

KOMUNIKACIJA IZMEĐU VOZILA, INFRASTRUKTURE I UČESNIKA U SAOBRAĆAJU BAZIRANA NA 6G TEHNOLOGIJI

Dorđe Bučevac, Slaven Tica, Miloš Končar, Dragan Đorđević
Saobraćajni Institut CIP,
djordje.bucevac@sicip.co.rs, slaven.tica@sicip.co.rs,
milos.koncar@sicip.co.rs, dragan.djordjevic@sicip.co.rs

Rezime: *Nalazimo se na pragu nove ere povezanih autonomnih vozila koja pružaju izuzetna korisnička iskustva sa veoma poboljšanom bezbednošću na putevima i kvalitetom vazduha, veoma različitim transportnim okruženjima i slučajevima upotrebe kao i mnoštvom naprednih aplikacija. Kako bi se ostvarila jedna ovako velika vizija neophodna je poboljšana komunikacija između „vozila do svega“ (V2X, Vehicle to Everything) koja bi trebala ujedno da bude inteligentna i da pruža mogućnost hiper brze, ultra pouzdane i razmene velike količine informacija sa izuzetno malim kašnjenjem. Očekuje se da će šesta generacija mobilnih komunikacija da ispuni ove zahteve. Autonomna vozila (AV, Autonomous Vehicles) brzo postaju deo svakodnevnog života, dok pojedine zemlje u svetu očekuju njihovo uključivanje i integrisanje u sisteme javnog transporta kroz par godina. U radu su istraživane primene 6G tehnologije u kontekstu komunikacije između vozila (V2V, Vehicle to Vehicle) kao i komunikacije između vozila i infrastrukture (V2I, Vehicle to Infrastructure).*

Ključne reči: *Vozilo do svega, terahercne komunikacije, autonomna vozila, vozila do infrastrukture*

1. Uvod

U današnje vreme brzih promena i ekspanzije tehnološkog razvoja, izuzetno je teško pratiti dinamične promene, a još teže implementirati određena saznanja i otkrića u praksi. Jedna od tehnologija koja ovo može da izvede je 6G tehnologija. Ona predstavlja prirodan sled razvoja i nadogradnje 5G tehnologije. Iako 5G mreža nije zvanično svuda implementirana, uveliko se počelo sa istraživanjima vezanih za 6G. 6G mreža neće samo predstavljati nadogradnju 5G, već će i omogućiti nove funkcije u pogledu komunikacije 5G sa satelitom. Trenutno se vode ozbiljna i obimna istraživanja na polju 6G tehnologije. Postoje tri ključna aspekta koja su bitna za 6G, a radi se o mobilnom širokopojasnom pristupu, super IoT sistemu i veštačkoj inteligenciji. Konkretno, mobilni širokopojasni pristup ima za cilj da obezbedi protoke koji su definisani terabajtima u sekundi. Super IoT unapređuje povezivanje i pokrivenost mreže kroz IoT sisteme, dok veštačka

inteligencija omogućava upravljanje mrežom kroz konfiguraciju i optimizaciju bežičnih resursa. Ključni problemi koji su bili zastupljeni u svim prethodnim generacijama su bili problemi vezani za bezbednost i privatnost mreže i informacija. U 6G ti problemi svedeni su na minimum. Najbitnije funkcije za bezbednost i privatnost su enkripcija komunikacija, autentifikacija, kao i kontrola pristupa i potencijalno zlonamerne radnje na mreži.

Oblast autonomnih vozila je jedna od najbrže rastućih oblasti današnjeg doba, zahvaljujući brzim naprecima u računarskoj tehnologiji, komunikacionim tehnologijama, elektronici i senzorima. Trenutni razvoj senzora i računarskog hardvera doveo je do značajnog poboljšanja na nivou svesti o autonomnim vozilima. Pored toga, napredak u komunikacijama, mrežama, bezbednosti i performansama olakšao je razvoj platformi za autonomna vozila koje mogu efikasnije da komuniciraju sa infrastrukturom, kao i sa drugim učesnicima u saobraćaju, što je dovelo do poboljšanja bezbednosti i pouzdanosti autonomne vožnje, kako za samo autonomno vozilo, tako i za ranjive učesnike u saobraćaju, uključujući pešake i bicikliste. Kod dizajna konvencionalnih automobila u slučajevima potrebe za korišćenjem bezbednosnih sistema, proizvođači automobila široko razmatraju aspekt bezbednosti ranjivih učesnika. Termin ranjivi učesnici se uglavnom odnosi na pojedince kao što su biciklisti, pešaci i drugi vozači vozila koja imaju dva točka koji su skloniji povredama ili smrtnim ishodima više nego bilo koji drugi učesnici u saobraćaju, pogotovu na područjima gde je velika zastupljenost vozila koja koriste pogon na četiri točka. Sa kontinuiranim fokusom na sisteme za naprednu asistenciju vozačima (ADAS, *Advanced Driver Assistance Systems*) kao i druge bezbednosne karakteristike, bezbednost ranjivih učesnika je značajno napredovala. Napretkom senzora i njihovoj široj dostupnosti i primeni, sistemi upozorenja za pešake, bicikliste i vozače su se značajno poboljšali u poslednjih deset godina [1].

