima na cesti i prisutnosti drugih vozila.

Sustav prepoznavanja prometnih znakova jedna je od najnovijih tehnologija tvrtke Toyota i nadzire prometne znakove uz cestu te prikazuje korisne informacije na zaslonu u boji u vozilu. Također upozorava vozača ako se ne pridržava detektiranih prometnih znakova. Pomoć djeluje tako da identificira prometne znakove poput ograničenja brzine, upozorenja o zabrani pretjecanja i ostale znakove autoceste te ih prikazuje na višenamjenskom TFT zaslonu na upravljačkoj ploči. Dodatno, pomoć pri očitavanju prometnih znakova emitira zvučni signal i upozorava vozača svjetlom ako vozilo premaši ograničenje brzine.

Monitor mrtvog kuta (engl. *Blind Spot Monitor* - BSM) jedan je od najnovijih sigurnosnih sustava za nadzor tvrtke Toyota, koji koristi radarske senzore za stalno promatranje područja u mrtvom kutu vozača radi prisutnosti drugih vozila. Ako je aktiviran pokazivač smjera, BSM upozorava vozača aktiviranjem indikatora na vratnom ogledalu na odgovarajućoj strani vozila.

Sustav upozorenja na stražnji poprečni promet (engl. *Rear Cross Traffic Alert*–RCTA) koristi iste senzore kao monitor mrtvog kuta. Sustav upozorenja na stražnji poprečni promet upozorava vozača na vozila koja se približavaju s bilo koje strane, a nisu vidljiva kroz stražnje staklo ili ogledala, poput situacija kada se vozilo povlači iz parkirnog mjesta. Ako se vozilo otkrije, RCTA emitira upozorenje i trepće svjetlosnim signalima upozorenja u vratnim ogledalima [34].

Tempomat ili kontrolor brzine s njenom prilagodbom je sustav koji održava minimalnu udaljenost do vozila ispred u istoj voznoj traci. Kada se udaljenost smanji, sustav automatski smanjuje brzinu i po potrebi aktivira sustav za kočenje. Ako se udaljenost ponovno poveća, sustav postupno ubrzava vozilo dok ne postigne prethodno odabranu brzinu. Glavni cilj ovog sustava je održavanje sigurnog razmaka između vozila i postupno prilagođavanje brzine kretanja vozila, ovisno o brzini vozila ispred. Vožnja s ovim sustavom smanjuje umor vozača i olakšava vožnju, posebno u gužvama na autocestama. Sustav obično ima tri načina rada: isključen (bez ACC kontrole), pripravnost (aktivira ga vozač ručno) i automatski način rada (ACC uključen cijelo vrijeme aktivnosti tempomata) [35. p. 164-165].

Inteligentni sustav pomoći pri parkiranju (engl. *Intelligent Parking Assist* - IPA) uveden je 2006. godine, značajno olakšavajući proces parkiranja paralelno i parkiranja stražnjim dijelom vozila do ruba kolnika. U oba scenarija, vozač aktivira sustav IPA i polako vozi prema naprijed tako da sustav identificira parkirni prostor putem ultrazvučnih senzora. IPA tada preuzima kontrolu upravljačkog ulaza, povlači vozilo unatrag u parkirni prostor, dok vozač jednostavno upravlja brzinom vozila [34].

Može se zaključiti da sustavi sigurnosti i pomoći u vožnji postaju sve značajniji dio suvremenih vozila, a jedan od dobrih primjera upravo je Toyota Prius. Navedeni sustavi pružaju vozačima dodatnu podršku u očuvanju sigurnosti na cesti i olakšavaju vožnju. Tehnologije poput sustava automatskog kočenja u slučaju opasnosti, sustava upozorenja na napuštanje prometne trake, prepoznavanja prometnih znakova i mnogih drugih, aktivno doprinose smanjenju rizika od nesreća i povećanju udobnosti vožnje. Uz njihovu primjenu, vozači imaju veću sigurnost i kontrolu nad vozilom, dok se istovremeno potiče razvoj tehnološki naprednih i inteligentnih vozila. Sljedeće potpoglavlje objašnjava razvoj autonomnih vozila u budućnosti.

