

PRAVCI RAZVOJA IoV KOMUNIKACIONE INFRASTRUKTURE

Slobodan Mitrović¹, Goran Marković¹, Valentina Radojičić¹, Suzana Miladić-Tešić²

¹Univerzitet u Beogradu - Saobraćajni fakultet

²Univerzitet u Istočnom Sarajevu - Saobraćajni fakultet

s.mitrovic@sf.bg.ac.rs, g.markovic@sf.bg.ac.rs, valentin@sf.bg.ac.rs,

suzana.miladic@stfdoboj.net

Sadržaj: *Poslednjih godina IoV (Internet of Vehicles) koncept umrežavanja vozila putem Interneta, baziran na upotrebi različitih V2X (Vehicle to anything) komunikacionih tehnologija, zaokuplja sve širu pažnju od strane istraživača iz akademskih institucija, automobilske i telekomunikacione industrije. Brojni izazovni problemi moraju biti rešeni u cilju razvoja pouzdane i efikasne komunikacione infrastrukture za podršku vremenski kritičnih IoV aplikacija. U radu se analiziraju neki aktuelni trendovi i potencijalna rešenja u realizaciji IoV arhitektura zasnovanih na Vehicular Fog i Fog Computing konceptima, od kojih se očekuje da zadovolje stroge zahteve IoV aplikacija.*

Ključne reči: *internet vozila, komunikaciona infrastruktura, tehnologije, konvergencija*

1. Uvod

Sve veći broj vozila, senzora i namenskih uređaja (RSU, *Road Side Units*) koji se postavljaju duž saobraćajne infrastrukture danas postaju opremljeni integrisanim procesorima i različitim bežičnim komunikacionim tehnologijama (kao što su IEEE 802.11p, mmWave, Bluetooth, Wi-Fi, 4G-LTE, VLC (*Visible Light Communications*) i drugi interfejsi), pružajući vozilima mogućnost da međusobno autonomno komuniciraju (V2V, *Vehicle-to-Vehicle*), razmenjuju informacije sa infrastrukturnom opremom (V2I/R, *Vehicle to Infrastructure / RSU*), budu povezani na Internet i druge komunikacione mreže (V2N, *Vehicle-to-Network*), prikupljaju informacije sa različitih senzora (V2S, *Vehicle-to-Sensor*), komuniciraju sa pešacima u neposrednom okruženju (V2P, *Vehicle to Pedestrians*) i sl., što je obuhvaćeno opštim pojmom V2X (*Vehicle to anything*) komunikacija. Različite V2X komunikacione tehnologije i mrežne infrastrukture (namenske RSU, Wi-Fi pristupne tačke ili mobilne ćelijske mreže) pružaju mogućnost proširenja *Internet of Things* (IoT) koncepta u okruženju za vozila, poznatim pod nazivom IoV (*Internet of Vehicles*). IoV koncept umreženih vozila može se smatrati evolucijom tradicionalnih VANET (*Vehicular Ad-hoc Networks*) mreža u cilju podrške naprednih ITS (*Intelligent Transportation Systems*) aplikacija za unapređenje bezbednosti saobraćaja, kontrolu i upravljanje tokovima saobraćaja u realnom vremenu, kao i multimedijalnih aplikacija informativno-zabavnog (*infotainment*) karaktera namenjenih za povećanje komfora putnika i vozača u vozilima.