Vozilo do svega (V2X, *Vehicle to Everything*) komunikacija je tehnološki koncept koji omogućava deljenje informacija u realnom vremenu između autonomnih vozila i drugih entiteta u saobraćaju. Tako na primer postoji komunikacija između vozila (V2V, *Vehicle to Vehicle*), komunikacija vozila i infrastrukture (V2I, *Vehicle to Infrastructure*) komunikacija vozilo pešak (V2P, *Vehicle to Pedestrian*), komunikacija sa ranjivim učesnicima u saobraćaju (VRUs, *Vehicle to Vulnerable Road Users*), kao i komunikacija sa *cloud* mrežama (V2N, *Vehicle to Cloud Network*) i sl. V2P je najobuhvatniji jer podrazumeva komunikaciju sa ranjivim učesnicima u saobraćaju. V2X komunikacija opisuje sve entitete u saobraćaju, pri čemu vozilo komunicira sa ostalim učesnicima putem prijema povratnih informacija od senzora koji snimaju 360 stepeni ili putem prijema indirektnih poruka preko komunikacionog kanala od infrastrukture ili drugih učesnika [2]. Kod konvencionalnih vozila, V2X tehnologije značajno povećavaju svest vozača o situaciji, pogotovu u situacijama kada infrastruktura ometa vidljivost ostalih učesnika u saobraćaju. Pojedini V2X sistemi uključuju upozorenja o gužvama, automatskoj kontroli brzine ili o opasnosti na putu. Uprkos velikim dostignućima koje je V2X tehnologija dostigla, implementacijom autonomnih vozila na javne saobraćajnice će značajno transformisati ulogu V2X koju je do sada imao. Pre svega, to se odnosi na senzore koji će snimati u polju od 360 stepeni kako bi bili obuhvaćeni svi učesnici u saobraćaju. Na primer, autonomno vozilo može biti nesvesno bicikliste koji bi potencijalno mogao da mu uđe u pravac kretanja iz nekog poprečnog smera. Slično, raskrsnice sa preprekama u vidokrugu smanjuju vreme reakcije autonomnog vozila.

2. Mreže vozila, osnovni koncepti i tehnologije za 6G-V2X komunikaciju

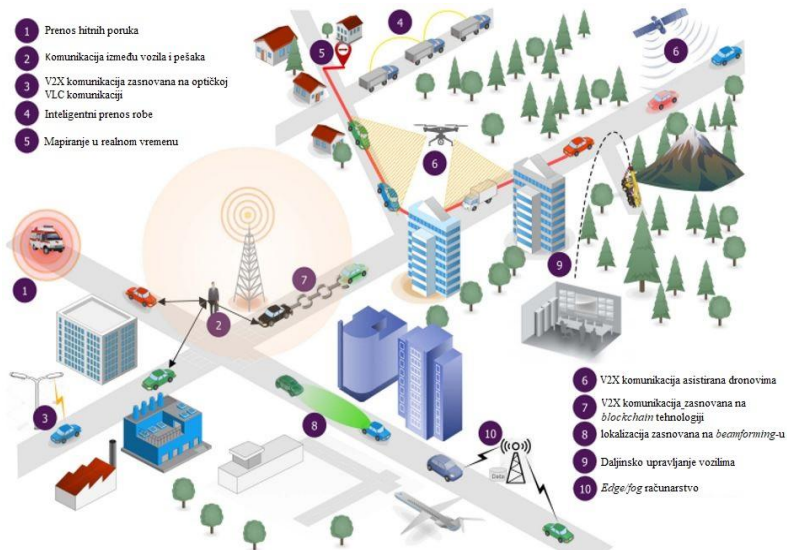
Poslednjih par godina komunikacija između vozila do svega je doživela veliki uspon i zainteresovanost kako u naučnim krugovima tako i u sferi industrije. Ovakva vrsta komunikacije se ubraja u oblast inteligentnih transportnih sistema (ITS, *Intelligent Transport System*). U okviru same V2X komunikacije podrazumevaju se tehnologije koje su zasnovane na komunikaciji između vozila s jedne i nekog od entiteta u saobraćaju s druge strane [3]. Komunikacija tipa V2X jeste jedan vizionarski projekat koji bi trebalo u potpunosti da zaživi kroz par godina, koji će biti u potpunosti podržan od strane 6G. Cilj ovakve komunikacije jeste kompletna automatizacija vozila i ostvarivanje komunikacije između njih. V2X će predstavljati dalekosežnu i transformativnu prednost, jer će pre svega omogućiti ogroman napredak na polju bezbednosti u saobraćaju i mnoštva automatizovanih aplikacija, kao i daleko bolji kvalitet vazduha.

