

# Primjena koncepta Internet vozila u inteligentnim transportnim sustavima

---

Gegić, Lovro

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:626999>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Transport and Traffic Sciences -  
Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Lovro Gegić

**PRIMJENA KONCEPTA INTERNETA  
VOZILA U INTELIGENTNIM  
TRANSPORTNIM SUSTAVIMA**

Završni rad

ZAGREB, 2021.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

*Završni rad*

**PRIMJENA KONCEPTA INTERNETA  
VOZILA U INTELIGENTNIM  
TRANSPORTNIM SUSTAVIMA**

**APPLICATION OF THE INTERNET OF  
VEHICLES CONCEPT IN INTELLIGENT  
TRANSPORT SYSTEMS**

Mentor: doc. dr. sc. Pero Škorput

Student: Lovro Gegić

JMBAG: 0035196617

Zagreb, kolovoz 2021.

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**  
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 27. kolovoza 2021.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**  
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi I**

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 6039

Pristupnik: **Lovro Gegić (0035196617)**  
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**  
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Primjena koncepta Internet vozila u inteligentnim transportnim sustavima**

Opis zadatka:

Internet vozila novi je koncept u području inteligentnih transportnih sustava. Predstavlja novi sustav za međusobno povezivanje infrastrukturnih elemenata i entiteta u prometnom sustavu. U završnom radu potrebno je opisati komunikacijsku arhitekturu ITS-a te se posebno osvrnuti na arhitektura Interneta vozila. Također, u radu je potrebno opisati i učinke ovog koncepta u području inteligentnih transportnih sustava uz pripadajuću analizu slučaja.

Rok za predaju rada: 26. kolovoza 2021.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

doc. dr. sc. Pero Škorput

## SAŽETAK

Razvoj informacijsko-komunikacijskih sustava potiče evoluciju konvencionalnih *ad hoc* mreža vozila u internet vozila (eng. Internet of Vehicles). U takvome okruženju sva vozila sadrže komunikacijske mogućnosti kojima mogu osigurati sigurno i prikladno transportno okruženje povećanjem povezivosti i interoperabilnosti. IoV pruža veliku istraživačku vrijednost i potencijal za privlačenje komercijalnog interesa obuhvaćanjem i povezivanjem niza entiteta razrađenim aplikacijama za poboljšanje sigurnosti i efikasnosti u prometu kao i sustavima informiranja i zabave. Razmatraju se industrijski standardi i komunikacijski protokoli razvijeni za promicanje primjene interneta vozila. Uz to, predlažu se slojevite arhitekture i mrežni modeli za internet vozila s obzirom na njihove funkcionalnosti. Konačno, spominju se mogućnosti primjene aplikacija interneta vozila u inteligentnim transportnim sustavima te se analizira jedan slučaj takve primjene.

Ključne riječi: Inteligentni transportni sustavi, internet vozila, arhitektura interneta vozila, kognitivni internet vozila, autonomna vozila

## SUMMARY

The development of information and communication systems encourages the evolution of conventional ad-hoc vehicle networks to Internet of Vehicles. In such an environment, each vehicle contains communication capabilities that provide a safe and convenient transport environment by increasing connectivity and interoperability. IoV provides great research value, as well as a huge potential for attracting commercial interest by encompassing and connecting a number of entities with the development of traffic safety and efficiency applications as well as information and entertainment systems. Industry standards and communication protocols developed to promote Internet vehicle applications are considered. In addition, layered architectures and network models for Internet vehicles are proposed with respect to their functionalities. Finally, the possibilities of utilizing IoV applications within intelligent transport systems are considered, and a case study of an IoV

application is analyzed.

Key words: Intelligent Transport Systems, Internet of Vehicles, Internet of Vehicles Architectures, Cognitive Internet of Vehicles, Autonomous Vehicles

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. <i>KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA ITS-a</i> .....	3
2.1. Pristupne tehnologije u komunikacijskoj arhitekturi ITS-a .....	6
2.1.1. CEN DSRC 5,8 GHz.....	7
2.1.2. European 5,9 GHz ITS .....	8
2.1.3. WiFi.....	8
2.1.4. GPS .....	9
2.2. Komunikacijski scenariji i aplikacije .....	9
2.2.1. Sigurnost u prometu .....	11
2.2.2. Učinkovitost prometa .....	11
2.2.3. Usluge s dodanom vrijednošću .....	12
2.3. Europski razvojni i istraživački projekti .....	12
2.3.1 COOPERS projekt .....	12
2.3.2 CVIS projekt.....	13
2.3.3 SAFESPOT projekt.....	14
3. <i>PREGLED ARHITEKTURA INTERNETA VOZILA</i> .....	15
3.1. Slojevita arhitektura.....	16
3.1.1. Slojevi arhitekture .....	16
3.1.2. Stog protokola.....	19
3.1.3 Mrežni model.....	19
3.2 Arhitektura sa sedam slojeva .....	22
3.3. Standardizacija u području interneta vozila.....	26
4. <i>UČINCI INTERNETA VOZILA U PODRUČJU INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA</i> .....	28
4.1. Sigurnosne aplikacije .....	30
4.2. Aplikacije u području učinkovitosti.....	30
4.3. Aplikacije u području udobnosti.....	31
4.4. Aplikacije u području informiranja i zabave .....	31
4.5. Karakteristike istaknutih aplikacija u vozilima .....	32
4.5.1. Valjanost sadržaja .....	32
4.5.2. Sadržajno usmjereno umrežavanje.....	33
4.5.3. Kolaborativno dijeljenje senzorskih podataka vozila.....	34
5. <i>ANALIZA SLUČAJA PRIMJENA KONCEPTA INTERNET VOZILA – KOGNITIVNI INTERNET VOZILA ZA AUTONOMNU VOŽNJU</i> .....	35
5.1. Arhitektura kognitivnog interneta vozila za autonomnu vožnju .....	37
5.1.1 Inteligentno autonomno vozilo .....	37

5.1.2 Računalstvo u magli.....	38
5.1.3. Računalstvo u oblaku .....	38
5.2. Obavljanje zadaća autonomne vožnje.....	40
5.2.1. Procesuiranje lokalnih zadataka .....	42
5.2.2. Procesuiranje zadataka u magli .....	42
5.2.3. Procesuiranje zadataka u oblaku.....	43
5.2.4. Dodjeljivanje zadataka .....	43
5.3. Primjer simuliranja autonomne vožnje na temelju kognitivnog interneta vozila.....	44
6. Zaključak.....	48
<i>Literatura</i> .....	49
<i>Popis slika</i> .....	51



# 1. UVOD

Internet vozila (IoV) je otvoreni i integrirani mrežni sustav sa svojstvom visoke upravljivosti koji se sastoji od većeg broja vozila, korisnika, predmeta i mreža. Na temelju računalno- komunikacijske kooperativnosti, internet vozila može pribavljati, upravljati i donositi odluke na temelju kompleksnih i dinamičkih podataka o vozilima, ljudima, predmetima i okruženju. U okviru inteligentnih transportnih sustava, ove karakteristike interneta vozila mogu se koristiti s ciljem međusobne integracije čimbenika interneta vozila u svrhu zadovoljenja ljudske potrebe za prijevozom uz sniženje društvenih troškova, poboljšanja transportne efikasnosti i podizanja razine uslužnosti. Rad se sastoji od niže navedenih 6 poglavlja:

1. Uvod
2. Komunikacijska arhitektura ITS-a
3. Pregled arhitektura interneta vozila
4. Učinci interneta vozila u području inteligentnih transportnih sustava
5. Analiza slučaja primjena koncepta internet vozila
6. Zaključak

U drugome poglavlju opisana je predložena komunikacijska arhitektura ITS-a s nekim pristupnim tehnologijama. Razmotreni su komunikacijski scenariji i aplikacije koje se odnose na sigurnost i učinkovitost prometa, kao i komercijalne aplikacije. Spomenuti su bitniji ITS projekti.

Treće poglavlje daje pregled arhitektura interneta vozila. Radi funkcionalnih, aplikacijskih i sigurnosnih potreba, razmatraju se slojevite arhitekture s pet i sedam slojeva. Opisani su slojevi, mrežni modeli te standardi potrebni za uspostavljanje interneta vozila.

Četvrto poglavlje predstavlja učinke koncepta interneta vozila u inteligentnim transportnim sustavima. Opisuju se mogućnosti primjene interneta vozila na sigurnost, učinkovitost, udobnost i sustave informiranja i zabave. Opisuju se karakteristike istaknutih aplikacija interneta vozila.

U petome poglavlju analizira se slučaj primjene koncepta interneta vozila na primjeru

kognitivnog interneta vozila za autonomnu vožnju. Prvo se opisuje predložena arhitektura kognitivnog interneta vozila za autonomnu vožnju. Razmatra se kako sustav autonomne vožnje može izvršavati zadatke te ih dodjeljivati dijelovima vlastitog sustava. Simulira se autonomna vožnja i naposljetku se analiziraju rezultati simulacije.

U šestom poglavlju pruženo je kratko mišljenje o temi uzimanjem u obzir cijelog rada.

## 2. KOMUNIKACIJSKA ARHITEKTURA ITS-a

Prema Vitruviju, prvom poznatom teoretičaru arhitekture, arhitektura mora ispunjavati tri uvjeta: stabilnost, svrishodnost i atraktivnost. Prema sličnim načelima gradimo i moderne kompleksne sustave zbog zahtjeva na robusnost i funkcionalnost u svrsi zbog koje su izrađeni, ali, za razliku od klasičnog načina razvijanja sustava, a zbog njihove kompleksnosti i promjenjive dinamike ulaznih zahtjeva, ITS je poželjnije je graditi evolutivnim pristupom, ostavljajući mogućnosti za nova ili neortodoksna rješenja u budućnosti. Na taj način tražimo najjednostavnija rješenja za arhitekturne elemente uzimajući u obzir potrebe i pravila uz minimiziranje broja funkcija, elemenata i sučelja na način koji zadovoljava zahtjeve dionika i korisnika.

U okviru ITS-a, arhitektura predstavlja temeljnu organizaciju sustava koja sadrži ključne komponente, njihove odnose i veze prema okolini te načela njihova dizajniranja i razvoja. Zbog toga predstavlja primarni zahtjev i element ITS planiranja i usklađenog razvoja ITS aplikacija. Načela koja obilježavaju dobru arhitekturu jesu:

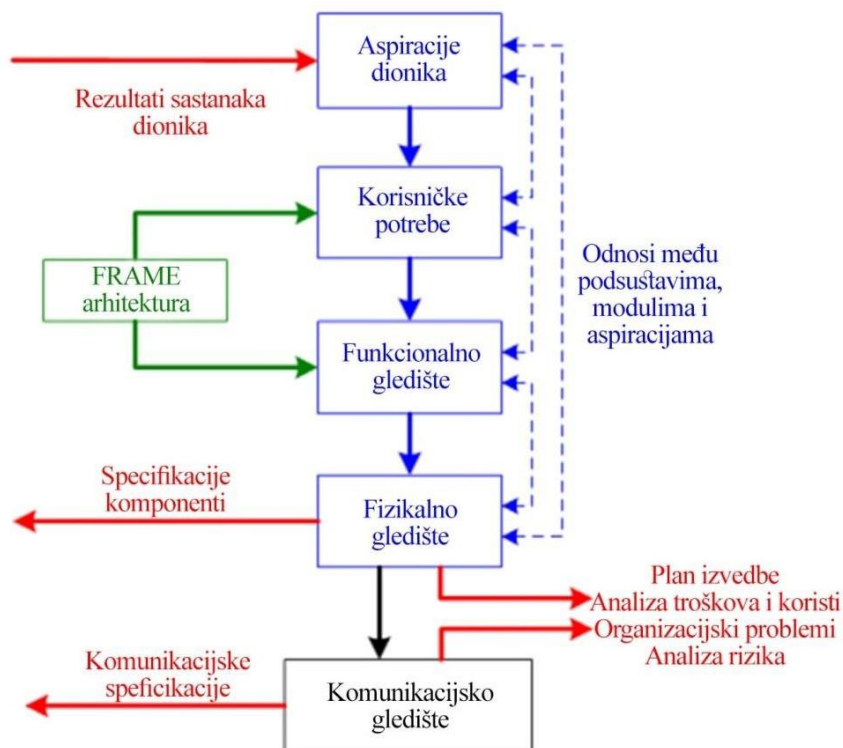
- konzistentnost,
- ortogonalnost,
- umjesnost (eng. *Propriety*),
- transparentnost,
- općenitost,
- otvorenost (eng. *Open-ness*),
- kompletnost.

Dobra arhitektura također treba i uvažavati tehničko-tehnološke mogućnosti te ekonomska ograničenja [1].

Zbog potrebe stabilnog okvira za razvoj integriranih i interoperabilnih ITS-a u Europskoj Uniji, razvijena je FRAME (The Framework architecture made for Europe) arhitektura (Okvirna arhitektura Europskih inteligentnih transportnih sustava).

Ona objašnjava glavne zahtjeve i funkcionalnosti za gotovo sve ITS aplikacije i usluge

razmatrane za implementaciju u Europskoj uniji. Kao referencu je mogu koristiti svi ITS arhitekti i njena je namjena da bude temelj za izradu ostalih potrebitih arhitektura (Slika 1). Omogućuje sukladnost sa sučeljima ostalih sustava za nesmetano korištenje usluga u međunarodnom putovanju i uspostavljanje kompatibilnosti komponenti na otvorenom europskom tržištu [2].



Slika 1. Frame metodologija

Izvor: [2]

Prema unutarnjoj strukturi razlikujemo tri osnovna dijela arhitekture ITS-a [1]:

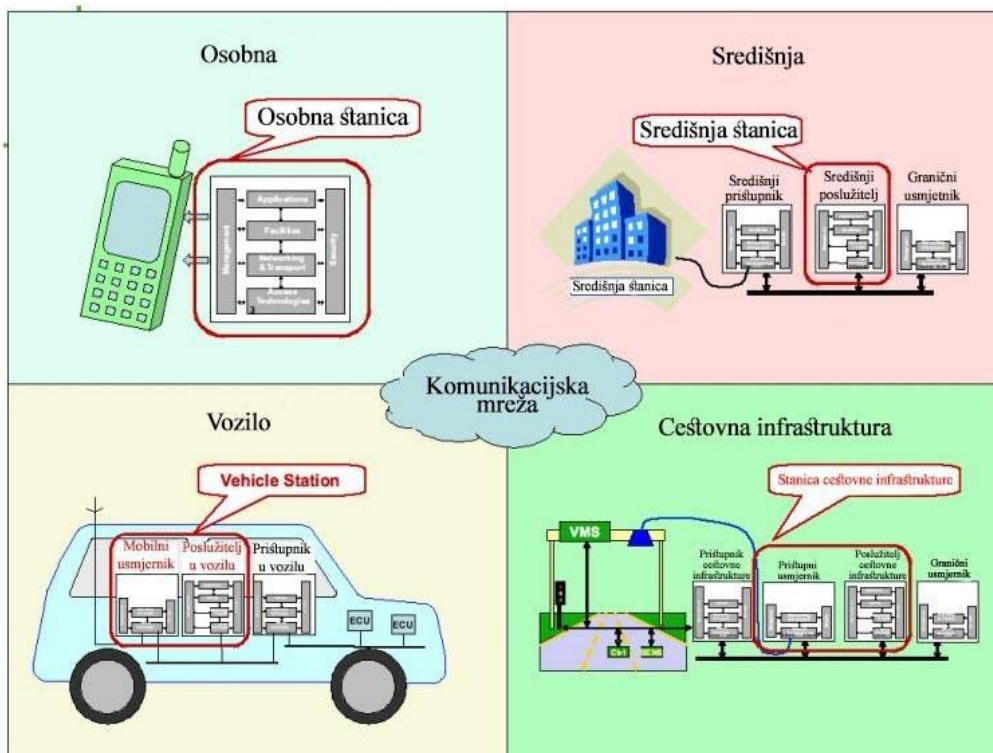
- fizička arhitektura koja podrazumijeva dijelove koji povezani mogu stvarati fizičke entitete;
- logička arhitektura koja se izvodi iz korisničkih zahtjeva i osnova je za fizičku arhitekturu;
- komunikacijska arhitektura.