4.2. Budućnost autonomnih vozila

Očekuje se da će autonomna vozila postati integralni dio svakodnevnog života ljudi. Prije nego što to postane stvarnost, proizvođači moraju pažljivo uzeti u obzir potrebe i preferencije potencijalnih korisnika. Prihvatanje autonomnih vozila ovisi o percepciji korisnika o njihovoj udobnosti i sigurnosti tijekom vožnje. Stoga je ključno da proizvođači zadovolje očekivanja korisnika i motiviraju ih da pređu s konvencionalnih vozila na autonomna vozila. Prednosti autonomnih vozila za korisnike su mnoge. Oslobođaju ljude koji ne uživaju u vožnji, olakšavaju svakodnevni život onima koji nisu u mogućnosti upravljati vozilom, te predstavljaju važnu pomoć osobama s fizičkim ili vizualnim smetnjama. Također, autonomna vozila omogućuju starijim osobama brže kretanje, a koriste i roditeljima s malom djecom. Pored navedenog, očekuje se da će se percepcija vozila promijeniti kako autonomna vozila postanu sveprisutna. Korisnici će postupno postati svjesni da je mobilnost ključna, što će dovesti do postupnog napuštanja konvencionalnih vozila u korist autonomnih. Izvrsni uvjeti za vozača i bolja kontrola vozila potvrđeni su istraživanjem provedenim od strane Googlea na njihovim autonomnim vozilima. Istraživanje je dokazalo da su njihovi automobili s autonomnom vožnjom tipa Prius i Lexus sigurniji i glađe kontroliraju sebe nego

ljudi. Dodatno, razvijena je nadzorna ploča kako bi pomogla ljudima da shvate što vozilo radi [36. p. 32-33].

Toyota je već otkrila prednosti tehnologije automatizirane vožnje, koju potpomaže umjetna inteligencija. Najnovija prezentacija Toyotinog istraživačkog tima pokazala je potencijal između algoritama strojnog učenja i upravljanja vozilima, podižući sigurnost i preciznost svakog prijeđenog kilometra. Senzorski ulazi, obrada podataka u stvarnom vremenu i prilagodljivi odgovori besprijekorno se spajaju, i tako osiguravaju interakciju između vozača i inteligentnih sustava. Pokretačka snaga iza Toyotinih napredaka u području umjetne inteligencije leži u posvećenosti budućnosti u kojoj će nesreće postati stvar prošlosti. Toyota ne želi da tehnologija zamijeni vozača, već da ista djeluje kao tihi suvozač, analizirajući okolinu i predviđajući potencijalne opasnosti te pomaže u donošenju odluka. Ova integracija ljudskog instinkta i intelekta umjetne inteligencije ponovno definira suštinu vožnje - suradnički napor usmjeren je prema poboljšanoj sigurnosti i učinkovitosti [37].

Tehnološki napredak u području sigurnosnih sustava i autonomne vožnje postaje sve značajniji za budućnost automobilske industrije. Toyota, kao lider u inovacijama, pokazuje predanost razvoju tehnologija koje poboljšavaju sigurnost i udobnost vozača. Kroz integraciju umjetne inteligencije i sofisticiranih senzorskih sustava, Toyota stvara vozila koja postaju sve pametnija i autonomnija, uz istovremeno poštivanje uloge vozača. Budućnost autonomnih vozila obećava revoluciju u načinu kako ljudi doživljavaju mobilnost, smanjenje rizika od nesreća i olakšavanje života svim korisnicima.

5. ZAKLJUČAK

Pojavom računalnih tehnologija i brzog napretka u bežičnoj komunikaciji, tradicionalni prometni sustavi brzo se pretvaraju u pametne odnosno inteligentne transportne sustave. Učinkovit prometni sustav temelj je pametnih gradova i doprinosi ostvarivanju ciljeva održivog razvoja. Uz integraciju električnih vozila i autonomnih vozila, vizija ITS-a je pružiti sigurno i udobno putovanje koje optimalno koristi dostupne resurse te smanjuje ugljični otisak. Za postizanje te vizije, senzori igraju važnu ulogu; tisuću senzora u vozilima i izvan njih prikupljaju ogromne količine podataka i razmjenjuju ih putem računalstva u oblaku kako bi učinili prometni sustav učinkovitim. Navedeno donosi različite izazove poput fuzije senzora, privatnosti podataka i performansi senzora tijekom vremena pod vanjskim uvjetima.