Dve glavne tehnologije na kojima se zasniva V2X komunikacija su namenske komunikacije kratkog dometa (DSRC, *Dedicated Short Range Communication*) i ćelijske mreže za vozila (C-V2X, *Cellular Vehicle to Everything*). Standardi na kojima se zasniva DSRC su IEEE 802.11p za bežični pristup u okolini vozila (WAVE, *Wireless Access for Vehicular Environment*) i IEEE 1609.1.4 za upravljanje resursima, bezbednost, mrežni servisi i višekanalni rad. Dugo godina je DSRC bio jedina tehnologija za V2X komunikaciju u okruženjima velike gustine i visoke mobilnosti. DSRC ima i nedostatke, a to su ograničena pokrivenost, ograničen kvalitet usluge (QoS, *Quality of Service*) i mala brzina prenosa podataka. 3GPP radi na razvijanju standarda za komunikaciju u vozilu pod nazivom C-V2X. C-V2X daje mogućnost komunikacije između različitih entiteta u V2X mreži, kao što su V2V, V2I, V2N, V2P. Glavni fokus je stavljen na isporuku podataka transportnih usluga za osnovne usluge bezbednosti na putevima, tipa poruka o kooperativnoj svesti (CAMs, *Cooperative Awareness Messages*), osnovnim bezbednosnim porukama (BSMs, *Basic Safety Messages*) ili decentralizovanim porukama obaveštenja o životnoj sredini (DENMs, *Decentralized Environment Notification Messages*).

Potrebno je naglasiti važnost 6G mobilnih sistema kako bi se razumeo celokupni projekat vezan za V2X komunikaciju. Iako 5G New Radio pruža širok spektar poboljšanih performansi i naprednih usluga kroz ulaganje u hardversku i softversku arhitekturu putem LTE, to jednostavno danas nije dovoljno [4]. Predviđa se da će broj autonomnih vozila rasti s vremenom tako da starije tehnologije neće biti u mogućnosti da isprate sve te nove trendove koji će da zažive kroz par godina. Očekuje se da će to biti omogućeno upotrebom 6G bežične komunikacione mreže preko koje će biti ostvarena komunikacija između zemaljskih i nezemaljskih mreža, tipa satelitske i UAV komunikacione mreže. Ovo će doneti dosta napretka sa stanovišta pouzdanosti i bezbednosti, omogućiće izuzetno velike brzine prenosa podataka (reda nekoliko terabajta po sekundi) kao i hiper brzi bežični pristup (do vrednosti submilisekundi sa milijardama komunikacionih uređaja međusobno povezanih), kao i mogućnost energetske efikasnije pokrivenosti 3-D komunikacije [3]. Cilj je da 6G radi u kombinaciji sa mašinskim učenjem kako bi radio signali evoluirali i do inteligentnih i autonomnih radija i kako bi doneli neke nove funkcije u smislu samoagregacije, adaptivne koordinacije i samokonfiguracije [4].

Kako bi se postigli ambiciozni ciljevi koji su zacrtani, 6G teži da integriše što više tehnologija počevši od niza disruptivnih tehnologija, uključujući efikasnije i

robusnije interfejsse, alokaciju resursa i računarstvo. Pored navedenih, postoji i niz drugih tehnologija koje će da omoguće viziju zasnovanu na 6G-V2X komunikaciji sa ciljem inteligentnog i autonomnog povezivanja u saobraćaju putem različitih platformi. Takve tehnologije su podeljene u dve grupe, na revolucionarne V2X tehnologije i evolucione V2X tehnologije.



Slika 1. Pregled osnovnih tehnologija za V2X komunikacije [4]

3. Sistemi bezbednosti i komunikacije V2X za vozila

U konvencionalnim vozilima postoje različiti pristupi za procenu bezbednosti, kao što su modeli predviđanja putanja, V2I sistemi upozorenja i integracija pametne infrastrukture. U današnje vreme se teži što većoj integraciji V2X sigurnosne opreme u moderna vozila. Ta vozila imaju već ugrađene senzore u obliku naprednih sistema za asistenciju vozača koja imaju različite funkcije od pružanja informacija, preko izdavanja upozorenja pa sve do poboljšanja sigurnosti. Primera radi, sistem za izbegavanje sudara daje mogućnost stalne razmene informacija između pešaka i vozila [5].