Europska ITS komunikacijska arhitektura komunikacijski je sustav razvijen za ITS i

sastoji se od četiri fizički razdvojene komponente [3]:

1. Podsustava vozila
2. Jedinica podsustava cestovne infrastrukture
3. Središnjeg podsustava
4. Mobilnog podsustava.

Ove su komponente međusobno povezane komunikacijskom mrežom koja se uobičajeno sastoji od mreže okosnice i većeg broja rubnih i pristupnih mreža (Slika 2.). Komunikacija se vrši diljem brojnih bežičnih ili kablskih komunikacijskih medija. Svi podsustavi se mogu povezati komunikacijskim mrežama koje nemaju ograničenja na broj vozila, mobilnih uređaja, cestovnih jedinica ili središnjih poslužitelja koji su potrebni za korištenje za specifičnu svrhu. Takva arhitektura omogućuje korištenje kombinacije izravnih *ad hoc* mreža za komunikaciju među vozilima kao i infrastrukturne sustave [3].



Slika 2. Komponente europske ITS komunikacijske arhitekture

Izvor: [3]

## 2.1. Pristupne tehnologije u komunikacijskoj arhitekturi ITS-a

Komunikacijska mreža omogućuje bilo kojoj komponenti podsustava komunikaciju s bilo kojom drugom komponentom podsustava. Komunikacija se može vršiti izravno između dvije komponente podsustava ili neizravnim multi hop usmjeravanjem preko posredničkih komponenti podsustava. Na primjer, vozila bi mogla međusobno komunicirati bez uključivanja bilo koje druge komponente (*ad hoc* vrsta komunikacije). U drugom primjeru, vozila bi mogla komunicirati sa poslužiteljima ili izravno putem komunikacijske mreže ili čak s drugim vozilom (Internetske komunikacije) [3].

Svaka komponenta mora se pridržavati niza pravila kako bi komunicirala s drugim komponentama u određenom komunikacijskom scenariju. U ranije spomenutoj *ad hoc* vrsti komunikacije, sva vozila komuniciraju koristeći isti komunikacijski medij u frekvencijskom pojasu 5,9 GHz. S obzirom na to da *ad hoc* komunikacije ne obuhvaćaju poslužitelje u središnjem podsustavu, sve komponente podsustava moraju moći međusobno komunicirati u određenom trenutku kako bi razmijenile podatke, poput identifikatora, vjerodajnica, sigurnosnih ključeva, ažuriranja karti itd. Za to je potrebno međusobno povezivanje svih komponenti podsustava komunikacijskom mrežom koja koristi isti komunikacijski jezik, koji se naziva protokolom. Takav protokol mora biti široko rasprostranjen i mora biti neovisan o bilo kojoj tehnologiji bežičnih ili žičanih pristupnih mreža, a također mora akomodirati sve vrste aplikacija [3].

Sustave koji omogućuju ove komunikacije možemo podijeliti na sustave kratkog dometa i *ad hoc* sustave, ćelijske sustave i sustave digitalnog emitiranja. Primjeri sustava kratkog dometa i *ad hoc* sustava obuhvaćaju tehnologije CEN DSRC 5,8 GHz, European 5,9 GHz ITS, WLAN 5 GHz i IR (eng. *Infrared*). Važniji ćelijski sustavi obuhvaćaju WiFi, WiMAX, GSM / GPRS i UMTS. Pod sustavima digitalnog odašiljanja podrazumijevaju se DAB i DMB; DVB-T i DVB-H te GPS [3].

Unutar područja ITS-a razmatraju se primjene raznolike prirode pa se njihovi komunikacijski zahtjevi značajno razlikuju. Ta činjenica otežava mogućnost da jedna tehnologija bežičnog pristupa podrži sve ili čak većinu primjena. Primjerice, aplikacije za sigurnost u prometu obično imaju visoke zahtjeve na pouzdanost, zahtjeve na malu latenciju i

zahtjeve na mogućnost komuniciranja u stvarnom vremenu. Aplikacije za učinkovitost i ugodu imaju niže zahtjeve za latencijom, dok ITS aplikacije koje uključuju glasovne ili videozapise imaju niže zahtjeve na pouzdanost. Uz to, nekim aplikacijama potrebno je više od jedne tehnologije bežičnog pristupa kako bi ostvarile svoju punu funkcionalnost, dok se neke mogu okoristiti s više prikladnih tehnologija.

Svaka pristupna tehnologija obično se razvija s određenom svrhom i najpogodnije ju je koristiti u tu svrhu. Mreže za podatkovnu komunikaciju kao što su WiFi i WiMAX razvijene su za internetske aplikacije s visokim brzinama prijenosa i stoga obično pružaju visoku brzinu i visoku pouzdanost, ali pružaju podršku za komuniciranje u stvarnom vremenu. Telekomunikacijske mreže poput GSM / GPRS-a i UMTS-a razvijene su za glasovne aplikacije i prema tome pružaju podršku za komuniciranje u stvarnom vremenu s malim kašnjenjem nauštrb snižene pouzdanosti. Sustavi za digitalno emitiranje poput DAB / DMB i DVB-T / DVB-H razvijeni su za emitiranje radija, TV-a ili videa i stoga imaju izvrsnu podršku za emitiranje, ali ograničenu ili nikakvu podršku za dvosmjernu komunikaciju. Ostali radijski sustavi poput CEN DSRC, europskog ITS-a 5,9 GHz i infracrvenog zračenja razvijeni su za specifične primjene tako da pružaju visoke performanse ako se koriste u predviđenom kontekstu. Malo koja, ako ijedna od trenutnih tehnologija bežičnog pristupa može pružiti podršku za visoku pouzdanost i komunikaciju s malim kašnjenjem u stvarnom vremenu jer se obično pouzdanost povećava s povećanim kašnjenjem [3].

Važno je napomenuti da, iako se pouzdanost komunikacijskih sustava može optimirati, sustavi komuniciranja nikada neće biti 100% pouzdani. Poželjno je da razvijatelji aplikacija dizajniraju sustave tako da funkcioniraju na siguran način čak i uz pojavu problema ili greški u komunikacijskom sustavu [4].

### **2.1.1. CEN DSRC 5,8 GHz**

CEN DSRC (eng. *Direct Short-Range Communication*) radijski je sustav posebno razvijen kako bi pružio pouzdano i učinkovito komunikacijsko sredstvo za prometne i transportne primjene. Ova tehnologija karakterizirana je značajkama visoke pouzdanosti,

niske latencije i ograničenog područja primjene (5-25 m).

Nadležna tijela Europske unije regulacijama su usvojile sustave CEN DSRC za niže navedene primjene [5]:

- elektronička naplata cestarine (Direktive EU 2004/52/EC, EU 2019/520 te odluka Europske Komisije 2009/750/EC);
- tahografi u cestovnom prometu (Uredba EU 165/2014);
- utvrđivanje najvećih dopuštenih dimenzije i masa cestovnih motornih vozila (Direktiva EU 2015/719).

### **2.1.2. European 5,9 GHz ITS**

Europski 5,9 GHz ITS radijski je sustav stvoren na temelju WLAN standarda za *ad hoc* podatkovne komunikacije između vozila i jedinica prometne infrastrukture sa zahtjevima na nisko kašnjenje. Prigodan je za sigurnosne primjene i komunikacije među vozilima (uz razumno opterećenje). Ne stvara potrebu za izradu komunikacijske infrastrukture [4].

### **2.1.3. WiFi**

WiFi je radijski sustav utemeljen na WLAN-u, usmjeren na visoke brzine prijenosa. Predstavlja dobar sustav internetskog pristupa za komunikacije s visokim brzinama prijenosa podataka kod umjerenih brzina vozila [3].



#### 2.1.4. GPS

Globalni sustav pozicioniranja (eng. *Global Positioning System*) jedini je potpuno funkcionalan sustav globalne satelitske navigacije (GNSS) na svijetu. GPS omogućuje satelitska konstelacija koja prenosi precizne mikrovalne signale koji GPS uređajima omogućuju određivanje trenutne lokacije, vremena i brzine (uključujući i smjer). GPS je razvilo Ministarstvo obrane Sjedinjenih Američkih Država.

### 2.2. Komunikacijski scenariji i aplikacije

Scenariji kojima se bavi europska ITS komunikacijska arhitektura obuhvaćaju sljedeća ključna područja primjene:

- sigurnost u prometu;
- učinkovitost prometa;
- usluge s dodanom vrijednošću.

Uz to, arhitektura dopušta implementaciju drugih usluga i ponuda kako bi se olakšalo uvođenje sustava te kako bi se pružili održivi modeli poslovanja i korištenja. To se ostvaruje međusobnim povezivanjem vozila te prometne i pozadinskih infrastruktura.

Područje sigurnosti prometa podržavat će usluge poput upozorenja na prestrojavanje, upravljanja brzinom, upravljanja kretanjem, otkrivanjem opasnosti i nekim drugim sličnim uslugama. Aplikacije za učinkovitost prometa podržavat će usluge kao što su upravljanje gradskim prometom, upravljanje prometnim trakama, optimizacija prometnog toka, prioritetni prolaz odabranih vrsta vozila (npr. autobusi, hitna vozila itd.). Aplikacije koje pružaju usluge s dodanom vrijednošću uključivat će usluge poput planiranja putovanja (prije putovanja i za vrijeme putovanja), putnih informacija i lokacijskih usluga [3].

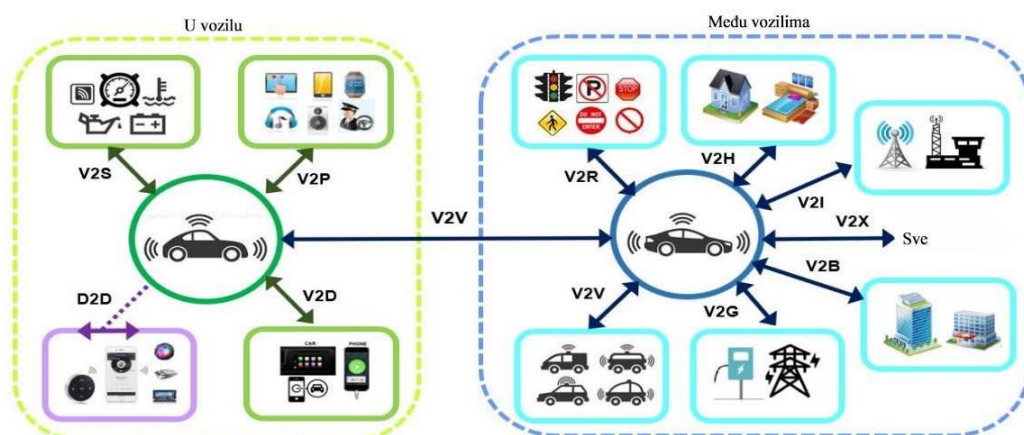
Modele komunikacijskih interakcija u ITS-u možemo podijeliti na komunikacije unutar vozila i komunikacije vozila s ostalim entitetima u prometnom sustavu. Komunikacije unutar

vozila sačinjavaju interakcije [6]:

- vozila sa sensorima (V2S);
- vozila s vozačem (V2D);
- uređaji s uređajima (D2D).

Komunikacije vozila s vanjskim entitetima opisuju interakcije [6]:

- vozila s vozilima (V2V);
- vozila s pješacima (V2P);
- vozila s jedinicama cestovne infrastrukture (V2R);
- vozila s infrastrukturom (V2I);
- vozila sa svime (V2X).



Slika 3. Modeli komunikacijskih interakcija

Izvor: [6]

Neke od aplikacija koje se mogu primjeniti na prethodno navedena područja primjene nalaze se u nastavku.

### **2.2.1. Sigurnost u prometu**

Aplikacije u području sigurnosti prometa su:

- aplikacije za održavanje pažnje vozača poput upozorenja o prestrojavanju u drugu traku, upozorenja na brzinu i sl.;
- aplikacije za prepoznavanje opasnosti na cesti poput prepoznavanja uvjeta na cesti, opasnosti, upozorenja o naglom zaustavljanju, prepoznavanja opasnih vremenskih uvjeta i sl.

### **2.2.2. Učinkovitost prometa**

Aplikacije u području učinkovitosti prometa su:

- aplikacije za adaptivne elektroničke prometne znakove za upravljanje incidentima u prometu, varijabilnim prometnim znakovima, upravljanje brzinom i sl.;
- aplikacije za navigaciju i rutiranje na temelju prometnih podataka u stvarnom vremenu sa specijalnim rutama za pojedine vrste vozila;
- aplikacije za optimizaciju prometnog toka, prepoznavanje i upravljanje incidentnim situacijama, minimiziranje gužvi na križanjima, prioritetni prolaz javnih i hitnih vozila i sl.;
- aplikacije za teretna vozila ili flote vozila poput rezervacija lokacija isporuke, upravljanja vozilima koje nose opasni teret i sl.

### **2.2.3. Usluge s dodanom vrijednošću**

Uslugama s dodanom vrijednošću smatraju se:

- pristup lokalnoj konekciji, tj. uslužne aplikacije na temelju komunikacija među vozilima ili komunikaciji vozila s infrastrukturom o stanju na cestama, prometnim zagušenjima i sl.;
- pristup internetu velike brzine, npr. uslužne aplikacije utemeljene na bežičnim vezama za planiranje putovanja i slične informacije koje omogućuju razni dionici poput hotelijera, ugostitelja i sl.

## **2.3. Europski razvojni i istraživački projekti**

### **2.3.1 COOPERS projekt**

COOPERS (*Co-operative Networks for Intelligent Road Safety*) pruža vozilima i vozačima informacije o stanju prometa i statusu infrastrukture u stvarnom vremenu na temelju individualnih situacija, koji se distribuiraju putem posebne namjenske komunikacije infrastrukture s vozilima (I2V). Ovaj pristup proširuje koncepte autonomnih sustava vozila i komunikacije vozila s vozilima (V2V), a mogućnost baratanja taktičkim i strateškim prometnim informacijama u stvarnom vremenu ograničava samo na operatera infrastrukture [7].