Realizacija IoV arhitekture, posebno prva tri sloja (perceptivni, koordinacioni i sloj veštačke inteligencije) predstavlja ogroman izazov u kontekstu traganja za odgovarajućim konceptualnim i tehničkim solucijama. Navedenim rešenjima potrebno je ispuniti različite zahteve, počev od načina prikupljanja, obrade i prenosa podataka od strane velikog broja senzora (od onih koji se nalaze u samim vozilima do senzora koji predstavljaju deo RSU infrastrukturne opreme), sve do realizacije različitih multimedijalnih i drugih servisa na putničkim personalnim *smart* uređajima. Važnost odgovarajućih rešenja postaje daleko veća, kada se navedenim zahtevima pridruži kriterijum visoke osetljivosti na vremensko kašnjenje u obradi i prenosu podataka, visoka zahtevana pouzdanost komunikacije, propusnost i raspoloživost komunikacionog sistema, bezbednost komunikacija i drugi aspekti. Imajući u vidu geografsku rasprostranjenost saobraćajne mreže, heterogenost tehnologija, kompleksnost servisa i stohastičku prirodu saobraćaja postoji poseban interes za razvoj takvih IoV arhitekture koje prevashodno garantuju smanjeno vreme odziva, kao jednog od izuzetno važnih zahteva vremenski kritičnih ITS aplikacija [1]. U radu će biti analizirani aktuelni trendovi i očekivani pravci razvoja IoV komunikacione infrastrukture, koja treba da omogući ispunjenje takvih zahteva. Imajući u vidu da je jedan od osnovnih problema kašnjenje koje se javlja na relaciji IoT/IoV uređaji/senzori – *cloud*, u radu je poseban akcenat stavljen na dva koncepta: *Vehicular fog*, koji je vezan za V2V i V2I/R okruženje, kao i *Fog Computing*, koji se pozicionira na V2I/R – *cloud*, odnosno IoT – *cloud* segmentu komunikacija. Oba navedena koncepta, svaki u svom segmentu, doprinose smanjenju negativnih efekata kašnjenja.

Shodno navedenom, nastavak rada organizovan je na sledeći način. U drugom poglavlju predstavljen je *Vehicular Fog* (VF) koncept kolaborativne obrade i prenosa podataka za podršku V2V i V2I komunikacija. U trećem poglavlju predstavljena je *Fog Computing* (FC) infrastruktura kojom se funkcionalno unapređuje i ubrza veza između IoV i servisa na nivou *cloud*-a, koji su zasnovani na *Big Data* rešenjima [2]. U četvrtom poglavlju predstavljen je koncept konvergencije RSU i fiksne pristupne infrastrukture, nakon čega je dat pregled izazova i pravaca budućih istraživanja, kao i odgovarajući zaključci.

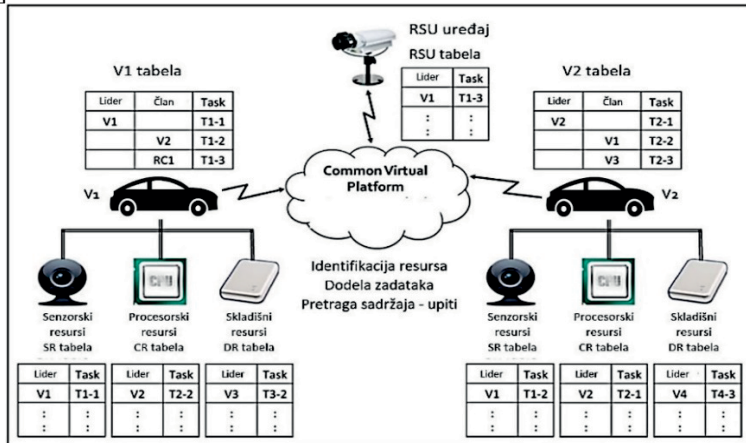
2. *Vehicular Fog* koncept

U aktuelnim istraživanjima vezanim za koncept kolaborativne obrade i prenosa podataka u IoV okruženju, posebna pažnja pridaje se konceptu koji je poznat kao *Vehicular Fog* (VF). Ovaj koncept odnosi se na sistemsko okruženje koje karakterišu dve osnovne funkcije – *Vehicular Fog Networking* (VFN) i *Vehicular Fog Computing* (VFC), kao osnove funkcionisanja budućih mreža autonomnih vozila (AUV, *Autonomous Vehicles*) [3]. Potrebno je naglasiti da se koncepti *Vehicular Fog Computing* (VFC) i *Fog Computing* (FC) međusobno razlikuju po tome što se prvi odnosi isključivo na komunikaciju između (dva ili više) vozila (V2V), dok je *Fog Computing* fokusiran na V2I komunikacije, što će biti detaljnije objašnjeno u narednom poglavlju.