Standardni V2X sistem uključuje sledeće komponente:

- uređaj za komunikaciju na vozilu (OBU),
- uređaj za komunikaciju pešaka (pametni telefon ili senzor na telu),
- jedinice pored puta (RSU, *Roadside Units*),
- jedinice za obradu informacija (IPU, *Informator Processing Unit*).

OBU modul omogućava bežičnu komunikaciju između vozila i IPU i VRU. Postoji više načina komunikacije u V2X sistemu, putem WiFi, WiMAX, BTE i mobilne mreže. Predstavljen je i sistem bezbednosti za pešake koji je zasnovan na računarskoj viziji koja ima sposobnost obrade slika ulica kako bi se napravila karta rizika za ranjive učesnike u saobraćaju, stavljajući akcenat na pešake pre svega. Takođe, predstavljena je metoda percepcije koja se zasniva na radaru i služi za detekciju i praćenje vozila i pešaka predviđajući potencijalne sudare. Postoji i takozvani mehanizam „mrtvog proračuna“ koji

se zasniva na algoritmu neuronske mreže za izračunavanje putanje pešaka i predviđanje postojećih situacija sudara. U urbanim sredinama koje se brzo razvijaju, prepoznavanje ranjivih učesnika je od velike važnosti. U opticaju je i metoda kolektivnog skeniranja koja smanjuje vreme koje je potrebno vozilu da primi povratnu informaciju o trenutnoj poziciji pešaka. Dodatno se koristi metoda produženog prijema kako bi se izbeglo propuštanje detekcije VRU, čime je poboljšano vreme detekcije za par desetina milisekundi i time je ukupno vreme detekcije smanjeno na oko 70 ms. Izučavan je i uticaj kašnjenja pri korišćenju WLAN i BTE komunikacija u različitim komunikacionim kanalima sa ciljem ispravke nepreciznosti za lokacije pešaka koje se zasnivaju na GPS-u. Studija je pokazala da je komunikacija kratkog dometa (DSRC) za koju je karakteristično nisko kašnjenje efikasnija u scenarijima gde brzine ne prelaze preko 90 km/h, dok za brzine do 108 km/h tačnost GPS-a ne odstupa više od 3 metra. U novijim scenarijima izbegavanja sudara DSRC komunikacija se pokazala kao veoma efikasna, pogotovu u situacijama kada nije omogućena detekcija pešaka putem kamera ili LiDAR sistema. Putem dva DSRC modema je moguće locirati pešake u slučaju da zakaže jedan od gore pomenutih sistema. U opštem scenariju pešaci i biciklisti su najsporiji u reagovanju na bilo kakvu opasnost koja je u njihovoj blizini, pa je iz tog razloga od suštinske važnosti da vozilo bude svesno tačne pozicije, orijentacije i pravca kretanja ranjivih učesnika, kako bi se omogućila integracija sa sistemima upozorenja kod autonomnih vozila. Putem pametnih telefona koji koriste sistem GPS-a za određivanje lokacije se može odrediti lokacija pešaka, ali to za slučaj autonomnih vozila nije i dalje dovoljno, jer ne pruža tačnu lokaciju koja bi zadovoljila potrebe takvih vozila za tim. Postoje različiti mehanizmi i metode koji su zasnovani na WiFi direktnoj lokalizaciji, gde je zabeleženo poboljšanje dostavljanja poruka za 22,4% kao i za 36,8% veću energetska efikasnost u poređenju sa WAVE standardom. Fokus je stavljen na lokalizaciju uz pomoć RSU-IMU, pozicioniranjem putem LiDAR (*Light Detection and Ranging*) sistema, GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) fuziju sa jedinicama za merenje inercije i drugih sistema koji su opisani u velikom broju naučnih radova. Senzori koje poseduju pešaci imaju relativno ograničenu raznolikost, pri čemu su pametni telefoni u najvećem broju slučajeva i jedini uređaji. Uprkos tome, njihova široka upotreba kao i sveprisutnost kao i raznolike tehnologije koje su korišćene za njihovo funkcionisanje čine ih idealnim za praćenje i lokalizaciju njihovih korisnika. Najčešće se navodi upotreba GPS sistema za indikaciju sudara koji prikazuju upozorenja. U poslednjih nekoliko godina primetan je rast u primeni i integraciji platformi za autonomna vozila, koji uključuju širok spektar senzora i bolju pokrivenost, pa iz tog razloga V2X sigurnosni sistemi koji su integrisani u te platforme imaju potencijal za unapređenje sigurnosti VRU u okolini. Tako na primer, radarski senzori omogućavaju veći domet i širu pokrivenost u poređenju sa situacijom kada vozilom upravlja čovek.