Ciljevi COOPERS-a obuhvaćaju nadogradnju postojeće opreme i infrastrukture u što većoj mjeri u svrhu stvaranja dvosmjerne veze infrastruktura-vozilo (I2V) kao otvorene standardizirane bežične komunikacijske tehnologije [8].

COOPERS slijedi pristup u 3 koraka za implementaciju I2V komunikacije [7]:

- poboljšanje infrastrukture cestovnih senzora i aplikacija za upravljanje prometom za preciznije informacije o stanju na cestama i savjete za vozače. Također se bavi uspostavljanjem veze između sustava naplate cestarine i koncepta I2V;
- razvoj komunikacijskog koncepta i aplikacija sposobnih za nošenje sa zahtjevima I2V komunikacija u pogledu pouzdanosti, mogućnosti u stvarnom vremenu i robusnosti, uzimajući u obzir različite tehnologije (DAB, CALM, itd.);
- ostvarenje rezultata na važnim dionicama europskih autocesta s visokom gustoćom prometa u Nizozemskoj, Njemačkoj, Austriji i Italiji te razvoj strategija primjene za mješovito okruženje.

### 2.3.2 CVIS projekt

Integrirani projekt CVIS (*Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*) sufinanciran sredstvima EU uzima za cilj donijeti velike koristi vozačima, kao i cestovnim upraviteljima tijelima vlasti, dopuštajući vozilima da međusobno komuniciraju i surađuju izravno s infrastrukturom uz cestu. [9]

Ciljevi CVIS-a su:

- stvoriti jedinstveno tehničko rješenje koje omogućuje svim vozilima i elementima infrastrukture da međusobno komuniciraju na kontinuiran i transparentan način koristeći razne medije i s poboljšanom lokalizacijom;
- omogućiti širok spektar potencijalnih usluga suradnje na otvorenom okviru primjene u vozilu i opremi uz cestu;
- definirati i potvrditi otvorenu arhitekturu i koncept sustava za brojne kooperativne systemske aplikacije i razviti zajedničke temeljne komponente za podršku modelima suradnje u stvarnim aplikacijama i uslugama za vozače, operatere, industriju i druge

ključne dionike;

- rješavati pitanja poput prihvaćanja korisnika, privatnosti i sigurnosti podataka, otvorenosti i interoperabilnosti sustava, rizika i odgovornosti, potrebama javne politike, troškovima i koristima i poslovnim modelima te planovima za implementaciju.

Postignuća CVIS <sup>TM</sup> primijenjena su na testnim lokacijama u sedam europskih zemalja kako bi se povećala sigurnost na cestama i učinkovitost prometa i smanjio utjecaj cestovnog prometa na okoliš [9].

### **2.3.3 SAFESPOT projekt**

SAFESPOT je integrirani istraživački projekt sufinanciran sredstvima Europske komisije koji stvara dinamične kooperativne mreže u kojima vozila i cestovna infrastruktura komuniciraju radi razmjene informacija prikupljenih na vozilima i na cesti kako bi se poboljšala vozačeva percepcija okoline [10].

Ciljevi SAFESPOT-a podrazumijevaju:

- korištenje infrastrukture i vozila kao izvora i odredišta informacija povezanih sa sigurnošću i razvijanje otvorene, fleksibilne i modularne arhitekture i komunikacijske platforme;
- razvoj ključnih tehnologija koje omogućavaju: *ad hoc* dinamičke mreže, točne relativne lokalizacije i dinamičke karte lokalnog prometa;
- razvoj i testiranje scenarijskih aplikacija za procjenu utjecaja na sigurnost na cestama;
- definiranje održive strategije uvođenja kooperativnih sustava za sigurnost na cestama, uz procjenu potrebnih odgovornosti, propisa i standarda.

### **3. PREGLED ARHITEKTURA INTERNETA VOZILA**

Na temelju interakcija različitih tehnologija u IoV okruženju, istraživači su predložili razne arhitekture, od kojih su arhitekture s pet i sedam slojeva opisane u poglavljima u nastavku, dok se ranije razvijene arhitekture spominju niže.

U arhitekturi s tri sloja, prvi sloj sadrži sve senzore u vozilu koji prikupljaju podatke o okruženju i otkrivaju specifične događaje od interesa kao što su uzorci vožnje i prometne situacije, vremenski uvjeti i sl. Drugi je sloj komunikacijski sloj koji podržava različite načine bežične komunikacije kao što su vozila s vozilima (V2V), vozila s infrastrukturom (V2I), vozila s pješacima (V2P) i vozila sa sensorima (V2S). Komunikacijski sloj osigurava besprijeckornu povezanost s postojećim i novim mrežama (kao što su GSM, Wi-Fi, LTE, Bluetooth, 802.15.4 itd.). Treći sloj uključuje statističke alate, podršku za pohranu i procesnu infrastrukturu koji sačinjavaju inteligenciju IoV-a i pružaju automobilima procesnu snagu zasnovanu na velikim podacima (tj. pristup računalnim resursima, pretraživanje sadržaja, dijeljenje spektra itd.) i odgovorni su za pohranu, analizu, obradu i donošenje odluka o različitim rizičnim situacijama (kod prometnih zagušenja, opasnih stanja na cestama itd.).

Cilj je takve arhitekture mogućnost donošenja jedinstvenih odluka na temelju spajanja podataka dobivenih iz različitih sustava i tehnologija (veliki podaci, bežična senzorska mreža, računalstvo u oblaku itd.).

CISCO je predložio IoV arhitekturu koja se temelji na četiri sloja. Sloj krajnjih točaka pokriva vozila, softver i V2V komunikaciju kroz 802.11p. Infrastrukturni sloj definira sve tehnologije koje omogućuju veze između svih aktera IoV-a. Operativni sloj nadgleda provođenje pravila i upravljanje temeljeno na protoku. Konačno, servisni sloj određuje usluge koje različite vrste oblaka (javni oblak, privatni oblak i poslovni oblak) nude vozačima na temelju pretplate, podatkovnog centra ili na zahtjev. IoV omogućuje povezivanje vozila i vozača na Internet, a time im omogućuje pristup širokom spektru davatelja usluga.

S obzirom na to da navedene arhitekture sadržavaju slabosti poput mogućnosti zagušenja mreže radi prijenosa prikupljenih informacija bez prethodne obrade, nedostatka sloja za integriranje komunikacijske inteligencije te se u njima ne razmatraju sigurnosne ugroze, u nastavku se razmatraju arhitekture s pet i sedam slojeva koje omogućuju

transparentnu međusobnu povezanost mrežnih komponenti i širenje podataka u IoV okruženju [11].

### 3.1. Slojevita arhitektura

Predlaže se slojevita arhitektura IoV s obzirom na funkcionalnosti i prikazuje se svaki sloj. Stog protokola za slojevitom arhitekturu strukturiran je s obzirom na upravljački, operativni i sigurnosni nivo. Predlaže se mrežni model IoV-a koji se temelji na tri mrežna elementa, uključujući oblak, vezu i klijenta. Pogodnosti dizajna i razvoja IoV-a ističu se izvođenjem kvalitativne usporedbe između IoV-a i VANET-ova. Napokon, raspravlja se o izazovima koji slijede za ostvarivanje IoV-a i predviđaju se budući aspekti IoV-a.

U nastavku je opisano pet slojeva arhitekture i stog protokola za IoV, predložen je mrežni model IoV-a zasnovan na tri mrežna elementa; oblaku, vezi i klijentu, nabrojene su prednosti IoV-a u odnosu na VANET-e i u konačnici se razmatraju izazovi koje je potrebno riješiti u dizajnu i razvoju IoV-a.

#### 3.1.1. Slojevi arhitekture

Dizajnirana je arhitektura s pet slojeva koja uključuje percepciju, koordinaciju, umjetnu inteligenciju (eng. *Artificial Intelligence*) te aplikacijski i poslovni sloj. Prikazi i funkcionalnosti svakog sloja su opisani u nastavku, a sažeti prikaz prikazan je na slici 4 [12].

##### 1. Percepcijski sloj

Prvi sloj arhitekture predstavljaju različite vrste senzora i aktuatora ugrađene na vozila, RSU-ove, pametne telefone i druge osobne uređaje koji se razmatraju u okviru. Primarna odgovornost sloja je prikupljanje podataka o vozilu, prometnom okruženju i uređajima. Prikupljene informacije obuhvaćaju podatke o brzini, smjeru, ubrzanju, položaju, stanje motora i sličnim parametrima koji se odnose na vozilo, gustoću cestovnog prometa i



vremenske uvjete povezane s prometnim okruženjem te multimedijske i informativno-zabavne zapise koji se odnose na ljude. Sloj je također odgovoran za prijenos percipiranih podataka na koordinacijski sloj. Glavna pitanja sloja su prikupljanje i diferencijacija zabilježenih podataka na učinkovit način u smislu troškova i energije.

## 2. Koordinacijski sloj

Drugi sloj arhitekture predstavljen je virtualnim univerzalnim mrežnim koordinacijskim modulom za heterogene mreže koje uključuju WAVE, Wi-Fi, 4G / LTE i satelitske mreže, putem kojih se percipirane informacije iz nižeg sloja na siguran način prenose na sloj umjetne inteligencije za obradu. Nedostatak postojećih standarda, interoperabilnosti i suradnje između različitih vrsta mreža jedna je od glavnih briga IoV-a, zbog potrebe za pouzdanom mrežnom povezanosti kojom se upravlja ovim slojem. Glavna odgovornost ovog sloja je obrada različitih informacijskih struktura zaprimljenih s heterogenih mreža i sakupljanje u jedinstvenu strukturu koja se može identificirati i obraditi u svakoj mreži.

## 3. Sloj umjetne inteligencije

Treći sloj arhitekture predstavlja virtualna infrastruktura u oblaku. To je mozak IoV-a odgovoran za pohranu, obradu i analizu informacija zaprimljenih s nižeg sloja i donošenje odluka na temelju kritičke analize. Djeluje kao centar za upravljanje informacijama, čije su glavne operativne komponente računalne i analitičke tehnike, uključujući računarstvo u automobilskom oblaku (eng. *vehicle cloud computing*) i analiza velikih podataka (eng. *big data analysis*). Zbog broja usluga koje se nude u oblaku, upravljanje uslugama također je jedna od glavnih briga u IoV-u od kojih ekskluzivne i namjenske usluge potrebne za pametne aplikacije kojima također upravlja ovaj sloj.

## 4. Aplikacijski sloj

Četvrti sloj arhitekture predstavljaju pametne aplikacije, koje se odnose na sigurnost i učinkovitost u prometu te multimedijску zabavu i informiranje kao i uslužne web aplikacije. Sloj je odgovoran za pružanje pametnih usluga krajnjim korisnicima koje se temelje na inteligentnoj i kritičkoj analizi obrađenih informacija iz AI sloja. Jedan od glavnih zadataka

ovog sloja je efikasno prepoznavanje usluga koje pruža AI sloj u svrhu kombiniranja pametnih aplikacija za krajnje korisnike. Također pruža podatke o korištenju aplikacija krajnjeg korisnika za poslovni sloj. Zahvaljujući realizaciji brojnih pametnih aplikacija, okvir IoV-a razvija se kao globalna mreža za pouzdanu komunikaciju vozila. Stoga su pametne aplikacije ovog sloja pokretačka snaga za ulaganja u istraživanje i razvoj IoV-a.

## 5. Poslovni sloj

Peti sloj arhitekture predstavlja modul operativnog upravljanja IoV-om. Glavna odgovornost sloja je uspostavljanje strategija za razvoj poslovnih modela zasnovanih na podacima o upotrebi aplikacija i statističkoj analizi podataka. Različite vrste alata za analizu, uključujući grafikone, dijagrame toka, usporedne tablice, dijagrame slučajeva (eng. *Case Diagram*) itd., sastavni su dio sloja. Ostale odgovornosti sloja uključuju donošenje odluka koje se odnose na ekonomska ulaganja i upotrebu resursa, postavljanje cijena za korištenje aplikacija, ukupnu pripremu radnog proračuna i upravljanje i sakupljanje zbirnih podataka.



Slika 4. Arhitektura IoV s pet slojeva

Izvor: [12]

### 3.1.2. Stog protokola

Stog protokola dizajnira se učinkovitom namjenskom organizacijom postojećih odgovarajućih protokola na svaki od pet slojeva. Namjena stoga protokola je ostvarenje funkcionalnih zahtjeva svakog identificiranog sloja u arhitekturi. Odgovarajući protokoli identificirani su za različite slojeve i razine IoV arhitekture učinkovitim upravljanjem većinom funkcionalnih zahtjeva pomoću postojećih protokola. Stog protokola se sastoji od sigurnosne, operativne i upravljačke razine. Na ovim razinama predlaže se korištenje protokola razvijenih u okviru projekata WAVE, C2C i CALM [12].

### 3.1.3 Mrežni model

Predložen je mrežni model IoV-a s identificiranim glavnim mrežnim elementima. Građevni blokovi IoV-a u smislu mrežnih elemenata učinkovitije izražavaju značenje i funkcionalnosti IoV-a kao sveobuhvatne heterogene mreže. Identificirana su tri glavna mrežna elementa IoV koja uključuju oblak, vezu i klijenta.

Prvi element IoV-a je „oblak“ koji predstavlja mozak IoV-a. Niz usluga povezanih s inteligentnim računanjem i obradom nude se kao primarne usluge u oblaku. Usluge se nude na *cloud* platformi koju pruža *cloud* infrastruktura. Inteligentnim računalnim i procesnim uslugama na oblaku pristupa se uspostavljanjem pouzdane 'veze' koja je drugi element IoV-a.

Za uspostavljanje veze može se koristiti niz tehnologija bežičnog pristupa. Različite vrste automobilskih komunikacija za IoV predstavljaju različite veze zbog upotrebe različitih tehnologija bežičnog pristupa. Različite vrste veza koriste se pametnim 'klijentskim' aplikacijama koje su treći element IoV-a.

Svaka klijentska aplikacija ima zahtjeve koji se mogu razlikovati od zahtjeva drugih

klijenata. Zahtjevi klijenta definirani su u okviru karakteristika tehnologije bežičnog pristupa. Stoga klijentske aplikacije stavljaju prioritet na prednosti tehnologija bežičnog pristupa. Ti su elementi i njihove uloge u IoV opisani u nastavku.