Razvoj tehnologije autonomne vožnje ključno je za budućnost automobilske industrije, a sastoji se od četiri osnovne tehnologije koje uključuju okolišnu percepciju, lokalizaciju, planiranje puta i upravljanje vozilom. Senzori u cestovnom sustavu, kao što su induktivne petlje i magnetski senzori, koriste se za kontrolu prometa, dok se nove tehnologije poput lidarskih senzora i sustava za detekciju razvijaju kako bi se poboljšala sigurnost i efikasnost. Među ključne elemente inteligentnih transportnih sustava mogu se navesti otkrivanje i prevencija nesreća, uz korištenje strojnog učenja. Dakle, senzori igraju ključnu ulogu u autonomnim vozilima, omogućujući im prikupljanje informacija o okolini i unutar vozila. Ovi senzori se dijele na eksteroreceptivne, koji percipiraju okolinu, te proprioceptivne, koji mjere unutarnje parametre vozila. Kamere se koriste za praćenje vozača i okoline vozila, pružajući informacije o znakovima umora i preprekama na cesti. Radari se koriste za detekciju brzine i otkrivanje objekata ispod vozila te su otporni na loše vremenske uvjete. LiDAR senzori koriste laserski snop za precizno mapiranje okoline, dok ultrazvučni senzori mjere udaljenost pomoću zvučnih valova. Fuzija ovih senzora omogućuje vozilu maksimalnu učinkovitost i sigurnost, kombinirajući prednosti svake vrste senzora. Primjene senzora uključuju upozorenja na sudare, nadzor okoline, prilagodljivi tempomat, dijagnostiku kvarova, praćenje vremenskih uvjeta i detekciju pospanosti vozača. Različite kategorije senzora, poput brzinskih senzora, kamera, radara i drugih, pružaju podatke za takve primjene.

Budući trendovi i izazovi u području inteligentnih sustava za promet obuhvaćaju integraciju senzorskih tehnologija, analizu podataka, automatizaciju, društvene i mobilne mreže radi poboljšanja sigurnosti i mobilnosti. Ključni izazovi uključuju osiguranje

privatnosti putnika, optimalno smještanje senzora unutar vozila te stvaranje učinkovitog sučelja za upozorenje vozača. Očekuje se da će pametna vozila, potpomognuta umjetnom inteligencijom, pružiti dodatne značajke koje će unaprijediti sigurnost i protok prometa.

Toyota je istaknuti proizvođač automobila koji je postigao konkurentsku prednost kroz inovativne proizvodne prakse poput Toyota Production Systema temeljenog na konceptu Lean proizvodnje. U svom kontinuiranom naporu poboljšanja sigurnosti, Toyota je razvila Toyota SafetySense, skup naprednih sigurnosnih tehnologija, uključujući sustave poput automatskog kočenja u slučaju opasnosti, upozorenja na napuštanje prometne trake i prepoznavanja prometnih znakova. Ovi sustavi aktivno doprinose smanjenju rizika od nesreća i povećanju udobnosti vožnje. Uz to, Toyota istražuje i razvija tehnologiju autonomne vožnje koja kombinira algoritme strojnog učenja i senzorske sustave kako bi unaprijedila sigurnost i preciznost vožnje. Integracija umjetne inteligencije i sofisticiranih senzora omogućuje Toyoti da stvara vozila koja postaju sve pametnija i autonomnija, ali istovremeno poštuju ulogu vozača. Budućnost autonomnih vozila obećava revoluciju u mobilnosti, smanjenje rizika od nesreća i olakšavanje života korisnicima.