4. Protokoli i senzori u V2X komunikaciji

Bežične tehnologije su ključne u raznim bezbednosnim aplikacijama koje omogućavaju efikasnu, pouzdanu i interoperabilnu komunikaciju u sistemima koji su vezani za autonomna vozila. Jedna od takvih tehnologija jeste i DSRC, koja je nastala iz standarda IEEE 802.11p koji služi da obezbedi bežični pristup za saobraćajno okruženje za V2X aplikacije. Takav protokol je omogućio razmenu osnovnih bezbednosnih poruka, kako bi se delile informacije o statusu vozila sa drugim korisnicima, uključujući poziciju,

brzinu i pravac. Medijum za prenos koristi opseg širine 75 MHz u spektru od 5,9 GHz koje je definisao IEEE 1609. Ovaj standard je prvi put odobren još 2010. godine [6].

Postojali su izazovi za DSRC koji su uključivali zagušenje kanala u saobraćajnim okruženjima visoke frekvencije, odsustvo potvrde prijema (*handshake*, *acknowledgement*) u emitovanim okvirima, ograničenu komunikaciju zbog nedostatka Interneta, nemogućnost prijema emitovanih poruka i propusnost kanala. DSRC i WAVE standard koriste WLAN kao medijum za uspostavljanje veze kako bi se omogućila međusobna komunikacija na kratkim rastojanjima i rastojanjima na udaljenosti od 300 metara. WAVE standard predstavlja jedan revolucionaran standard jer je eliminisao potrebu za posrednikom u komunikaciji, što je otklonilo ne samo probleme s kašnjenjem zbog direktne komunikacije, već je dalo veću primenu ovih sistema u udaljenim područjima sa lošom mobilnom pokrivenošću. Nakon DSRC-a se pojavio još jedan protokol koji se takođe zasniva na mobilnim mrežama i radi se o C-V2X protokolu koji ima mogućnost rada na mobilnim mrežama. Ovaj protokol ima za cilj poboljšanje bezbednosti na putevima za efikasniju komunikaciju između vozila i infrastrukture, čime je omogućen efikasniji protok saobraćaja, smanjen je uticaj štetnosti na životnu sredinu i pružene su dodatne usluge razmene podataka i informacija za putnike. C-V2X omogućava direktan prenos paketa podataka i to kroz sledeće kategorije:

- V2V – podrazumeva razmenu bezbednosnih poruka između vozila radi sprečavanja pojave sudara, kontrole brzine, hitnog kočenja i promene trake,
- V2I – omogućava komunikaciju između vozila i infrastrukture, kao što su semafori i saobraćajni znakovi,
- V2P – komunikacija se odvija sa ranjivim učesnicima u saobraćaju, kao što su pešaci i biciklisti,
- V2N – funkcioniše kao mehanizam za deljenje informacija putem kojih vozilo dobija ažurirane podatke o saobraćaju ili o vremenskim uslovima na putu ili vozilo šalje podatke o drugim vozilima odgovarajućem servisu.

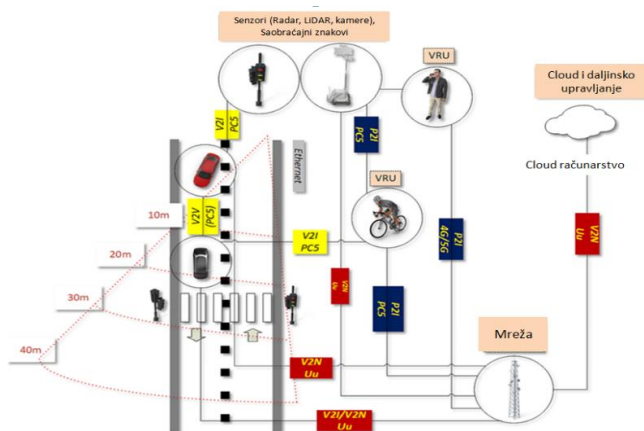
Infrastrukturni senzori nude superiornu pokrivenost pre svega zbog fleksibilnosti u postavljanju kao i visini i pozicioniranju senzora. Time je omogućeno praćenje ranjivih učesnika u saobraćaju čak i u slučajevima kada nije pogodan ugao snimanja tih entiteta ili kad nisu u liniji optičke vidljivosti. U zavisnosti od specifične situacije, senzori mogu koristiti razne tehnologije kao što su kamere, radari i sistemi za detekciju svetionika. Postoje senzori koji se zasnivaju na merenju udaljenosti, tipa radara ili LiDAR senzora, koji pružaju precizne informacije o udaljenosti nekog entiteta. Pomoću RSU uređaja se obrađuju podaci koji su dobijeni s ovih senzora, s tim da je lokalizovana obrada podataka čime se smanjuje opterećenje komunikacije, jer nije potrebno slati sve podatke na server u oblaku. Ovakav tip obrade podataka je poznat pod nazivom MEC (*Multi-access Edge Computing*). Njegov princip je da lokalizuje obradu podataka na lokalne čvorove visokih performansi, umesto obrade podataka u oblaku.