#### A - Oblak

Količina prometno povezanih informacija drastično će se povećati ostvarenjem IoV-a radi integracije različitih vrsta mreža s mrežom vozila. Urbani ITS za dinamičko prikupljanje, obradu i diseminaciju prometnih informacija u stvarnom vremenu zahtijevao bi sustav za obradu informacija na razini petabajta ( $10^{15}$  B). Za obrađivanje informacija ove magnitude najbolje je okruženje računalstvo na oblaku. Predložen je okvir za isticanje uloge računalstva na oblaku kao elementa u IoV korištenjem koncepta aplikacijskih poslužitelja na oblaku. Okvir ima tri operativne razine i uključuje osnovne usluge na oblaku, pametne aplikacijske poslužitelje te potrošače i proizvođače informacija. Operativne razine temelje se na oblaku, gdje se podaci o prometu prenose, obrađuju, pohranjuju i šire putem arhitekture oblaka. Osnovne usluge na oblaku osnovni su operativni okvir za realizaciju pametnih ITS aplikacijskih poslužitelja u IoV-u.

#### B - Veza

"Veza" se koristi za uspostavljanje i održavanje komunikacije između „oblaka“ i vozila za pristup pametnim uslugama na oblaku u IoV-u. Zbog razmatranja različitih vrsta mreža, uključujući VANET-ove, Wi-Fi, 3G / LTE i satelite, međusobno povezivanje ovim mrežama predstavlja značajan izazov. Dvije su glavne komponente veze; TPNIO - mrežni međuoperater treće strane (eng. *Third Party Network Interoperator*) i GIN (eng. *Gateway of Internetworking*). TPNIO je odgovoran za upravljanje vezom, dok GIN predstavlja vezu.

Zbog heterogenog mrežnog okruženja u IoV, klijentskim aplikacijama će za uspostavljanje veza s pametnim poslužiteljima biti dostupan niz bežičnih tehnologija za pristup. Te su tehnologije razvijene za različite vrste komunikacijskih mreža. Karakteriziramo ih pomoću šest parametara koji obuhvaćaju brzinu prijenosa podataka, domet komunikacije, podršku pokretljivosti, kašnjenje komunikacije, sigurnosnu podršku i skalabilnost. Odabir odgovarajuće pristupne tehnologije važan je za održavanje QoS-a (eng. *Quality of service*).

Tablica 1. Prioritetne preferencije bežičnih pristupnih tehnologija

Izvor: [12]

Svojstvo	Prioritet preferenci na temelju svojstva (Od višeg prema nižem)
Podatkovni prijenos	Wi-Fi (a/b/g/n) -> 4G/LTE -> WiMAX -> DSRC/WAVE -> CALM -> Bluetooth -> ZigBee
Komunikacijski domet	WiMAX -> 4G/LTE -> DSRC/WAVE -> CALM / Wi-Fi (a/b/g/n) -> ZigBee -> Bluetooth
Podrška mobilnosti	DSRC/WAVE -> CALM -> WiMAX -> 4G/LTE -> Wi-Fi (a/b/g/n) -> ZigBee -> Bluetooth
Komunikacijsko kašnjenje	DSRC/WAVE -> CALM -> 4G/LTE -> ZigBee -> Wi-Fi (a/b/g/n) -> Bluetooth -> WiMAX
Podrška sigurnosti	4G/LTE -> WiMAX -> Wi-Fi (a/b/g/n) -> ZigBee -> Bluetooth -> CALM -> DSRC/WAVE
Skalabilnost	WiMAX -> 4G/LTE -> DSRC/WAVE -> CALM -> Wi-Fi (a/b/g/n) -> ZigBee -> Bluetooth

## C - Klijent

Usluge pametnih poslužitelja na oblaku koriste ‘klijentske’ aplikacije vozila uz pomoć mrežne veze. Klijentske aplikacije ili klijenti u IoV-u mogu se široko podijeliti u dvije kategorije – na one orijentirane na sigurnost i upravljanje te orijentirane na poslovanje. Neki od potencijalnih klijenata spomenuti su u nastavku i pobliže opisani u poglavlju 4 [12].

Aplikacije ITS-a vezane uz sigurnost prometa i upravljanje podijeljene su u četiri skupine koje se odnose na sigurnost, navigaciju, dijagnostiku i udaljenu telematiku te ih razmatramo pod kategorijom sigurnosno orijentiranih klijentskih aplikacija. Poslovno orijentirane ITS aplikacije IoV-a mogu se široko podijeliti u četiri kategorije, a obuhvaćaju osiguranje, dijeljenje automobila (eng. Car sharing), sustave informiranja i zabave i druge programe.

Ključni doprinosi ovakve arhitekture su sljedeći [12]:

Predlaže se arhitektura IoV s pet slojeva s obzirom na funkcionalnosti i prikaze slojeva. Sklop protokola za slojevitu arhitekturu strukturiran je s obzirom na upravljački, operativni i sigurnosni nivo.

Predlaže se mrežni model identificiranjem tri mrežna elementa IoV-a, uključujući oblak, vezu i klijenta. Istražena je uloga računalstva na oblaku, heterogene mrežne veze i potencijalnih klijentskih aplikacija u IoV-u.

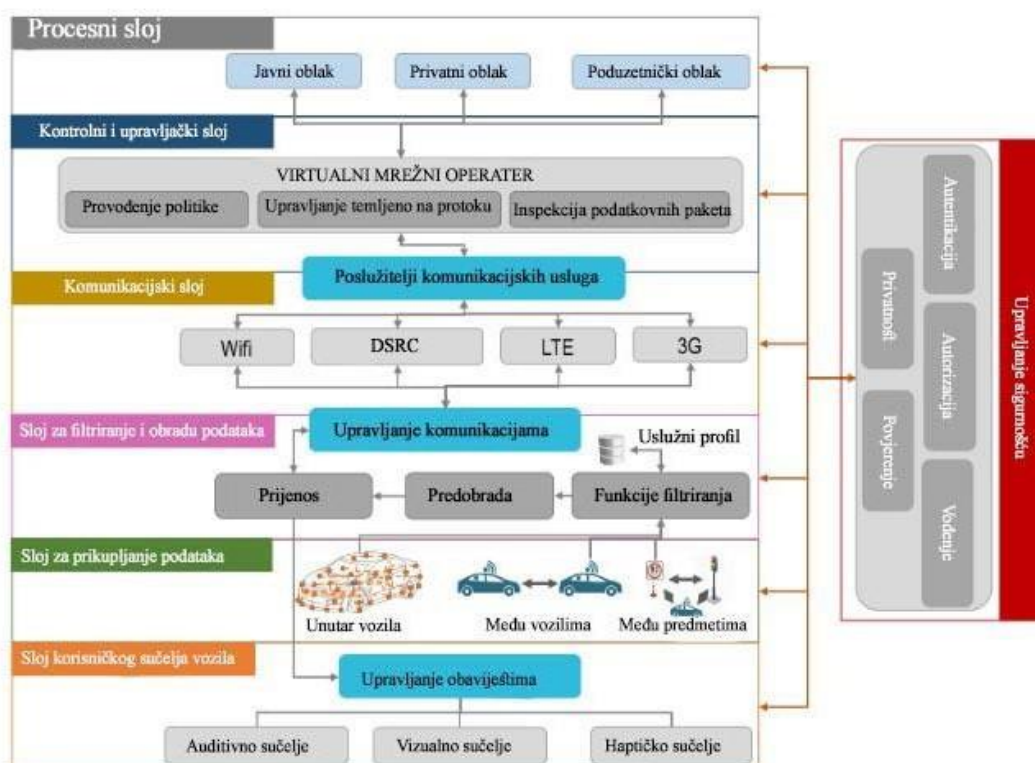
Prednosti realizacije IoV-a istaknute su izvođenjem kvalitativne usporedbe između IoV-a i VANET-ova.

Raspravlja se o izazovima i pitanjima koja se pojavljuju kod dizajna i razvoja IoV-a. Zamišljeni su budući aspekti IoV-a.

### **3.2 Arhitektura sa sedam slojeva**

U arhitekturi sa sedam slojeva pružen je sigurnosni sloj za upravljanje provjerom autentičnosti, autorizacijom i vođenjem svih transakcija među različitim IoV entitetima. IoV model podržava sučelje korisnik-vozilo za upravljanje interakcijama između vozila i vozača.

Također je uvedeno komunikacijsko sučelje koje odabire optimalnu mrežu za prijenos. Primjerice, ako ćemo koristiti Wi-Fi mrežu, ona odabire najboljeg pružatelja usluga na temelju nekoliko čimbenika, kao što su komunikacijski zahtjevi, profil vozila i kvaliteta mreže te troškovi transakcije, itd. kako bi održavati kvalitetu komunikacije.



Slika 5. Arhitektura IoV sa sedam slojeva

Izvor: [11]

## 1. Sloj korisničkog sučelja vozila

Ovaj sloj omogućuje izravnu interakciju s vozačem putem upravljačkog sučelja za koordinaciju svih obavijesti vozaču i odabir najboljeg elementa zaslona za trenutnu situaciju ili događaj koji pomaže u smanjenju ometanja vozača. Primjerice, ako postoji rizik od sudara s vozilom ispred, može se aktivirati set svjetala na nadzornoj ploči automobila dok zvukovni signal upozorava vozača.

## 2. Sloj za prikupljanje podataka:

Ovaj sloj prikuplja podatke iz različitih izvora (unutarnjih senzora vozila i navigacijskog sustava, podataka prikupljenih intervehikularnom komunikacijom, podataka iz senzora, semafora i signala) koji se nalaze na cestama.

### 3. Sloj za filtriranje i obradu podataka:

Ovaj sloj analizira prikupljene informacije kako bi se izbjegao prijenos nevažnih informacija i smanjio mrežni promet. Odluke o prijenosu temelje se na servisnom profilu stvorenom za vozilo koje je pretplaćeno na uslugu ili aktivno koristi usluge.

### 4. Komunikacijski sloj:

Ovaj sloj odabire najbolju mrežu za slanje informacija koristeći nekoliko parametara odabira kao što su zagušenost i razina kvalitete usluga u različitim dostupnim mrežama, relevantnost informacija, privatnost i sigurnost, itd.

### 5. Kontrolni i upravljački sloj:

Ovaj je sloj odgovoran za upravljanje različitim pružateljima mrežnih usluga koji se nalaze u IoV okruženju. U ovom se sloju primjenjuju različite politike (kao što su upravljanje prometom, prometno inženjerstvo i inspekcija paketa) i funkcije za bolje upravljanje zaprimljenim informacijama.

### 6. Procesni sloj:

Ovaj sloj obrađuje velike količine informacija pomoću različitih infrastruktura računalstva u oblaku lokalno i na daljinu. Rezultate obrađenih informacija mogu koristiti pružatelji masivnih podatkovnih usluga za daljnje poboljšanje usluge ili za razvoj novih aplikacija. Rezultati dobiveni nakon obrade mogu koristiti i različite vladine agencije kod razvoja buduće infrastrukture, V2B usluga [27] i politika koje pomažu u poboljšanju ili boljem upravljanju cestovnim prometom.

### 7. Sigurnosni sloj:

Ovo je transverzalni sloj koji ima izravnu komunikaciju sa svim ostalim slojevima. Odgovoran je za sve sigurnosne funkcije (kao što su provjera autentičnosti podataka, integritet, nerepudiranje i povjerljivost, kontrolu pristupa, dostupnost itd.) unutar predložene



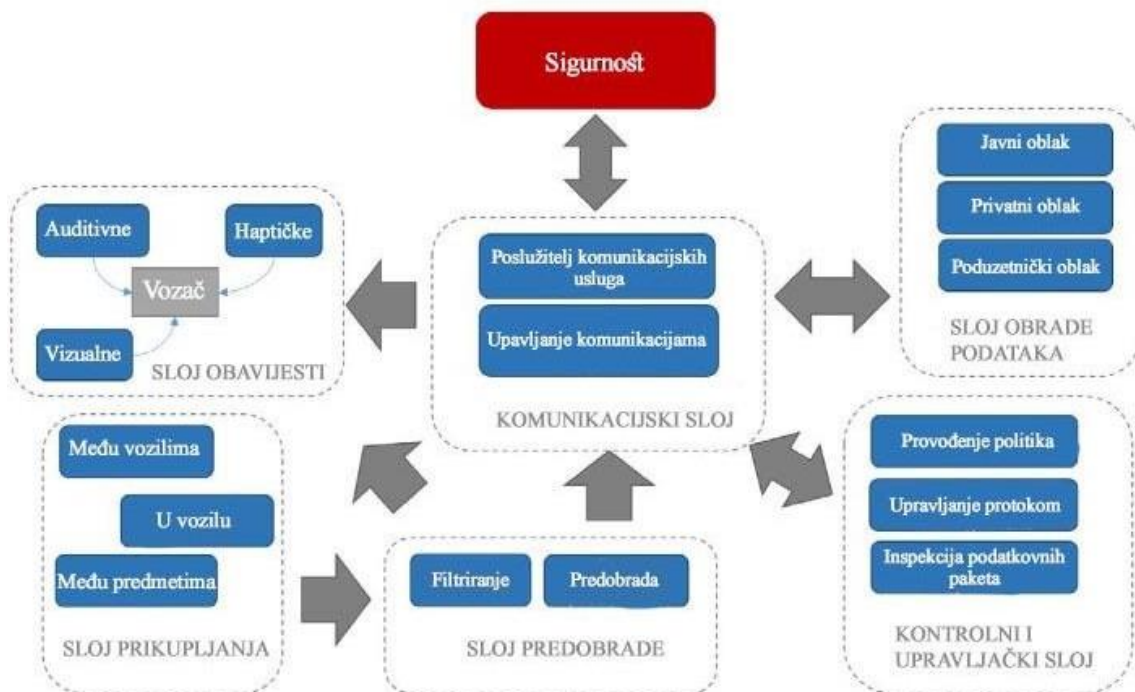
arhitekture. Sloj je dizajniran za podršku ublažavajućim rješenjima za rješavanje različitih vrsta sigurnosnih napada (poput *cyber* napada i drugih) u IoV-u.

Kao što je prikazano na slici, kada vozilo pokreće svoj motor, pokreće postupak inicijalizacije radi autentifikacije s IoV mrežom i započinje postupak prikupljanja podataka o okolišu. Ovim korakom prikupljanja prikupljaju se sve informacije koje generiraju vozila, ljudi i infrastruktura uz cestu (senzori automobila, lokacija, senzori razine zagađenja, semafori, znakovi, mobiteli, mobilni uređaji, itd.) unutar područja mobilnosti prometne mreže.

Prikupljeni podaci filtriraju se i unaprijed obrađuju kako bi se dobili relevantni podaci koji se prenose:

- vozaču, koristeći jedan od mehanizama interakcije poput vizualnog, akustičnog ili haptičnog;
- na mrežu, ovisno o pokrivenosti, vrsti i osjetljivosti informacija; ili
- odbacuju radi smanjenja opterećenja IoV mreže.