Vehicular Fog Networking (VFN) funkcija odnosi se na komunikaciju unutar grupe vozila sa promenljivim sastavom „klijenata”, na osnovu čega se daje prednost (ali ne isključivo) međusobnoj (*ad-hoc*) komunikaciji vozila (V2V) u odnosu na komunikaciju vozila sa infrastrukturom (V2I). Imajući u vidu dinamičku prirodu saobraćajnih situacija, u [3] je predloženo da se VFN zasniva na primeni *Information-*

Centric Networking (ICN) koncepta, u kome je fokus dat na postupak emitovanja odgovarajućih informacija sa akcentom na njihov *sadržaj*, koji se ujedno koristi i kao osnova adresiranja (umesto IP adresa). Na ovaj način moguća je podrška grupi vozila u kojoj, pored AUV vozila, učestvuju i vozila sa poluautomatskim ili manuelnim upravljanjem, u kojima su prisutni odgovarajući nivoi asistencije tokom vožnje. U tom kontekstu, u novijim istraživanjima predlaže se upotreba sledećih ICN arhitektura: *Data-Oriented Network Architecture* (DONA), *Named Data Networking* (NDN), *Publish-Subscribe Internet Routing Paradigm* (PSIRP), kao i *Network of Information* (NetInf) [3].

Imajući u vidu potrebu za velikom brzinom i efikasnošću obrade podataka, *Vehicular Fog Computing* (VFC) zasniva se na obradi podataka prikupljenih, kako sa senzora pojedinačnih vozila koja su u posmatranom trenutku članovi VF-a, tako i na osnovu podataka dobijenih na osnovu „upita“ ka drugim vozilima koje pripadaju istom VF-u. Navedeni pristup baziran je na *Mobile Fog Computing* (MFC) konceptu, kojim se kroz kolaborativno procesiranje obezbeđuje veća procesna moć VF grupe u celini. Na ovaj način smanjuje se (ali ne isključuje) potreba svakog pojedinačnog vozila koje je član VF za komunikacijom sa RSU uređajima. Šta više, RSU uređaji zajedno sa VF članovima obrazuju zajedničku VF platformu (*common virtual platform*), kao što je prikazano na Slici 1 [3].



Slika 1. Princip funkcionisanja VF platforme [3]

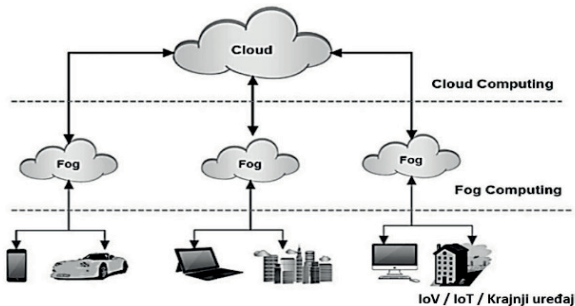
Osnovni princip funkcionisanja VF platforme zasniva se na postupku u kome se kod svakog VF člana posebno označavaju senzorski resursi (SR), resursi za procesiranje (CR) i resursi za skladištenje podataka (DR). Na osnovu „pregovora“ jedan VF član postaje „lider“ svakog pojedinačnog zadatka, nudeći svoje SR, CR i DR resurse na raspolaganje drugim VF članovima (koji su „članovi“ posmatranog zadatka), na osnovu čega se vrši međusobna razmena odgovarajućih podataka. Takođe, „lider“ pojedinačnog zadatka vrši i razmenu relevantnih podataka sa RSU uređajem, deleći ih nadalje sa drugim članovima [3]. Treba napomenuti da zadaci nisu isključivo vezani za razmenu podataka o parametrima vožnje, stanja vozila i okruženja, već se među njima mogu pronaći i određene vrste multimedijalnih sadržaja, koji su klasifikovani po kriterijumima prioriteta i popularnosti. Kriterijumi prioriteta vezani su za prenos bitnih multimedijalnih informacija, koje se pre svega odnose na vanredne događaje, poput saobraćajnih nezgoda, elementarnih nepogoda ili pojave prepreka na putu. Zadatak prenosa ovakvih informacija