Za senzore bazirane na vozilu je možda do sada stavljen najveći istraživački fokus iz razloga direktne primene u industrijama naprednih sistema pomoći vozaču i autonomnih vozila. Prva gore pomenuta tehnologija je stekla značajnu popularnost u poslednjih 10 godina, a primena ove tehnologije postaje obaveza čak i u običnim automobilima. Ovom tehnologijom su obuhvaćeni sistemi za automatsko kočenje u hitnim slučajevima, adaptivni merači brzine, elektronska kontrola stabilnosti, pomoć pri parkiranju, pomoć da vozilo ostane u traci u kojoj je trenutno, pametnu navigaciju, izbegavanje sudara kao i asistencije vozilu koje su zasnovane na veštačkoj inteligenciji.

Postoje i napredniji slučajevi primene ADAS-a i odnose se na automatsko parkiranje, detekciju pešaka i pospanosti vozača kao i praćenje iz teško vidljivih uglova. Trenutno, ADAS se i dalje razvija iz razloga sve veće integracije senzora u autonomna vozila kao što su GNSS, LiDAR, IMU, SONAR i mnogi drugi. Problem se ogleda u tome da vozila koja poseduju veći broj senzora nemaju dovoljnu pokrivenost za adekvatno praćenje malog broja ranjivih učesnika u saobraćaju zbog ograničenog vidnog polja.

5. Paradigma komunikacije putem senzora

Najbolje objašnjenje paradigme je dato na sledećoj slici, gde je prikazan mehanizam indirektna komunikacije koji omogućava razmenu informacija putem lokalnog servera za razmenu poruka. Za razliku od DSRC-a, indirektni C-V2X omogućava mobilnoj mreži da prikuplja informacije iz više vozila, uključujući vozila koja nisu mobilna i koja ne podržavaju sistem DSRC-a. Protokol koji se ovde koristi je u skladu sa LTE standardom i pominje se u izdanju 14 čija se tematika odnosi upravo na takvu vrstu uređaja. Protokol je na kraju proširen i na 5G kao i na 5G *New Radio* u izdanjima 15 i 16, respektivno. Interfejsi koji se koriste jesu PC5 i LTE-Uu interfejs. PC5 omogućava kratke domete i pruža informacije o lokaciji i brzini vozila, dok drugi interfejs pruža domete od preko jednog kilometra i prikuplja informacije iz daljine o zagušenjima i saobraćajnim nezgodama. Kasnije verzije protokola su više fokusirane na autonomna vozila, tačnije njihovu industriju omogućivši komunikaciju sa veoma malim kašnjenjem i brzinama do 500 km/h. Iako su DSRC i C-V2X standardi dosta primenljivi danas, poseduju i svoje nedostatke koji se odnose na komplikovaniji sistem funkcionisanja zbog velikog broja entiteta kao robusnosti komunikacije.



Slika 2. Paradigma komunikacije putem senzora [7]

Širenjem opsega V2X percepcije, strateško postavljanje senzora unutar infrastrukture je od velike važnosti. To se može objasniti na primeru LiDAR senzora koji imaju sposobnost da dobiju informacije „po dubini“ kao i 3D objektima. Predstavljena je metoda postavljanja ovog senzora koja je usmerena na optimizaciju prostorne konfiguracije senzora na vozilima. Umesto dosadašnjeg načina pristupa, odlučeno je da se pristupi modernijoj varijanti. Upotrebom 3D okvira, generisana je probabilistička

mreža zauzeća kako bi se optimizovalo postavljanje senzora. Mrtve zone uglavnom predstavljaju izazove jer može doći do problema u komunikaciji između dva vozila.