LITERATURA

- [1] Bošnjak, I.: *Inteligentni transportni sustavi*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2006.
- [2] McGregor, R.V., Eng, P.; MacIver, A.: *Regional ITS Architectures - From Policy To Project Implementation*, Proceedings of the Transportation Factor, Transportation Association of Canada (TAC), Canada, 2003., p. 21-24
- [3] Katerna, O.: *Intelligent Transport System: The Problem of Definition and Formation of Classification System*, Economic Analysis, Vol. 29. No. 2. 2019, p. 33-43
- [4] Bošnjak, I.: *Razvoj inteligentnih transportnih sustava – ITS*, Open Info Trend, dostupno na: <http://www.infotrend.hr/clanak/2008/6/> (21.07.2023)
- [5] Ćelić, J., Kezić, D.: *Sustav za automatsko nadziranje cestovnog prometa*, Pomorstvo, Scientific Journal of Maritime Research, Vol. 26., No. 2, 2012., p. 397-411
- [6] Jarasuniene, A.: *Intelligent transportation systems (ITS) in the long term period*, The 6th International Conference Reliability and statistics in transportation and communication, Intelligent Transport Systems, 2006., p. 54-59
- [7] Vanni, R.M.P. et al.: *Ontology Driven Reputation Model for VANET*, AICT 2016: The Twelfth Advanced International Conference on Telecommunications, 2016., 14-19
- [8] Berdiyoroova, I.: *The History of Intelligent Transport Systems*, International Journal of Formal Education, Vol. 1., Iss. 12., 2022., p. 78-84
- [9] Nowacki, G.: *Development and Standardization of Intelligent Transport Systems*, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol 6., No. 3., 2012., p. 403-411
- [10] Auer, A. et al.: *History of Intelligent Transportation Systems: 2021 Update*, U.S. Department of Transportation, Washington, 2023.
- [11] Lacković Vincek, Z., Dvorski, S., Dvorski Lacković, I.: *Prometni sustav u funkciji održivog razvoja*, Notitia - časopis za održivi razvoj, Br. 2., 2016., p. 49-61
- [12] Xu, Z. et al.: *Review on Intelligent Road and Its Related Key Technologies*, China Journal of Highway and Transport, Vol. 8., 2019., p. 1-24
- [13] Toh, C.K. et al.: *Advances in smart roads for future smart cities*, Proceedings of the Royal Society A, Vol. 476, 2019., p. 1-24
- [14] SAE International: *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for on-Road Motor Vehicles*, Warrendale, PA, USA, Vol. J3016, 2018.

- [15] Ahn, K.J., Kang, Y.: *A Particle Filter Localization Method Using 2D Laser Sensor Measurements and Road Features for Autonomous Vehicle*, Journal of Advanced Transportation, Vol. 2019., p. 1-11
- [16] Maletić, N., Bošnjak, I. i Kolanović, I.: *Development of Intelligent Transport Systems in Ports*, Naše more, Vol. 47., No. 5-6, 2000., p. 195-200
- [17] Bargagli, B. et.al.: *Acoustic sensor network for vehicle traffic monitoring*, Proceedings of the First International Conference on Advances in Vehicular Systems, Technologies and Applications, Venice, Italy, p. 24-29
- [18] Knaian, A.N.: *A Wireless Sensor Network for Smart Roadbeds and Intelligent Transportation Systems*, Electrical Science and Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 2000., p. 1-51
- [19] Sarčević, P., Pletl, S., Odry, A.: *Real-Time Vehicle Classification System Using a Single Magnetometer*, Sensors, Vol. 22, 2022., p. 92-99
- [20] Klein, L.A.: *Roadside Sensors for Traffic Management*, Report 22-01, Klein&Associates, Santa Ana, CA
- [21] Oladimeji, D. et al.: *Smart Transportation: An Overview of Technologies and Applications*, Sensors, Vol. 23., 2023., p. 1-32
- [22] Campbell, S. et.al.: *Sensor Technology in Autonomous Vehicles: A Review*, Conference: 2018 29th Irish Signals and Systems Conference (ISSC), p. 1-5
- [23] Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., Contreras-Castillo, J.: *Sensor Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Sensors (Basel), Vol. 18., No. 4., 2018., p. 1-24
- [24] Kocić, J., Jovičić, N., Drndarević, V.: *Sensors and Sensor Fusion in Autonomous Vehicles*, 26th Telecommunications Forum (TELFOR), Belgrade, Serbia, 2018, p. 420-425
- [25] Vargas, J. et.al.: *An Overview of Autonomous Vehicles Sensors and Their Vulnerability to Weather Conditions*, Sensors, 2021., p. 1-22
- [26] Zhu, L.: *Analyze the Advantages and Disadvantages of Different Sensors for Autonomous Vehicles*, Advances in Economics, Business and Management Research, Vol. 15., 2022., p. 1020-1024
- [27] Miyata, S. et al.: *Improvement of Adaptive Cruise Control Performance*, EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, 2010., p. 1-8
- [28] Zhu, Z. et.al.: *Research on Robust Control of Intelligent Vehicle Adaptive Cruise*, World Electrical Vehicle Journal, Vol. 14., 2023., p. 1-15