Na primjer, ako vozilo primi obavijest o nesreći, ona se prikazuje vozaču, a obavijest se zatim širi. Ako drugo vozilo primi iste, nepromijenjene podatke, tada ih neće ponovno emitirati. Na temelju profila vozila (zahtjevi za uslugom) i dostupnih informacija u okruženju (kao što su dostupne tehnologije pristupa mreži, dostupni pružatelji mrežnih usluga, QoS svake mreže, troškovi i ostalo) odabire se najbolja mreža pomoću nekog od inteligentnih algoritama implementiranih u komunikacijskom sloju. Svim informacijama koje se prenose mrežom upravlja se kroz niz mehanizama (kao što su politike i pravila, obrada i klasifikacija protoka mreže, inspekcija paketa, itd.) kako bi se održala visoka učinkovitost svih usluga koje se pružaju u IoV okruženju. Predobrađene informacije klasificiraju se (npr. kao privatne i poslovne), a zatim šalju na najprikladniji oblak za analizu, obradu, pohranu i dostupnost na temelju vrste podataka [11].



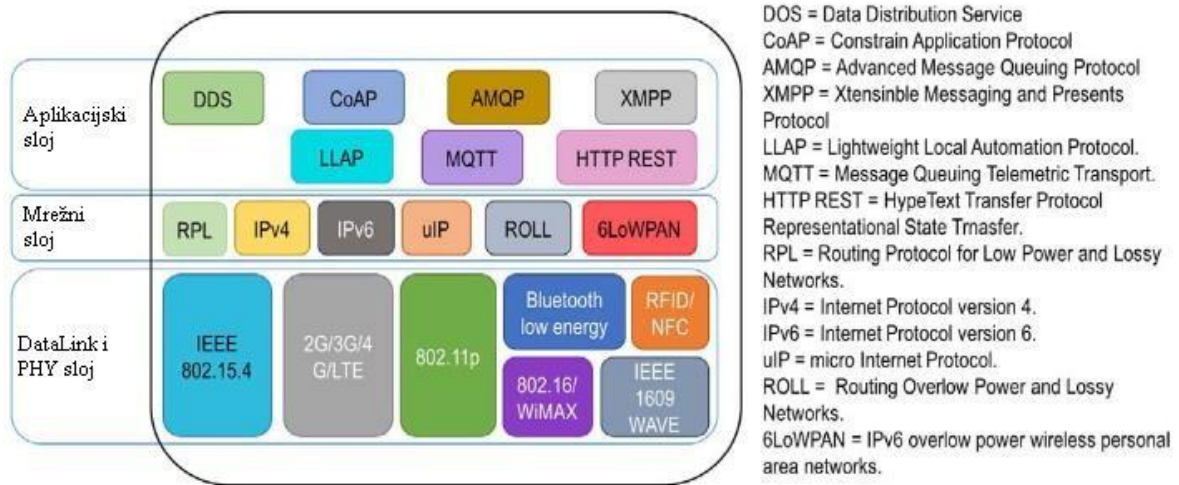
Slika 6. Primjer komunikacija među slojevima arhitekture

Izvor: [11]

### 3.3. Standardizacija u području interneta vozila

IoV uključuje mnogo sudionika i povezivost mora biti osigurana između svih sudionika. Jedan od glavnih izazova za međusobno povezivanje vozila je interoperabilnost. Da bismo to osigurali, moramo razviti standarde za IoV okvir. Međunarodne organizacije i konzorciji poput InternetEngineering Task Forcea, EPCglobala, Instituta inženjera elektrotehnike i elektronike, Europskog odbora za standardizaciju (CEN) i Europskog instituta za telekomunikacijske standarde (ETSI), na čelu sa World Wide Web Consortiumom (W3C) ulažu puno napora da se definiraju standardi i protokoli za IoV. W3C se fokusira na standarde za razvojne programere koji će pružiti točniji pristup podacima o vozilu (poput identifikacije vozila, ubrzanja i brzine, tlaka u gumama, statusa akumulatora i personaliziranih podataka)

[28]. ETSI i CEN objavili su osnovni skup standarda koje je zatražila Europska komisija kako bi se osigurala interoperabilna komunikacija između vozila različitih proizvođača.



Slika 7. Standardi za internet vozila

Izvor: [11]

Na Slici 7. nalaze se neki istaknuti protokoli koje su definirale razne međunarodne organizacije za standardizaciju. Iako su gotovo svi protokoli aplikacijskog sloja razvijeni za IoT, mogu se implementirati u IoV.

## 4. UČINCI INTERNETA VOZILA U PODRUČJU INTELIGENTNIH TRANSPORTNIH SUSTAVA

Korištenje informacijsko-komunikacijskih tehnologija ITS-a dovodi do napretka u području transporta ljudi i dobara sniženjem broja smrti i ozljeda te poboljšanjem prometne mreže. Tradicionalna prometna rješenja ne mogu postizati i održavati zadovoljavajuću kvalitetu usluge suvremenih zahtjeva transportnih sustava. Uz to, za integraciju transportno-logističkih sustava potrebno je korištenje sofisticirane informacijske infrastrukture zajedno s transportnim sustavima. Zagađenje zraka dodatna je stavka koja potiče donošenje odgovarajućih mjera za sniženje zdravstvenih rizika, utjecaja na okoliš te poboljšanja kvalitete života. Analizom transportnih sustava opremljenih ITS tehnologijom dolazimo do zaključka da oni omogućuju predviđanje opasnih situacija, a time i smanjenje vremena reakcije, što može uzrokovati poboljšanje sigurnosti u prometu i sniženju broja prometnih nesreća. U području transporta tereta, ITS će uzrokovati poboljšanja u upravljanju vozačima i flotama vozila uz pravovremeno putno informiranje i upozorenja koja će imati utjecaj na održivo upravljanje transportom. Posljedično, primjena ITS rješenja dovodi do značajnih pomaka u uvjetima i sigurnosti transporta te očuvanju okoliša. Rješenja i aplikacije ITS-a na inteligentnim vozilima su brojna, a ključni aspekt podrazumijeva uvođenje i prilagođavanje komunikacijskih tehnologija tako da vozila mogu komunicirati međusobno, kao i s okolinom, radi pomoći vozaču pri donošenju boljih i preciznijih odluka i prosudbi. Napredni sustavi pomoći vozaču razvijeni su s namjerom za tehnološku integraciju korištenjem senzora i komunikacijskih tehnologija za prilagođeno manevriranje u svrhu izbjegavanja nesreća, optimiranja kompleksnih radnji na cestovnoj mreži te sigurnijeg praćenja drugih vozila. Niže su navedeni neki od naprednih sustava pomoći vozaču [13].

- Adaptivni tempomat (eng. *Adaptive Cruise Control*)

Adaptivni tempomat je oblik naprednog sustava pomoći vozaču koji podrazumijeva korištenje radarske tehnologije za održavanje longitudinalnog razmaka i brzine među vozilima. Tehnologija neprestano prilagođava brzinu vozila za razliku od konvencionalnog tempomata koji održava samo zadanu brzinu.

- Upozorenja na prepreke

Tehnologija koja se koristi radarom, ultrazvukom, infracrvenim zračenjem i laserom za prepoznavanje mogućnosti kolizije tijekom kretanja vozila i upozorenje vozača na opasnost. Može se koristiti za prepoznavanje prepreka ispred i iza vozila prilikom kretanja te u skladu s time izdati odgovarajuće zvučne signale.

- Sustav upozorenja na napuštanje trake

Sustav upozorenja na napuštanje trake procjenjuje smjer ceste i položaj vozila u svojoj traci. Napuštanjem prometne trake, sustav upozorava vozača te navodi vozilo na početni položaj u traci.

Kao ogromna mreža interakcija, IoV tehnologija odnosi se na dinamičke mobilne komunikacijske sustave ili modele koji komuniciraju između vozila i drugih objekata pomoću interakcija V2V (vozilo s vozilom), V2R (vozilo s cestom), V2I (vozilo s infrastrukturom), V2B (vozilo sa zgradom), V2H (vozilo s kućom), V2X (vozilo sa svime) ili V2G (vozilo s mrežom). Omogućuje i razmjenu informacija između V2D (vozilo-uređaj), V2S (vozilo-senzor) i D2D (uređaj-uređaj) unutar vozila. Implementacija IoV-a u gradovima omogućuje razmjenu informacija i prikupljanje velikih podataka vozilima, cesta, infrastrukture, zgrada i njihove okoline. IoV sustav može pružiti usluge za inteligentne transportne aplikacije za usmjeravanje i nadzor vozila te pružiti niz usluga za multimedijske i mobilne internetske aplikacije.

IoV aplikacije za inteligentne transportne sustave mogu se široko klasificirati u četiri glavne kategorije [6]:

- sigurnosne aplikacije;
- aplikacije u području učinkovitosti;
- aplikacije u području udobnosti;
- aplikacije u području informiranja i zabave.

## 4.1. Sigurnosne aplikacije

Primarni cilj IoV aplikacija usmjerenih na sigurnost je izbjegavanje ili smanjenje broja nesreća otkrivanjem potencijalnih situacija koje mogu izazvati nesreće u transportnom sustavu. Komercijalno su poznati kao sustavi za izbjegavanje sudara (eng. *collision avoidance systems*) ili kooperativni sustavi za izbjegavanje sudara kada se CAS podaci distribuiraju susjednim vozilima u IoV-u.

U jednom od primjera, V2V komunikacije se koriste za kooperativno izbjegavanje kolizija na križanjima (eng. *Cooperative Collision Avoidance*). Predloženi su decentralizirani algoritmi za kooperativno izbjegavanje kolizije 2 vozila na križanju pomoću formalnih kontrolnih metoda za jamčenje sustava bez kolizija. S obzirom na to da se aplikacija smatra kritičnom za život, algoritmi za izbjegavanje kolizija trebaju biti sigurnosno certificirani. Za ovakvu aplikaciju valja dozvoliti fazu upozorenja vozaču prije nego dođe do potrebe za automatsku kontrolu. Također treba razmotriti skalabilnost na više od dva vozila. Istraživanje također treba provesti u drugačijoj topološkoj mreži [14].

U drugom primjeru predložena je strategija efektivnog izbjegavanja kolizija u mrežama vozila, nazvan C-RACCA. Vozila se svrstavaju u konvoje koji pripadaju grupama sa sličnim značajkama kretanja. Razvijen je niz mehanizama koji vozilima omogućuje napuštanje i pridruživanje konvojima. Uz to, sustav poboljšava latencije kod diseminacije poruka upozorenja nakon prepoznavanja kriznih situacija. Svakom vozilu dodjeljuje se razina nužde prema odgovarajućem redosljedu u konvoju u skladu sa smjerom [15].

## 4.2. Aplikacije u području učinkovitosti

Aplikacije za učinkovitost imaju za cilj poboljšanje pokretljivosti vozila unutar IoV mreže. Jedna od metoda koja se može upotrijebiti jest planiranje izmjena prometnih signala na raskrižjima na temelju prometnog toka za smanjenje vremena čekanja. Raspoređivanjem vozila koje se približavaju raskrižju u konvoje, uz pomoć V2V komunikacija stvara se izračun

gustoće vozila u konvoju, a informacija se prenosi upravljačkom sustavu prometne signalizacije koja raspoređuje cikluse prometnih signala [6]. U drugom primjeru, može se koristiti pristup s neizrazitom logikom (eng. *Fuzzy Logic*) za raspoređivanje ciklusa prometnih signala na raskrižju s ciljem maksimiziranja efikasnosti prometnog toka bez diskriminacije. Pristup se sastoji od dvije faze. U prvoj fazi dolazi do odabira nadolazeće zelene faze. U drugoj fazi prilagodnik ciklusa zelene faze određuje trajanje [16].

U jednome primjeru aplikacije za učinkovitost predlaže se predmodeliranje trajektorija vozila u blizini prometnih znakova za sniženje frekvencije zaustavljanja i skraćenje vremena putovanja za pojačanje propusnosti cestovne infrastrukture u skladu s uvjetima na cesti i situacijama s vozilima u blizini na temelju kooperativne vožnje [17].

### **4.3. Aplikacije u području udobnosti**

IoV aplikacije za udobnost imaju za cilj pružanje informacija vozačima kako bi putovanje učinile ugodnim. Te informacije mogu obuhvaćati podatke o vremenu, rutama, benzinskim postajama itd. Jedan od primjera je sustav informiranja o dostupnosti parkirnih mjesta. Potraga za slobodnim parkirnim mjestom u području velike prometne gustoće ili na velikom parkiralištu izaziva gubitak vremena i neugodu. Predložena je pametna shema parkiranja za velika parkirališta pomoću komunikacija među vozilima - SPARK. Shema vozačima pruža stvarnovremensku navigaciju do parkirnog mjesta, inteligentnu zaštitu protiv krađe vozila te diseminaciju podataka o parkirnim mjestima [18].

### **4.4. Aplikacije u području informiranja i zabave**

Aplikacije za sustave informiranja i zabave imaju za cilj distribuciju informacija vezanih za zabavu vozačima i putnicima. One uključuju pristup Internetu i drugim uslugama za razmjenu datoteka. Trenutno je omogućavanje pristupa vozilima globalnom Internetu i ažuriranje informacija izazovni zadatak zbog promjenjive dinamičke prirode vozila u IoV

mreži. Za primjer može poslužiti shema prijenosa videozapisa u kojima se kooperativne V2I i V2V komunikacije koriste za neprekinuti prijenos videozapisa s vozila u pokretu na fiksnu mrežu. Sustav se koristi predviđanjem pokretljivosti vozila radi pronalaska optimalnog relejnog čvora u svrhu sniženja vjerojatnosti neuspjeha prijenosa. Eksperimentalni rezultati pokazuju da selektivno prosljeđivanje i redukcija učestalosti grešaka u prijenosu poboljšavaju videoperformanse [19].

## **4.5. Karakteristike istaknutih aplikacija u vozilima**

Aplikacije IoV sadrže one usmjerene na sigurnost i udobnost pa sve do zabavnih i komercijalnih usluga. U ovom odjeljku razmatramo četiri uočljive karakteristike uočene u novim aplikacijama vozila i o trendovima prema inteligentnoj mreži vozila i utjecaju na autonomno vozilo [20].

### **4.5.1. Valjanost sadržaja**

Vozila proizvode veliku količinu sadržaja kojega istovremeno konzumiraju. Odnosno, oni postaju proizvođači i korisnici velikih podataka (eng. *Rich Data Prosumers*). Takvi sadržaji pokazuju nekoliko zajedničkih svojstava od lokalnog značaja – valjanost lokaliteta, eksplicitni vijek trajanja i lokalni interes.

Valjanost lokaliteta ukazuje na to da sadržaj generiran vozilima ima svoj prostorni opseg korisnosti. Na primjer, u sigurnosnim aplikacijama, poruka upozorenja o brzini u blizini oštrog zavoja odnosi se samo na vozila koja se približavaju zavoju, recimo unutar 100 m.

Eksplicitni vijek trajanja odražava činjenicu da sadržaj vozila ima vlastiti vremenski opseg valjanosti. To također podrazumijeva da sadržaj mora biti dostupan tijekom cijelog svog vijeka trajanja. Na primjer, podaci o zagušenju prometnog toka mogu vrijediti 30 minuta, dok valjanost upozorenja o radovima na cesti traje sve dok radovi ne budu dovršeni.