6. Komponente autonomnih vozila

Platforme kod autonomnih vozila koriste mape visoke rezolucije (HD, *High Definition*) za navigaciju i planiranje ruta. Iako takve mape nisu toliko striktne za navigaciju, one pojednostavljaju planiranje ruta za kretanje. Primera radi, na osnovu trenutne pozicije autonomnog vozila i ukoliko je ono blizu neke raskrsnice, V2X modul odmah aktivira naredni modul za pomoć koji pomaže za slučaj informacija kod ranjivih učesnika. Još jedna upotreba HD jeste u slučaju kako bi se dobila preciznija lokacija ranjivih učesnika u odnosu na platformu. U slučaju gubitka GPS signala za pozicioniranje, u takvoj situaciji značajno pomaže sistem za mapiranje i planiranje ruta.

Standardna HD mapa se sastoji iz dve osnovne komponente:

- 3D pločica generisanih iz podataka dobijenih dubokim učenjem od kamera i radara, i
- semantičkih informacija koje daju smislene oznake različitim elementima.

Druge komponente uključuje elemente raskrsnica kao što su trake na kolovozu, semafori, saobraćajni znakovi. Ovi elementi takođe mogu obuhvatati informacije povezane sa vožnjom kao što su pešački prelazi, okolne zgrade i objekti koje pokrivaju HD mape. U upotrebi je i SLAM modul koji kombinuje HD mapu i informacije o ruti iz modula za mapiranje kako bi se izvršila lokalizacija vozila i stvorilo digitalno okruženje. Pojedini naučnici su predstavili upotrebu konvolucionih neuronskih mreža koje koriste rasterizovane slike za predikciju kretanja pešaka i biciklista. Razvijen je sistem za praćenje više objekata koji koristi semantičke informacije iz HD mapa koji su integrisani algoritmom za filtriranje i praćenje raznih algoritama koji su sagledavani iz ptičije perspektive (BEV, *Birds Eye View*). Na osnovu ovog pristupa se predviđaju buduće putanje VRU-ova i to na osnovu modela konstantne brzine okretanja i brzine kretanja. Iako su ovakvi sistemi HD mapa i hibridnih senzora efikasni za određivanje lokacije, osnovno pozicioniranje kod AV platformi se vrši pomoću satelitske tehnologije pod imenom globalni navigacioni satelitski sistemi GNSS. Pored globalne upotrebe, GNSS je takođe integrisan sa aspekta vremena, tačnosti i dostupnosti koji utiču na razvoj AV platformi.

Autonomna vozila zavise od svojih sistema za percepciju kako bi stvorila pojam o okolini i objektima u njoj, kako statičnim, tako i dinamičnim. Skup senzora se koristi za kreiranje percepcije okruženja oko vozila. U istu ruku se koriste za lokalizaciju vozila u odnosu na brzo promenljive objekte. Za bezbedno i efikasno funkcionisanje AV platformi, potrebno je obuhvatiti okruženje u krugu od 360 stepeni.

Kako bi se detektovali objekti, potrebno je izostaviti pozadinu iza njih, jer se time omogućava bolje grupisanje 3D tačaka koje su dobijene iz dubinskih podataka putem kamera i LiDAR tačkastih oblaka. Omogućeno je i razumevanje svakog piksela dela slike ponaosob. Generalno gledano, LiDAR sistemi su poznati po sposobnosti ekstrakcije pozadine sa ciljem dobijanja što verodostojnije slike o objektima. Korišćenje radara kako sa dugim tako i sa kratkim dometom unapređuje grupisanje tačaka dobijenih putem LiDAR-a. Ova integracija olakšava identifikaciju manjih objekata koji se teško detektuju pomoću radara. Sistem percepcije takođe emituje i objekte koji su u pokretu, kao što su pešaci, biciklisti i ostala vozila. Na osnovu povratnih informacija se dobija

pregled njihovih kretanja i tačna lokacija. Analiza ovih informacija stvara širu sliku za razumevanje svakog objekta koji se kreće a isto tako je u blizini autonomnog vozila.

Na slici 3 je prikazano poređenje snaga i slabosti različitih tipova senzora u odnosu na različite slučajeve u ekstremnim uslovima.



Slika 3. Poređenje funkcionalnosti LiDAR-a, kamera i radara u različitim uslovima [8]

7. Zaključak

6G predstavlja jednu viziju koja uključuje mnogo aspekata, od kojih su najbitniji ultra širokopojasni opseg, super IoT sistem, veštačka inteligencija, satelitske komunikacije, arhitektura i mnogi drugi. Dizajn platformi za autonomna vozila se ubrzano razvija kako bi uključio napredne senzore i računarske tehnike na vozilu zajedno s naprednim mapama i mogućnostima navigacije koje maksimiziraju bezbednost za ranjive učesnike u saobraćaju. Jedna od bitnih stavki jeste efikasnost komunikacione paradigme koja igra ključnu ulogu za deljenje informacija u realnom vremenu među raznim entitetima u celom procesu. Budući razvoj autonomnih vozila može uključiti troškove za instalaciju modernijih senzora kao i zahteve za manjom potrošnjom energije kao jednog od bitnih faktora, dok se istovremeno očekuje povećanje dometa i smanjenje veličine senzora. Teži se sve većem razvoju senzora koji bi bili u stanju da pruže što više mogućnosti kako bi mogli da zaštite ranjive učesnike kao što su pešaci i biciklisti.