vezan je za dostavljanje relevantne slike o preprekama na koje posmatrana vozila nailaze, od "lidera" do vozila na začelju. Cilj je da se vozač što bolje upozna sa datom situacijom i pripremi za transfer asistencija u oba smjera, tj. iz autonomnog režima u poluautomatski ili manuelni režim vožnje u situacijama u kojima je neophodna ljudska asistencija (kod AUV), odnosno intenziviranja asistencije u slučaju manualnog ili poluautomatskog upravljanja (kod vozila sa manualnim upravljanjem). Kriterijumi popularnosti su, sa druge strane, vezani za multimedijalne sadržaje koji, na primer, mogu biti turističke informacije vezane za određeno geografsko područje u kome se grupa vozila nalazi u posmatranom trenutku [3]. Razmena navedenih informacija i sadržaja bazirana je na *peer-to-peer* komunikaciji, bez obzira da li se radi o V2V ili V2I komunikacijama. Imajući u vidu da se navedeni tip razmena informacija i sadržaja može obavljati i pri većim brzinama, u [4-10] predlaže se *Dedicated Short Range Communication* (DSRC), IEEE 802.11p, ETSI TS 102 792 V1.2.1 (2015-06), kao *de-facto* standard za implementaciju V2X *Vehicular Fog* infrastrukture.

Osnovni izazovi kod ovako definisanog koncepta, vezani su za problematiku što efikasnije kolaboracije među VF članovima, ograničenu procesnu moć, bezbednost komunikacija, kao i za problematiku razmene informacija sa *cloud* okruženjem. Problem efikasnosti razmene sa *cloud* okruženjem ima poseban značaj imajući u vidu potrebu za integrisanim upravljanjem saobraćajem u realnom vremenu, posebno u kontekstu procesiranja podataka kako za V2I, tako i za obradu podataka dobijenih od strane različitih RSU senzora i uređaja.

3. *Fog Computing* koncept

Jedno od efikasnih rešenja koje se pojavljuje u skorijim istraživanjima je uvođenje FC (*Fog Computing*) koncepta [11]. FC je u osnovi proširenje *cloud* okruženja, koje se realizuje u formi „posrednika“ između *cloud*-a i IoT infrastrukture, sa ciljem da se procesna moć i brzi prenos podataka približava IoT infrastrukturi, rezultirajući na taj način bržim prenosom vremenski osetljivih podataka ka drugim ekosistemima u okviru posmatranih grupa servisa. Svaki uređaj, koji poseduje mogućnost procesiranja, skladištenja i prenosa informacija naziva se „Fog čvor“ (*Fog Node*, FN), bez obzira da li se radi o industrijskom kontroleru, sviču, ruteru, *embedded* serveru, naprednoj kameri za nadzor i sl. [11]. S obzirom na činjenicu da je generalno orjentisan ka IoT infrastrukturi, prednost FC koncepta je da pored primene u saobraćaju, unapređuje rad IoT ekosistema u svim sektorima, poput industrijskog ili rezidencijalnog (Slika 2).



Slika 2. *Fog Computing* u ulozi posrednika između *cloud*-a i IoT uređaja [11]

Shodno navedenom, *fog computing* koncept može se porediti sa *cloud computing* konceptom, na osnovu karakteristika koje su prikazane u Tabeli 1 [11]. Iako FC nema procesnu i skladišnu sposobnost kao resursi u *cloud-u*, njihova najvažnija karakteristika je da obezbede „dovoljno malo“ i „predvidljivo“ kašnjenje u okviru rada odgovarajućih IoT aplikacija. FC arhitektura sastoji se od šest slojeva koji omogućavaju izvršavanje navedenog zadatka [11]:

1. *fizički sloj sa virtualizacijom* – uključuje različite vrste IoT uređaja, bežične senzorske mreže, virtuelne čvorove, kao i virtuelne senzorske mreže, koje su organizovani i geografski raspoređeni na osnovu odgovarajućih tipova servisa i zahteva;
2. *sloj nadzora* – vrši nadzor koji se odnosi na rad, raspoloživost, performanse i potrošnju energije samih uređaja, virtuelnih grupa, kao i status korespondentnih aplikacija i servisa;
3. *sloj preprocesiranja* – bavi se regulisanjem upravljačkih zadataka kroz prikupljanje, analizu, filtraciju i obradu prikupljenih informacija, sa zadatkom da se uoče i izdvoje svrsishodne informacije;
4. *sloj za privremeno skladištenje* – zadužen je za privremeno skladištenje izdvojenih informacija do trenutka kada one bivaju poslate ka *cloud-u*;
5. *sloj bezbednosti* – vrši enkripciju i dekripciju, kao i proveru integriteta informacija i
6. *transportni sloj* – na kome se vrši slanje posmatranih informacija ka *cloud-u*.

Tabela 1. Poređenje karakteristika *Fog* i *Cloud computing* koncepata [11]

Karakteristika	<i>Fog computing</i>	<i>Cloud computing</i>
Kašnjenje	malo	veliko
Hardver	ograničena sposobnost procesiranja i skladištenja	skalabilna procesna i skladišna moć
Lokacija serverskih čvorova	lociran na perimetru (ivici) lokalne mreže	lociran na internetu
Razdaljina klijenta i servera	jedan <i>hop</i>	više <i>hopova</i>
Radno okruženje	spoljašnje (ulični ormari, prodavnice, javni objekti)	data-centri sa precizno definisanim sistemima održavanja
Bezbednosne mere	variraju od lokacije radnog okruženja	definisane
Bezbednost podataka (verovatnoća napada)	niža (visoka verovatnoća napada)	viša (mala verovatnoća napada)
Način implementacije	distribuiran	centralizovan
Orijentisanost po lokaciji (svest o lokaciji)	postoji	ne postoji

Zahvaljujući tako definisanoj arhitekturi, *Fog Computing* pruža mogućnost rešavanja značajnog broja različitih problema, koji se mogu pojaviti prilikom implementacije IoT ekosistema [11], [12]:

- *problemi sa kašnjenjem* - *Fog Computing* platforma zamenjuje *Cloud* u poslovnima procesiranja podataka (poput proračuna, analize i upravljanja podacima); pored navedenog pruža mogućnost realizacije i drugih vremenski

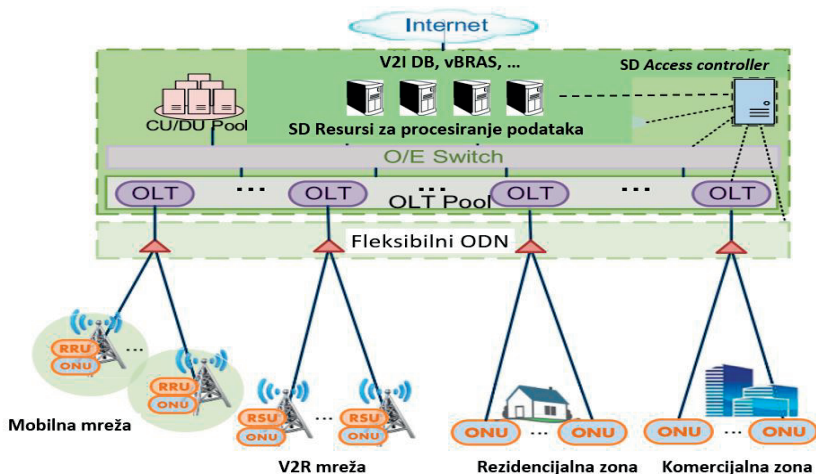
osetljivih aktivnosti u većoj blizini krajnjih klijenata, čime se prevazilaze problemi sa ispunjavanjem kriterijuma u vezi sa maksimalnim kašnjenjem, koje može važiti kod određenih IoT aplikacija;