Lokalni interes ukazuje da vozila u blizini predstavljaju glavninu potencijalnih konzumenata sadržaja. Ovaj se koncept dalje proširuje u skladu s opsegom preferenci konzumenata. Na primjer, sva vozila u blizini žele primiti sigurnosne poruke, dok je samo dio vozila zainteresiran za komercijalne oglase.

Valjanost podataka u prostoru i vremenu podrazumijeva skalabilnost kod prikupljanja, pohrane i obrade podataka, jer postoji potreba za odbacivanjem starih podataka. Također, podrazumijeva se da podatke treba čuvati na vozilima, a ne prenositi na Internet, radi uštede spektra. Ovo svojstvo bit će ključno za skalabilnost koncepta autonomnog vozila, s obzirom na ogromnu količinu podataka prikupljenih sa senzora autonomnih vozila.

#### **4.5.2. Sadržajno usmjereno umrežavanje**

Primjene u vozilu uglavnom su usmjerene na sam sadržaj, a ne njegovo porijeklo. Ovo svojstvo nepamćenja (eng. *Memoryless*) karakteristično je za VANET-ove. Na fiksnom Internetu, kada se želi provjeriti gužva u prometu, osoba može posjetiti omiljeno web mjesto. Naime, eksplicitni URL web mjesta jamči pristup obimnim, pouzdanim informacijama. Suprotno tome, aplikacije za vozila preusmjeravaju poruke upita na lokalno područje, a ne na određeno vozilo, prihvaćajući odgovore bez obzira na identitet pošiljatelja sadržaja. Zapravo, odgovor može doći iz vozila u blizini koje je zauzvrat primilo takve prometne informacije neizravno od drugih susjednih vozila. U ovom slučaju, vozilo ne zanima informacija o tome tko je započeo emitiranje. Ova je karakteristika uglavnom posljedica činjenice da su izvori informacija (vozila) pokretni i zemljopisno raspršeni. Umrežavanje usmjereno na sadržaj igrat će bitnu ulogu kod upravljanja i kontrole autonomnim voznim parkom. Dva su razloga za to.

Prvo, autonomno vozilo putovat će velikom brzinom i nalaziti će se u neposrednoj blizini susjednih vozila (na autocestama) i mora imati vrlo ažurne podatke o okolnim vozilima na udaljenosti do nekoliko kilometara kako bi održalo stabilni kurs. Dakle, kod umrežavanja usmjerenog na sadržaj, vozilo povremeno šalje interesne upite kako bi od ostatka flote dobilo podatke o položaju, brzini i smjeru.

Drugo, u slučaju nesreće, vozilo mora upozoriti vozača (koji je možda bio zauzet drugim stvarima) na hitnost, tako da vozač ima mogućnost ručne intervencije. U ovom slučaju, kako bi pripremio vozača za preuzimanje upravljanjem, vozilo dohvaća fotografije i po mogućnosti videozapis mjesta nesreće s kamera vozila koja se nalaze u blizini mjesta nesreće. Umrežavanje usmjereno na sadržaj omogućuje pristup najboljim kamerama s potrebnim podacima, bez prethodnog znanja o automobilima koji nude te podatke.

#### **4.5.3. Kolaborativno dijeljenje senzorskih podataka vozila**

Nove aplikacije u vozilima kolaborativno konzumiraju veliku količinu senzornih podataka. Višestruki senzori ugrađeni na vozilima bilježe razne fizičke pojave. Aplikacije u vozilu prikupljaju takve zapise sa senzora, čak i sa susjednih vozila, kako bi se proizvele usluge s dodanom vrijednosti. Na primjer, u aplikaciji *MobEyes* vozila koriste nekoliko senzora (uključujući video kameru) za bilježenje svih okolnih događaja, uključujući automobilske nesreće tijekom vožnje. Nakon toga, ako je doista došlo do nesreće, pretražuje se automobilska mreža kako bi se pronašli potencijalni svjedoci. Aplikacija *CarSpeak* omogućuje vozilu pristup sensorima na susjednim vozilima, na isti način na koji može pristupiti sensorima na vlastitom vozilu. Tada vozilo pokreće aplikaciju za autonomnu vožnju pomoću niza senzora, ne znajući koje vozilo je proizvelo koje informacije.

U inteligentnom transportnom sustavu vozila razmjenjuju poruke o zagušenju prometa i stanju na cestama kako bi stvorili ažurnu bazu podataka o uvjetima opterećenja iz koje se izračunava najbolji put do odredišta. Suradnja u razmjeni i obradi podataka senzora bit će jedna od snažnih prednosti autonomnih vozila. Stalna razmjena podataka o položaju ključna je za jamčenje stabilnosti autonomne flote. Mnogobrojni korisnički izvori podataka (eng. *Crowdsourcing*) o stanju na cestama poput loših uvjeta na kolniku, preprekama, nesrećama itd. omogućit će nesmetanu vožnju čak i u opasnim uvjetima korištenjem skupa dostupnih senzora. Štoviše, kolektivno praćenje dostupnih kanala pomoću sofisticiranih ugrađenih radio uređaja omogućit će pažljivo mapiranje raspoloživog spektra, omogućujući učinkovitu komunikaciju potrebnu za svjesnost o situaciji flote (eng. *Fleet Situation Awareness*) i slanje sadržaja „pasivnim“ vozačima [20].

## **5. ANALIZA SLUČAJA PRIMJENA KONCEPTA INTERNET VOZILA – KOGNITIVNI INTERNET VOZILA ZA AUTONOMNU VOŽNJU**

Kombiniranjem umjetne inteligencije i Interneta stvari (IoT), pojava autonomne vožnje privlači značajnu pažnju radi značajnih mogućih pogodnosti koje može ostvariti za ekonomiju i društvo. U ovome poglavlju razmatraju se rješenja za autonomnu vožnju. Uvodi se pojam *Cognitive Internet of Vehicles* za poboljšanje transportacijskih performansi i procesuiranja zadataka autonomne vožnje. Prezentiraju se tehnologije i arhitektura kognitivnog interneta vozila za autonomnu vožnju. Razmatra se učinak simulacija kognitivnog interneta vozila na autonomnu vožnju i mogućnosti koje on nudi.

Industrijom autonomne vožnje dominira umjetna inteligencija s namjenom za korištenje u tradicionalnoj automobilskoj industriji s komunikacijama pete generacije (5G). Autonomna vožnja proizvod je više industrijskih tržišta u potrazi za srodnim razvojem koji će dovesti do značajnih ekonomskih pogodnosti. Prema statističkim istraživanjima, 90% prometnih nesreća izazvano je ljudskim faktorom, dok ih je samo 2% izazvano kvarovima opreme. Očekuje se da će tehnologija autonomne vožnje sniziti prometna zagušenja za 75%. Uz to, inteligentni transportni sustavi podržani internetom vozila mogu sniziti ugljične emisije za 20% [21].

Unatoč pojavi ideje interneta vozila za rješavanje potreba korisnika na temelju telematičkih usluga još u 1990-ima i činjenici da je tehnologija autonomne vožnje ključna za realizaciju inteligentnog prometa, autonomna vozila su još uvijek u testnim fazama. U usporedbi s tradicionalnim mrežama bežičnih senzora, aplikacijski zahtjevi na autonomna vozila su značajno veći. U kompleksnim i dinamički promjenjivim uvjetima vožnje, autonomna vozila moraju zadovoljavati zahtjeve na izuzetno nisko kašnjenje i izuzetno visoku pouzdanost u komunikaciji tijekom izvršavanja sofisticiranih zadataka sigurne vožnje. Zahtjevi koji se postavljaju pred autonomnu vožnju mogu se sažeti u 3 izazova:

- pojedinačno autonomno vozilo;
- arhitektura interneta vozila;
- praćenje okruženja.

Inteligencija pojedinačnog autonomnog vozila je ograničena. Postojeći sustavi računalnog vida ograničeni su preciznošću senzora. Mnogi sustavi nadzora okruženja na temelju računalnog vida ne sadrže visoku efikasnost potrebnu za prepoznavanje kompleksnih okruženja. Uz to, senzori visoke preciznosti mogu biti vrlo skupi. Čak i ako se ne razmatra njihova cijena, pouzdanost odluka donesenih na temelju pojedinačnog sustava prepoznavanja okruženja je ograničena. Odluke umjetne inteligencije pojedinog autonomnog vozila mogu se temeljiti samo na informacijama u bliskoj okolini koje je vozilo samostalno sakupilo.

Korištenjem predloženih arhitektura Interneta vozila teško je uspostaviti usluge visoke brzine i pouzdanog prijenosa. Specifično, internet vozila mora ponuditi usluge prijenosa podataka velike brzine autonomnim vozilima koja se mogu kretati velikim brzinama. Trenutno predloženim arhitekturama teško se mogu postići takvi zahtjevi.

Uz to, gustoća prometa nema uniformne karakteristike u prostornim i vremenskim domenama. Neka prostorna područja sadrže veliku gustoću, dok se u zabačenim područjima ili na autocestama često nalazi manja gustoća podatkovnog prometa. Što se tiče vremenske domene, podatkovni promet je karakteriziran naglim promjenama. Primjerice, promet je visok tijekom vršnih sati, dok je reducirana tijekom drugih dijelova dana. Takve dinamične promjene u podatkovnom prometu vozila u prostorno-vremenskoj domeni stavljaju visoke zahtjeve na fleksibilnost interneta vozila. Za vođenje mreže vozila visoke razine potrebno je precizno planiranje u stvarnom vremenu u skladu s trenutnim stanjem. Napretcima u AI tehnologiji i računarstvom u magli (eng. *Fog Computing*) te komunikacijskim mrežama 5G, rješavanje problema niskog kašnjenja i visoke pouzdanosti postaje izvedivo.

U nastavku su opisane arhitektura kognitivnog interneta vozila za autonomnu vožnju, kao i tehnologije koje ga omogućuju. Zatim se predlaže fleksibilni model računalstva na kranjem čvoru (eng. *edge*), u magli (eng. *fog*) i na oblaku (eng. *cloud*). Razmatra se način na koji kognitivni internet vozila procesuiraju podatke za donošenje odluka o efikasnom izvršavanju zadataka autonomne vožnje i simulacija takve primjene [21].

## **5.1. Arhitektura kognitivnog interneta vozila za autonomnu vožnju**

Tradicionalna senzorska autonomna vozila su skupa i odluke koje donose mogu ostvariti rezultate isključivo u lokalnom okviru. Kognitivni internet vozila za autonomnu vožnju optimira odluke umjetne inteligencije u svrhu osiguranja sigurnosti autonomnog vozila. Pouzdanost autonomne vožnje jamči se uvođenjem efikasne tehnologije prijenosa podataka u kombinaciji s tehnologijom u oblaku te višeslojnom, fleksibilnom računalnom arhitekturom prikazanoj na slici 7.

### **5.1.1 Inteligentno autonomno vozilo**

Postojeći sustavi autonomne vožnje temelje se na informacijama preuzetim iz okoline pomoću senzora, radara i kamera. Samo vozilo može postići određenu razinu autonomne vožnje pomoću tehnologije umjetne inteligencije. Uvođenjem umjetne inteligencije za optimiranje puta te prepoznavanje prepreka i cesta ostvaren je veliki napredak u području istraživanja tehnologija autonomne vožnje. Korištenjem tehnologije umjetne inteligencije, pojedino autonomno vozilo može biti svjesno svojega okruženja, pješaka oko sebe, stvarnovremenske lokacije i planirati svoj put. Percepcija okruženja inteligentnog vozila uključuje detekciju i prepoznavanje cestovnih površina te statičnih i dinamičnih predmeta. Unatoč tome, sposobnosti vozila za prepoznavanje okoline i donošenje odluka još je uvijek ograničena senzorskom opremom i računalnim sposobnostima. Primjerice, loši vremenski uvjeti ili neki drugi scenariji mogu uzrokovati propuste radara i kamera. S druge strane, razvoj i ugrađivanje pouzdanijih senzorskih ili radarskih sustava mogu značajno poskupiti cijenu vozila. Iz ovih se razloga autonomno vozilo smatra osnovnim elementom kognitivnog interneta vozila. Ono sadrži kapacitete za prikupljanje podataka, percepciju okoline i donošenje osnovnih nezavisnih odluka, dok istovremeno može prihvaćati globalne podatke za donošenje optimalnih odluka u sklopu kognitivnog interneta vozila. Izbjegava se korištenje skupocjenih senzora ultra visoke preciznosti za poboljšanje pouzdanosti sustava autonomne vožnje [21].

### **5.1.2 Računalstvo u magli**

Internet vozila može uspostaviti sakupljanje senzorskih podataka kao i komunikacijske interakcije međusobno u autonomnim vozilima, kao i među vozilima i internetom vozila. Internet vozila pruža informacije koje su inače van percepcijskog dometa pojedinačnih autonomnih vozila razmjenom informacija s vozila i infrastrukture u okruženju. Na taj način internet vozila može prikupiti obilniju količinu informacija od pojedinačnih autonomnih vozila što značajno poboljšava percepciju okruženja dok istovremeno snižava ovisnost o sensorima visoke preciznosti.

Uvođenje računalstva u magli u internet vozila omogućuje korištenje samoorganizirajuće mreže vozila koja se sastoji od autonomnih sustava i svih dostupnih računalnih resursa u okruženju za procesuiranje zadataka u svrhu postizanja izuzetno niskih kašnjenja. Kao posrednički sloj između vozila i oblaka, sloj magle na sebe preuzima neke računalne zadatke čime snižava zagušenje mreže. Sastoji se od niza računalnih čvorova s računalnim sposobnostima. Pod takvim čvorovima podrazumijevaju se pametni uređaji koji koriste putnici u automobile, jedinice uz cestovnu infrastrukturu, bazne stanice, poslužitelji i drugi uređaji. Računalni kapaciteti sloja magle slabiji su od onih na oblaku, no zauzvrat su kašnjenja u njihovoj komunikaciji također smanjena. U računalnoj mreži u magli koja se sastoji od višestrukih čvorova i fleksibilnog računalnog okvira koji sadržava računalstvo na oblaku, fleksibilnost računalnog okvira raste s brojem računalnih resursa koji se nalaze u magli. U kognitivnom internetu vozila s računalstvom u magli ostvaruje se dijeljenje podataka među vozilima što značajno pospješuje pouzdanost pojedinog vozila kao i sveukupna kvaliteta donošenja odluka. Potpunom uporabom fleksibilnih i nezauzetih uređaja u sloju magle, može se zadovoljiti zahtjev izuzetno niskog kašnjenja za autonomnu vožnju [21].