Iz svega navedenog, može se zaključiti da 6G jeste jedna velika inovacija i korak bliže savremenoj budućnosti, gde će se skoro svaka radnja odvijati automatizovano. Od samih početaka razvoja mobilnih sistema težilo se ka pojednostavljenju pre svega komunikacije među ljudima, a kasnije i na sam život ljudi i radnje koje oni obavljaju. Iako sama primena mobilnih i pametnih sistema deluje poprilično jednostavno u realnosti, sam proces nije ni malo jednostavan i zahteva primenu znanja iz mnogih sfera nauke i inženjerstva.

Jedna od bitnih stavki jesu i paradigme koje imaju sposobnost deljenja informacija raznih učesnika u realnom vremenu. To za posledicu ima stvaranje mreže razmene informacija koja značajno utiče na bezbednost svih učesnika u saobraćaju. Ključni akcenat će biti stavljen na C-V2X komunikaciju radi povećanja bezbednosti ranjivih učesnika. Integracija kamera, radara i LiDAR senzora će imati važnu ulogu u sagledavanju percepcije okruženja i celokupnog konteksta autonomnih vozila. Upotrebom sistema za precizno pozicioniranje kao i GPS i GNSS će u mnogome pomoći

za rad platformi. Na samom kraju, robusno rešenje će biti možda i najrealnije primeniti s obzirom na kompleksnost celog procesa i broja elemenata koji u njemu učestvuju.

Literatura

- [1] <https://www.quora.com/p/5206/gsm-network-architecture-1/>
- [2] N.Jiang, et al, "Isolating and analyzing fraud activities in a large cellular network via voice call graph analysis", Proc. MobiSys'12, LoW Wood Bay, Lake District, United Kingdom, June 2012.
- [3] S. Chen et al., "Vehicle-to-everything (V2X) services supported by LTE-based systems and 5G," IEEE Commun. Standards Mag., vol. 1, no. 2, pp. 70-76, Jun. 2017
- [4] F. Tariq, M. R. A. Khandaker, K.-K. Wong, M. A. Imran, M. Bennis, and M. Debbah, "A speculative study on 6G," IEEE Wireless Commun., vol. 27, no. 4, pp. 118-125, Aug. 2020
- [5] Bai, Y.B. et al. (2012) "Overview of RFID-Based Indoor Positioning Technology.", GSR, 2012.
- [6] Bi, X. et al. (2017) A new method of target detection based on autonomous radar and camera data fusion. SAE Technical Paper.
- [7] Darugna, F. et al. (2019) "RTK and PPP-RTK using smartphones: From short-baseline to long-baseline applications", in Proceedings of the 32nd International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+2019), pp. 3932-3945.
- [8] Liu, W., Muramatsu, S. and Okubo, Y. (2018) "Cooperation of V2I/P2I communication and roadside radar perception for the safety of vulnerable road users", in Proceedings of 2018 16th International Conference on Intelligent Transport System Telecommunications, ITST 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

Abstract: *We are standing at the threshold of a new era of connected autonomous vehicles, which promise exceptional user experiences, significantly enhanced road safety, improved air quality, diverse transportation environments and use cases, as well as a wide range of advanced applications. To realize such an ambitious and comprehensive vision, it is essential to establish enhanced Vehicle-to-Everything (V2X) communication that is both intelligent and capable of hyper-fast, ultra-reliable, high-capacity data transmission with extremely low latency. The sixth generation of mobile communication (6G) is expected to fulfill these demanding requirements. Autonomous vehicles (AVs) are rapidly becoming an integral part of everyday life, with several countries already planning their integration into public transportation systems in the near future. Research has explored applications of 6G technology in the context of Vehicle-to-Vehicle (V2V) and Vehicle-to-Infrastructure (V2I) communication.*

Keywords: *Vehicle to Everything, Terahertz Communication, Autonomous Vehicles, Vehicle to Infrastructure*

6G-BASED COMMUNICATION AMONG VEHICLES, INFRASTRUCTURE, AND TRAFFIC PARTICIPANTS

Dorđe Bučevac, Slaven Tica, Miloš Končar, Dragan Đorđević