- [29] Abdelhamida,S., Hassaneina, H.S., Takaharab, G.: *Vehicle as a Mobile Sensor*, The 9th International Conference on Future Networksand Communications, Procedia Computer Science, Vol. 34., 2014., p. 286-295
- [30] Cai, H.; Lin, Y.: *Modelling of Operators' Emotion and Task Performance in a Virtual Driving Environment*, International Journal of Human Computing Study, Vol. 9., 2011, p. 571-587
- [31] Nkomo, T.: *Analysis of Toyota Motor Corporation*, Harvard University, 2018., p. 1-16
- [32] Watanabe, S.: *Japanese Management for a Globalized World*, Palgrave Macmillan Asian Business Series, 2018.
- [33] Toyota: *Toyota SafetySense*, dostupno na: <https://www.toyota.hr/discover-toyota/safety/toyota-safety-sense> (16.02.2024)
- [34] Biddle, A.: *Toyota car safety: monitoring systems*, dostupno na: <https://mag.toyota.co.uk/toyota-car-safety-monitoring-systems/> (17.02.2024)
- [35] Božić, D., Mileta, D.: *Elektronički sustavi aktivne sigurnosti automobila Toyota Prius*, Zbornik radova Veleučilišta u Šibeniku, Vol. 12 No. 1-2, 2018., p. 161-168
- [36] Pisarov, J., Mester, G.: *The Future of Autonomous Vehicles*, FME Transactions, Vol. 49, p. 29-35
- [37] Toyota: *Journey of innovation: Toyota's AI-powered drive*, dostupno na: <https://www.toyota-europe.com/news/2023/journey-of-innovation> (22.02.2024)

POPIS ILUSTRACIJA

POPIS SLIKA

Slika 1. Primjer scenarija inteligentnog transportnog sustava.....	4
Slika 2. Primjeri upravljanja prometom pomoću ITS	12
Slika 3. Primjer sigurnosne primjene senzora	19
Slika 4. Aplikacije za praćenje korisnika inteligentnog sustava	22
Slika 5. Primjer rada senzorskih tehnologija u slučaju nesreće.....	23
Slika 6. Toyota Safety Sense senzori.....	27

POPIS TABLICA

Tablica 1. Klasifikacija i kategorije senzora unutar vozila	18
-------------------------------------------------------------------	----

KAZALO KRATICA

Kratika	Naziv engleski	Nazov hrvatski
AVI	engl. <i>Automatic Vehicle Identification</i>	Automatska identifikacija vozila
ACC	engl. <i>Adaptive Cruise Control</i>	Sustav za prilagodljivi tempomat
AI	engl. <i>Artificial Intelligence</i>	Umjetna inteligencija
ADAS	engl. <i>Advanced driver-assistance systems</i>	Sustavi napredne pomoći vozaču
BSM	engl. <i>Blind Spot Monitor</i>	Monitor mrtvog kuta
DSRC	engl. <i>Dedicated Short-Range Communications</i>	Dedicirana komunikacija kratkog dometa
GPS	engl. <i>Global Positioning System</i>	Globalni sustav za određivanje položaja
IR	engl. <i>Intelligent Road</i>	Inteligentna prometnica
LDA	engl. <i>Lane Departure Alert</i>	Sustav upozorenja na napuštanje prometne trake
ITS	engl. <i>Intelligent Transport Systems</i>	Inteligentni transportni sustavi
IPA	engl. <i>Intelligent Parking Assist</i>	Inteligentni sustav pomoći pri parkiranju
PIR	engl. <i>Passive Infrared</i>	Pasivni infracrvene mikrovalni radarski senzori
RSU	engl. <i>Roadside Unit</i>	Uređaji uz cestu
RCTA	engl. <i>Rear Cross Traffic Alert</i>	Sustav upozorenja na stražnji poprečni promet
SAE	engl. <i>The Society of Automotive Engineers</i>	Društvo automobilskih inženjera
SDLP	engl. <i>Standard Deviation of Lane Position</i>	Standardna devijacija položaja trake
SLAM	engl. <i>Simultaneous Localization & Mapping</i>	Simultana lokalizacija i kartiranje
SWM	engl. <i>Steering Wheel Movement</i>	Mjerenje pokreta upravljača
TPS	engl. <i>Toyota Production System</i>	Toyotin vlastiti proizvodni sustav
VDS	engl. <i>Videodetection Systems</i>	Sustavi za detekciju videa
V2V	engl. <i>Vehicle-to-Vehicle</i>	Vozilo prema vozilu
V2I	engl. <i>Vehicle to Infrastructure</i>	Vozilo prema infrastrukturi
V2X	engl. <i>Vehicle to Everything</i>	Vozilo prema svemu
VANETs	engl. <i>Vehicular ad-hoc networks</i>	Ad hoc mreže vozila
VDS	engl. <i>Video detection Systems</i>	Sustavi za detekciju videa
WSN	engl. <i>Wireless Sensor Networks-</i>	bežične senzorske mreže