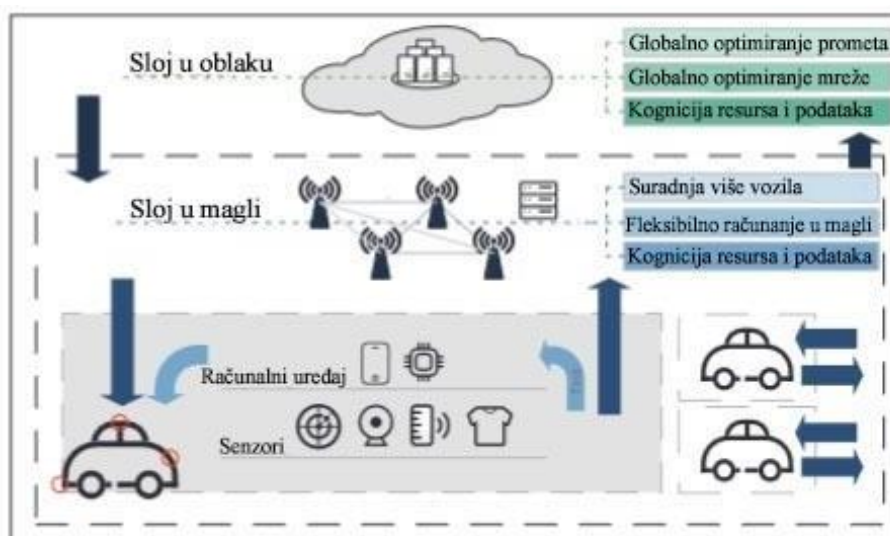
### **5.1.3. Računalstvo na oblaku**

Kontinuiranom ekspanzijom aplikacija interneta vozila dolazi i do eksponencijalnog

rasta podataka koje je potrebno procesuirati. Kod informacijskih razmjena među podatkovnim centrima i autonomnim vozilima na rubnim čvorovima tradicionalnog interneta vozila dolazi do pojave očitih kašnjenja koji ne susreću standard zahtjeva na kašnjenje koje postavljaju scenariji autonomne vožnje. U kognitivnom internetu vozila, lokalno i računalstvo u magli mogu preuzeti značajnu količinu transmisijskih i računalnih zadataka kojima efektivno olakšavaju opterećenje mreže te snižavaju kašnjenje do kojega dolazi prijenosom na oblak u internetu vozila. Računalstvo na oblaku time više ne preuzima sve računalne procese za obradu stvarnovremenskih podataka već se usmjerava na korisničke zahtjeva procesuiranjem računalnih zadataka visoke preciznosti. Ključna funkcija oblaka je prikupljanje i dubinska analiza globalnih informacija interneta vozila, kao i distribucija analitičkih rezultata decentraliziranim autonomnim sustavima vožnje i čvorovima u magli za optimiranje prometa i mreže na globalnoj razini.

Globalno optimiranje prometa odnosi se na središnje upravljanje cjelokupnim prometnim informacijama te postavljanjem informacija i topologiji mreže, uvjetima na cestama i modeliranju uslužnih značajki metodama računanja na oblaku poput strojnog učenja, dubokog učenja, rudarenja podataka, prepoznavanja obrazaca i sl.

Globalno optimiranje mreže podrazumijeva planiranje i upravljanje resursima na globalnoj razini. Na temelju povratnih informacija oblak ima dinamička saznanja o računalnim resursima, resursima pohrane i mrežnim resursima te pruža alokaciju resursa u stvarnom vremenu te osigurava ispunjenje zahtjeva na kašnjenje i pouzdanost u svrhu sigurnosti autonomne vožnje [21].



Slika 8. Arhitektura kognitivnog interneta vozila za autonomna vozila

Izvor: [21]

## 5.2. Obavljanje zadaća autonomne vožnje

U kognitivnom internetu vozila nalazi se velika količina heterogenih podataka iz višestrukih izvora. Podaci su uglavnom privremeni i dobiveni iz fizičkog prostora, poput videozapisa ili fotografija koji nisu strukturirani. Među tim podacima se također nalaze podaci o ponašanju vozača, podaci o pješacima, preprekama na cesti, o okolnim vozilima itd. Također postoje podaci o raspodjeli prometa i resursa mrežnog prostora, poput informacija o trenutnom zauzeću resursa jedinica prometne infrastrukture ili baznih stanica, ili informacija o korisničkim zahtjevima za usluge. Takvi neobrađeni skupovi podataka mogu biti nečisti, zalihosni i nekonzistentni tako da ih treba pročistiti, formatirati i normalizirati korištenjem odgovarajućih algoritama za podatkovnu analizu u svrhu izvlačenja korisnih informacija za poboljšanje iskoristivosti.

Kada bi sva autonomna vozila prenosila sve svoje podatke na oblak za procesuiranje, to bi rezultiralo mrežnim zagušenjem i kašnjenjem u komunikacijama. Stoga je za nisko



kašnjenje većinu podataka potrebno procesuirati kroz računalstvo na krajnjim čvorovima i u magli. Nažalost, ograničeni računalni resursi rubne mreže ne mogu procesuirati veliku količinu heterogenih podataka, i stoga se javlja potreba za predobradom podataka. Efektivna predobrada će osigurati pouzdanost, ali i poboljšati inteligenciju sustava.

Snažna umjetna inteligencija naglašava razumijevanje među korisnicima tijekom interakcija s okruženjem za razvoj u personaliziranu inteligenciju. Postojeća autonomna vozila potpuno su utemeljena na sustavima senzorskog vida. Podaci koje takvi sustavi prikupljaju (fotografije i videozapisi) prepoznaju i interpretiraju inherentni algoritmi, što se može nazvati statičkom inteligencijom. Kognitivni internet vozila postavlja zahtjeve za neprekidno prikupljanje podataka i duboko razumijevanje tih prikupljenih podataka za postizanje postepenog povećanja razine inteligencije. Stoga je specifične efektivne informacije potrebno preuzeti iz interakcija u prometnom okruženju, primjerice informacije o značenju uobičajenih navika korisnika ili informacije sadržane u ruti kojom korisnik često putuje.

Uz to, autonomna se vozila često povezuju s pametnim uređajima. Putnici u automobilima često sa sobom nose pametne telefone, satove i slične naprave koje imaju mogućnosti bilježenja zvukova, slika, videozapisa itd. Korištenjem dugoročnog prikupljanja i obrade podataka te prepoznavanjem privatnih informacija o korisniku, ponašanje korisnika se može dodatno koristiti za sprečavanje prometnih nesreća, a iskustvo korisnika se poboljšava stvaranjem osobnog i prilagođenog uslužnog prostora. Ponašanje, raspoloženje i zdravstveno stanje korisnika su odraz njegova trenutnog stanja. Analiziranjem takvih podataka, kognitivni internet vozila može korisniku pomoći u pogledu mnogih pitanja (npr. vožnja, zdravlje, radno okruženje, zabava itd). Autonomni sustav vožnje pruža sveobuhvatno učenje i procjene na temelju prethodnih obrazaca ponašanja korisnika i povijesti interakcija sa sustavom. Različitim računalnim faktorima pridodaju se raznolike težine. Kako bude protjecalo vrijeme u kojem korisnici uzajamno djeluju sa sustavom, tako će sustav učiti o korisnicima i pametnije birati sadržaj za računanje.

Računalna platforma za autonomnu vožnju sastoji se od 3 sloja: lokalnog uređaja,

magle i oblaka. Optimizacija kvalitete iskustva (eng. *Quality of Experience*) postiže se hijerarhijskim računanjem. Razmatranjem različitih računalnih performansi lokalnog procesuiranja, procesuiranja u magli i procesuiranja u oblaku, zadatke autonomne vožnje preuzimaju različite računalne platforme. Zadaci autonomne vožnje mogu se računati kroz višestruke procesne čvorove poput lokalnih uređaja, kao i kroz čvorove i magli te na oblaku. Ovisno o računskim zahtjevima zadataka, ograničenjima na kašnjenje i zahtjevima računalnog dometa (zadaci za pojedinačna vozila, kolaborativni zadaci za višestruka vozila ili planirani zadaci diljem mreže vozila), zadaci se mogu prepustiti lokalnim mobilnim uređajima, bliskom čvoru u magli ili oblaku [21].

### **5.2.1. Procesuiranje lokalnih zadataka**

Lokalni zadaci autonomne vožnje obuhvaćaju one zadatke za koje ne postoje zahtjevi za snažnom računalnom sposobnošću, ali zahtijevaju povratne informacije u stvarnom vremenu, poput detekcije i prepoznavanja ceste ili statičnih i dinamičnih predmeta što izvršavaju senzori ugrađeni na vozilo. Lokalni računalni resursi obuhvaćaju rubne uređaje poput sustave unutar vozila i pametne terminale. S obzirom na to da se računalni izvor nalazi u blizini izvora podataka, prikupljeni podaci se mogu izravno procesuirati tako da se održi dobro vrijeme odziva u stvarnom vremenu, osobito u uvjetima nestabilne mrežne konekcije. Unatoč tome, takvo računanje je ograničeno računalnim sposobnostima lokalnog uređaja tako da se može baviti samo zadacima s niskim zahtjevima na računalnu snagu kako se kvaliteta rezultata zadata ne bi snizila radi odziva u stvarnom vremenu, iako su i tada funkcionalni u određenim situacijama poput nenadane pojave pješaka ili potrebe za naglim kočenjem.

### **5.2.2. Procesuiranje zadataka u magli**

Zadaci autonomne vožnje koji se procesuiraju u magli uglavnom podrazumijevaju zadatke s umjerenim zahtjevima računalnih mogućnosti, zadatke osjetljive na kašnjenje i zadatke vezane uz saznanja o regionalnom voznom okruženju poput upravljanja hitnim

situacijama ili semantičkom analizom kompleksnog prometnog okruženja. Računalni resursi u magli obuhvaćaju jedinice cestovne infrastrukture, bazne stanice itd. Autonomna vozila mogu se izravno povezivati na jedinice cestovne infrastrukture ili se povezivati na čvorove u magli samoorganizirajućom mrežom. Procesuiranje u magli povećava kašnjenje prijenosa na razinu veću od one kod lokalnog procesuiranja, osobito kada se vozila kreću velikim brzinama. Promjene uslužnih čvorova uzrokuju određena kašnjenja, ali čvorovi u magli imaju jače računalne sposobnosti i šire područje pokrivenosti u odnosu na lokalne uređaje. Uz to, čvor u magli može prikupljati i analizirati podatke s više vozila za bolje navođenje. Stoga se na čvorove u magli prebacuju zadaci koji nisu kritični ali su dinamički promjenjivi.

### **5.2.3. Procesuiranje zadataka na oblaku**

Zadaci autonomne vožnje koji se procesuiraju u oblaku uključuju one s visokim računalnim zahtjevima i bez osjetljivosti na kašnjenje, ili one koji obuhvaćaju globalne informacije, uključujući dinamičko planiranje ruta na temelju uvjeta na cesti u stvarnom vremenu, saznanja o stanju vozača na temelju kompleksnih modela dubokog učenja i sl. Resursi za procesuiranje zadataka na oblaku obuhvaćaju razne privatne platforme oblaka. S obzirom da je udaljenost između izvora podataka i oblaka velika, procesuiranje na oblaku je podložno promjenama u mrežnom okruženju i buka u komunikaciji je velika, takvo procesuiranje nije prikladno za hitne zadatke već za precizne računalne modele koji mogu ponuditi savjete za sigurniju vožnju. Uz to, dugotrajno procesuiranje privatnih korisničkih podataka se također obavlja na oblaku, i usmjerava prema korisniku u pravom trenutku u svrhu poboljšanja korisničkog iskustva i stvaranja prilagođene usluge.

### **5.2.4. Dodjeljivanje zadataka**

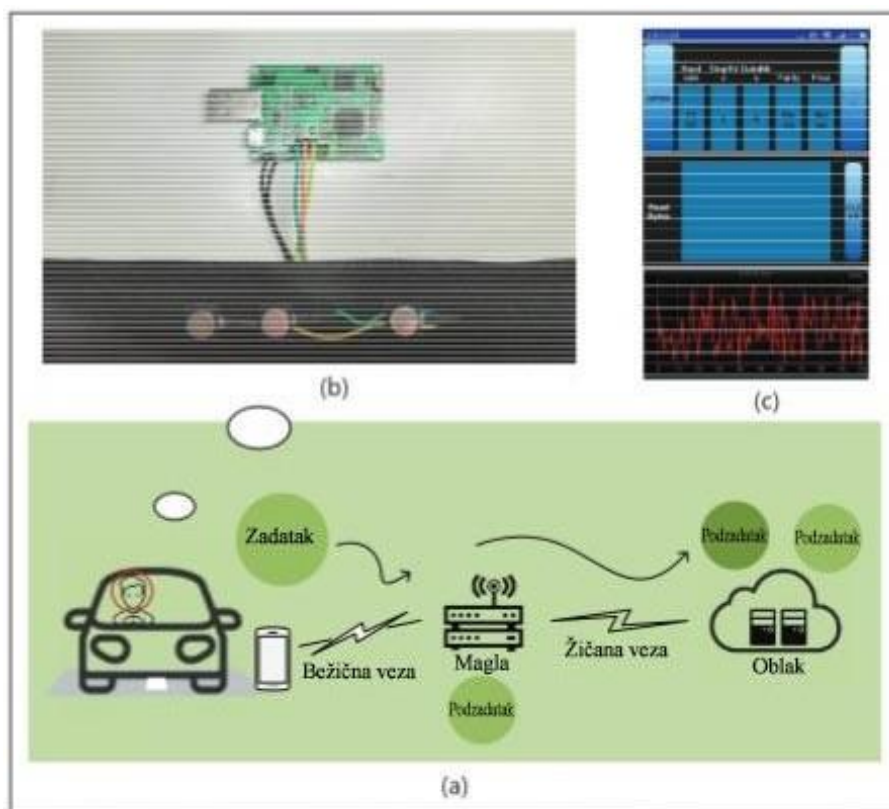
Različiti zadaci u Internetu vozila imaju različite resursne zahtjeve. Zadaci usmjerni na promet imaju manje zahtjeve na resurse i mogu se izvršavati lokalno ili u magli. Zadaci usmjereni na sustave zabave zahtijevaju veće računalne resurse. Računalni resursi i kapaciteti mreže vozila su ograničeni, tako da postoji potreba za preseljenjem određenih zadataka

na oblak. U samom procesu vožnje, kognitivni internet vozila preuzima zadaću prijenosa zadataka na odgovarajuće računalne platforme u skladu s potrebama autonomne vožnje i dostupnosti komunikacijskih i računalnih resursa u blizini vozila. Time dolazi do fleksibilne raspodjele zadaća za poboljšanje sveukupnih performansi autonomnih vozila. Uz to, kako se vozila kreću velikim brzinama, može doći do gubljenja veze s čvorovima u magli. Kako bi se osigurala pouzdanost, CIOV analizira i predviđa ponašanje i način kretanja vozila. Zadaće se unaprijed planiraju u skladu s čvorovima u blizini budućih lokacija vozila čime se poboljšava pouzdanost usluge i snižava kašnjenje.

### **5.3. Primjer simuliranja autonomne vožnje na temelju kognitivnog interneta vozila**

Postojeće tehnike autonomne vožnje prvenstveno su usmjerene na upravljanje brzinom, upravljačkim sustavom, prepoznavanje prepreka i komunikaciju među vozilima. Uvođenje tehnologije umjetne inteligencije u autonomnu vožnju poboljšava cjelokupnu inteligenciju autonomnih vozila. Autonomni sustav vožnje također može dijeliti zadatak upravljanja vozilom s vozačem. Primjerice, u slučaju umora vozača tijekom noćne vožnje, sustav autonomne vožnje može preuzeti 30-40% upravljačkih zadataka. S druge strane, za vrijeme optimalnog fiziološkog stanja vozača za vrijeme dana, vozač može preuzeti upravljanje vozilom.

U nastavku se opisuje hibridna platforma za vožnju na temelju analize EEG signala, kao što je prikazano na slici 8. (a). Slika 8. (a) prikazuje dizajn kognitivnog sustava. Pametni uređaj prikuplja podatke o vozaču kao lokalni računalni uređaj. Kada se pojavi zahtjev za zadatak automatskog upravljanja vozilom, prenosi se u odgovarajuću računalnu platformu za tu vrstu zadatka. Konstruirana se kognitivna mreža autonomnog vozila na temelju računalstva u magli. Slika 8. (b) prikazuje kognitivni uređaj za prikupljanje moždanih signala. Elektroda se spaja na pol koji se nalazi na glavi vozača za prikupljanje EEG signala. Na Slici 8. (c) vidi se zaslon na kojem se prikazuje valni oblik EEG signala u stvarnom vremenu [21].



Slika 9. Testna platforma

Izvor: [21]

Testna platforma sastoji se od modula za prepoznavanje EEG-a, inteligentnog terminala (nosivi hardver za postavljanje na glavu), čvora u magli s malim poslužiteljem i udaljenim oblakom s centrom za velike podatke „Inspur“. Odgovarajući model prepoznavanja EEG signala raspoređen je na inteligentni terminal, čvor u magli i oblak, a kompleksija modela je povećana radi adekvatnog povećanja preciznosti.

Hardver za postavljanje na glavu sastoji se od dijela za prikupljanje i dijela za obradu podataka. Dio za prikupljanje obuhvaća tri elektrode. Za vrijeme nošenja uređaja, elektrode su u bliskom kontaktu s glavom vozača kako bi se mogli prikupljati EEG signali vozača, a jedinica za obradu jednostavno obrađuje signale i šalje ih na inteligentni terminal.

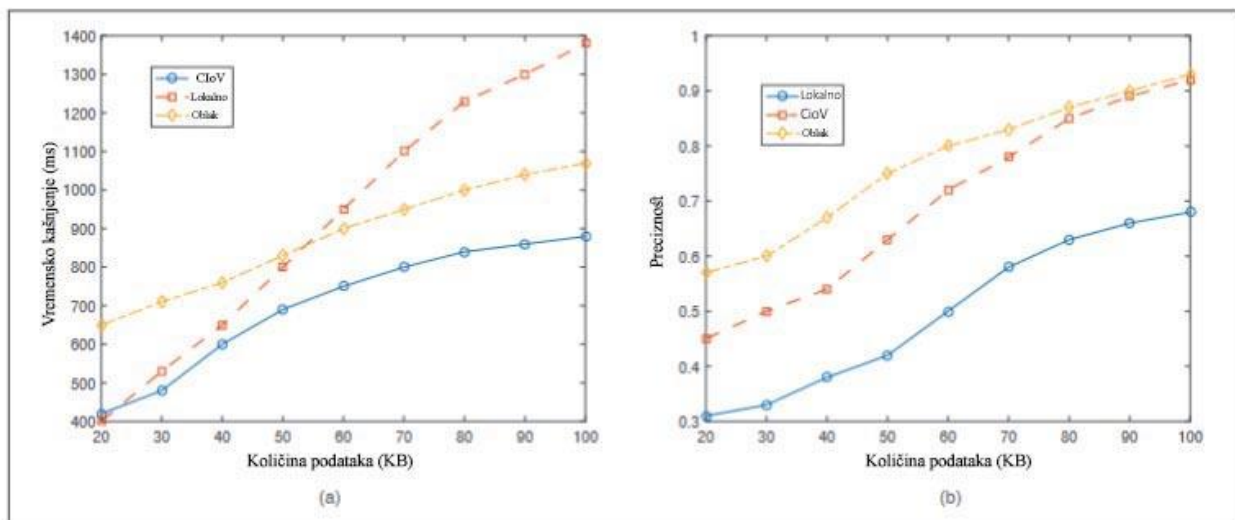
Nakon što uređaj prikupi EEG signale, oni se segmentiraju i šalju na različite

platforme za obradu. Kognicija EEG signala povratnom vezom se šalje na sustav upravljanja autonomnim vozilom. Ako sustav procijeni da vozač nije koncentriran, uključuje se način autonomne vožnje. Nadalje, ako sustav procijeni da je vozač ponovno koncentriran, a stanje na cestama komplicirano, upravljačke kontrole se vraćaju vozaču.

Za provjeru efikasnosti arhitekture kognitivnog interneta vozila u autnomnoj vožnji, analiziraju se performanse u okvirima kašnjenja u zadacima i preciznosti u prepoznavanju, gdje se kašnjenje u zadacima dijeli na kašnjenje u prijenosu i kašnjenje u obradi.

Tradicionalne arhitekture interneta vozila ne sadrže saznanja o vlastitim računalnim resursima i mrežnom statusu. Stoga se zadaci za autonomnu vožnju često šalju na određenu procesnu platformu poput oblaka ili na lokalni uređaj što je teško dinamički podešavati. Kada dođe do zagušenja mreže ili manjka računalnih resursa mogu se pojaviti značajna kašnjenja u prijenosu ili obradi podataka.

Uspoređuju se kašnjenje i preciznost obrade EEG signala u arhitekturi kognitivnog interneta vozila zasebno u području lokalne obrade i obrade na oblaku kao što je prikazano na slici 9.



Slika 10. Usporedba kašnjenja performansi i usporedba preciznosti kognicije

Izvor: [21]

U slučaju malih količina podataka koje je potrebno prenijeti i obraditi, kašnjenje u zadacima obrade podataka je bilo relativno malo. U tom slučaju, glavni izvor kašnjenja bio je prijenos velike udaljenosti, osobito kod loših uvjeta mrežnog prijenosa, tako da je kašnjenje bilo veće kod slučaja obrade u oblaku kao što je prikazano na Slici 9 (a). Povećanjem količine podataka, kašnjenje u postupku obrade se povećava. Uslijed ograničenih računalnih kapaciteta, kašnjenje u obradi podataka u slučaju lokalne obrade raste brže nego kašnjenje kod obrade na oblaku. Kod količine podataka od oko 50 kB, kašnjenje u lokalnoj obradi počinje premašivati kašnjenje obrade na oblaku. Predloženi kognitivni internet vozila kombinira prednosti lokalne obrade i obrade na oblaku. Kod manjih količina podataka, oslanja se na obradu podataka na lokalnom uređaju ili u magli, dok se kod većih količina podataka oslanja na obradu u magli i na oblaku u svrhu zadovoljavanja zahtjeva na kašnjenje. Povećanjem količine podataka, kašnjenje kod obrade podataka nastavlja rasti.

Zbog različitih računalnih kapaciteta lokalnih uređaja i čvorova u magli ili oblaka, također se razlikuje kompleksnost uporabljenog modela umjetne inteligencije. Povećanjem količine podataka, također se postepeno povećava i preciznost prepoznavanja. Uslijed ograničenih kapaciteta za obradu, razina preciznosti obrade na lokalnom uređaju uvijek je niža od onih u magli i na oblaku, stoga se metoda lokalne obrade podataka može primijeniti samo pod uvjetom jako malog kašnjenja. Preciznost kognitivnog interneta vozila u odnosu na oblak se postepeno primiče preciznosti oblaka kako raste količina podataka, uz održavanje manje razine kašnjenja. Stoga se u praktičnoj primjeni performanse predloženog kognitivnog internetog vozila ponašaju bolje u odnosu na tradicionalni internet vozila za zadatke autonomne vožnje [21].

Može se reći da kognitivni internet vozila predstavlja značajnu potencijalnu ulogu za primjenu u autonomnoj vožnji. Unatoč tome, nisu razmotrene neke stavke koje je potrebno razrješiti. Nisu razmotreni zahtjevi energetske potrošnje ugrađenih sustava u vozilima. Uz to, valja ponnije razmotriti klasifikaciju i promjene u scenarijima autonomne vožnje. Poblize treba istražiti strategiju planiranja zadataka za poboljšanje performansi. Također treba razmotriti sigurnosne značajke rudarenja podataka i pohrane individualnih podatkovnih značajki u korisnički prilagođenom sustavu vožnje.

## 6. Zaključak

Primjenom modernih internetskih i komunikacijskih tehnologija, vozila stječu snažne računalne i komunikacijske sposobnosti. Međupovezivanje ljudi u vozilima i blizini vozila s inteligentnim sustavima u vozilima i raznim kibernetičko-fizikalnim entitetima, stvara se kompleksni mrežni sustav čije mogućnosti nadmašuju one zasebnih telematičkih sustava i *ad hoc* mreža vozila integracijom vozila, senzora i mobilnih uređaja u globalnu mrežu. Takva komunikacijska mreža omogućuje pružanje usluga transportnim sustavima u svrhu poboljšanja sigurnosti i efikasnosti prometa.

U radu su predstavljene komunikacijska arhitektura inteligentnih transportnih sustava kao podloga za internet vozila te postojeće predložene arhitekture za internet vozila. Razmotreni su mogući učinci koncepta interneta vozila u inteligentnim transportnim sustavima dobiveni primjenom sigurnosnih aplikacija, aplikacije za učinkovitost i udobnost te aplikacija za sustave informiranja i zabave. U konačnici je analiziran slučaj primjene koncepta interneta vozila.

Koncept interneta vozila može doprinijeti rješavanju ključnih problema cestovnog prometa praćenjem dugoročne strategije i aktivnim razvojem općih aplikacijskih rješenja u području sigurnosti i učinkovitosti prometa, ali i specifičnih aplikacija koje bi mogle privući komercijalni interes i ulaganja. Važno je ostvariti održivo pružane usluga u kompleksnim urbanim sredinama radi stvarnovremenskih ograničenja i sigurnosti u mrežnim komunikacijama.



## Literatura

- [1] I. Bošnjak, *Inteligentni transportni sustavi 1*, Zagreb: Fakultet Prometnih Znanosti, 2006.
- [2] "FRAME," [Online]. Available: <https://frame-online.eu/>. [Accessed 15. 6. 2020].
- [3] Information Society Technologies, *D31 European ITS Communication Architecture*, 2009..
- [4] ETSI, *Intelligent Transport Systems (ITS) Communication Architecture*, 2010.
- [5] ITS STANDARDS EU, "CEN/TC 278," [Online]. Available: <https://www.itsstandards.eu/25-2/wp-1/cen-dsrc/>. [Accessed 30. 05. 2021.].
- [6] L.-M. Ang and e. al, "Deployment of IoV for Smart Cities: Applications, Architecture and Challenges," *IEEE Access*, vol. 7, p. 6480, 2019.
- [7] [Online]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/026814>. [Accessed 30. 05. 2021.].
- [8] TRIMIS, "COOPERS," [Online]. Available: <https://trimis.ec.europa.eu/project/cooperative-networks-intelligent-road-safety>. [Accessed 30. 05. 2021.].
- [9] TRIMIS, "CVIS," [Online]. Available: <https://trimis.ec.europa.eu/project/cooperative-vehicle-infrastructure-systems>. [Accessed 30. 05. 2021.].
- [10] SAFESPOT, "SAFESPOT," [Online]. Available: <http://www.safespot-eu.org/>. [Accessed 30. 05. 2021.].
- [11] IEEE, "Internet of Vehicles: Architecture, Protocols and Security," *IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL*, vol. 5, no. 5, 2018..
- [12] IEEE, "Internet of Vehicles: Motivation, Layered Architecture, Network Model, Challenges and Future Aspects," 28. 09. 2016..
- [13] A. Nkoro and Y. Vershinin, "Current and future trends in applications of Intelligent Transport Systems on cars and infrastructure," in *2014 IEEE 17th International Conference on ITS*, Qingdao, 2014.
- [14] M. Hafner, D. Cunningham, L. Caminti and D. Del Vecchio, "Cooperative Collision Avoidance at Intersections: Algorithms and Experiments," *IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS*, vol. 4, no. 3, 2013..
- [15] T. Taleb, A. Benslimane and K. Ben Letaief, "Toward an Effective Risk-Conscious and Collaborative Vehicular Collision Avoidance System," *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY*, vol. 59, no. 3, 2010..

- [16] J. Qiao, N. Yang and J. Gao, "Two-Stage Fuzzy Logic Controller for Signalized Intersection," *IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS - PART A: SYSTEMS AND HUMANS*, vol. 41, no. 1, 2011..
- [17] Y. He, D. Sun, M. Zhao and S. Cheng, "Cooperative Driving and Lane Changing Modeling for Connected Vehicles in the Vicinity of Traffic Signals: A Cyber-Physical Perspective," *IEEE SPECIAL SECTION ON CYBER-PHYSICAL-SOCIAL COMPUTING AND NETWORKING*, 2018.
- [18] L. Rongxing, L. Xiaodong, Z. Haojin and S. Xuemin, "SPARK: A new VANET-based Smart Parking Scheme for Large Parking Lots," *IEEE INFOCOM*, Waterloo, Canada, 2009.
- [19] X. Zhu, J. Bi and M. Li, *Adaptive Video Streaming Uploading with Moving Prediction in VANETs Scenarios*.
- [20] M. Gerla, E. Lee, G. Pau and U. Lee, "Internet of Vehicles: From Intelligent Grid to Autonomous Cars and Vehicular Clouds," *IEEE World Forum on Internet of Things (WF-IoT)*, 2014.
- [21] L. Huimin, L. Qiang, T. Daxin, L. Yujie, K. Hyungseop and S. S, "The Cognitive Internet of Vehicles for Autonomous Driving," *IEEE Network*, vol. 33, no. 3, pp. 65-73, 2019.

## Popis slika

Slika 1 Frame metodologija .....	4
Slika 2 Komponente europske ITS komunikacijske arhitekture.....	5
Slika 3 Modeli komunikacijskih interakcija .....	10
Slika 4 Arhitektura IoV s pet slojeva .....	18
Slika 5 Arhitektura IoV sa sedam slojeva.....	23
Slika 6 Primjer komunikacija među slojevima arhitekture .....	26
Slika 7 Standardi za internet vozila.....	27
Slika 8 Arhitektura kognitivnog interneta vozila za autonomna vozila .....	40
Slika 9 Testna platforma .....	45
Slika 10 Usporedba kašnjenja performansi i usporedba preciznosti kognicije.....	46



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

### IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojom potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu \_\_\_\_\_ završnog rada

pod naslovom **Primjena koncepta interneta vozila u inteligentnim transportnim sustavima**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 26.8.2021

Student/ica: \_\_\_\_\_  
*[Signature]*  
(potpis)