- *problemi sa mrežnim kapacitetima - Fog Computing* platforma pruža mogućnost obrade podataka dobijenih od IoT ekosistema, po principu hijerarhijske podele poslova sa *cloud* okruženjem; na ovakav način smanjuje se obim podataka koje je potrebno transportovati direktno u *cloud* okruženje, čime se ostvaruju značajne uštede posmatrano sa aspekta neophodnih kapaciteta mrežnih resursa;
- *problemi sa resursima za procesiranje podataka – Fog Computing* platforma pruža mogućnost obrade određenih količina podataka za potrebe IoT ekosistema, čija je procesna sposobnost nedovoljna za obavljanje neophodnih procesnih radnji i gde prenos i procesiranje posmatrane količine podataka na nivou *cloud*-a nije isplativo ili gde postoji neko drugo ograničenje; na ovaj način smanjuje se kompleksnost čitavog procesnog rešenja, smanjuju troškovi eksploatacije i postižu uštede u potrošnji energije;
- *neprekidnost usluga - Fog Computing* platforma pruža mogućnost nezavisne obrade podataka kada postoji problem da se posmatrani podaci transportuju ili obrade na nivou *cloud*-a; na ovaj način se obezbeđuje kontinuitet u radu posmatranih aplikacija;
- *unapređenje bezbednosti IoT ekosistema* – imajući u vidu da se jednostavnost IoT uređaja reflektuje i na smanjeni obim ugrađenih bezbednosnih mehanizama, *Fog Computing* platforma može da posluži kao posrednik (*proxy*) za različite poslove ažuriranja softvera IoT uređaja, filtriranje pristupa i primenu drugih bezbednosnih mera.

Shodno navedenom, *Fog Computing*, osim mogućnosti obrade vremenski osetljivih saobraćajnih informacija u realnom vremenu, prema [11] predstavlja i najbolje rešenje za opsluživanje zahteva koji se odnose na distribuciju *video streaming*, *gaming* i *augmented reality* (AR) servisa.

4. Konvergenција RSU i fiksne pristupne infrastrukture

Podrška *Fog Computing* koncepta funkcionisanju IoT, odnosno IoV infrastrukture ima posebnu važnost u slučaju primene u okviru gradskog okruženja, imajući u vidu prognozirane vrednosti obima mrežnog saobraćaja u *Vehicle Network* okruženju, koje ukazuju na sedmostruki porast u periodu 2016-2021 [13]. Imajući u vidu neisplativost izgradnje nezavisne infrastrukture, u [14] je predloženo jedno od mogućih rešenja koje uključuje konvergenciju fleksibilne RSU i fiksne pristupne arhitekture (*flexible vehicle and fixed access convergence*, F-VFC), bazirano na konceptu softverski definisane optičke mreže (SDN) sa virtualizacijom mrežnih funkcija NFV (za RSU, ONU, ODN i OLT) u okviru optičke TWDM-PON infrastrukture (Slika 3).



Slika 3. Prikaz F-VFC arhitekture [14]

Virtualizacija treba da se realizuje na osnovu formiranja elastičnih slajsova, koji bi bili namenjeni određenim tipovima servisa sa ciljem da se FC ili FN saobraćaj izoluje od saobraćajnih fluktuacija od strane fiksnih pristupnih mreža. To bi se izvršilo dinamičkom rekonfiguracijom ONU-OLT konekcija u cilju postizanja optimalnog iskorišćenja OLT uređaja [14]. Formiranje elastičnih slajsova predstavlja još uvek veliki izazov, imajući u vidu da na formiranje IP tunela na OSI L3 nivou ne rešava problem kašnjenja, zbog čega bi ovaj problem trebalo rešiti na nižim OSI slojevima [14].

5. Izazovi i pravci daljih istraživanja

IoV će uticati na razvoj automobilske industrije, kao i informacionih tehnologija, čime će doprineti ekonomskom i opštem društvenom razvoju. Robusniji, efikasniji i inteligentniji transportni sistem će imati direktan uticaj na drugačiji način života korisnika. Kao i kod drugih tržišta, tržište IoV servisa je pod uticajem različitih trendova [15]. U tom kontekstu, autori su identifikovali četiri pravca istraživanja koja će u budućnosti povećati rast IoV aplikacija i servisa [16] [17]:

- *Energetska efikasnost* - očekuje se da će se ovaj trend nastaviti, jer IoV ima veliki potencijal u ekonomičnosti potrošnje goriva. Smanjenje potrošnje goriva kroz efikasniju vožnju i naprednije sisteme za kontrolu saobraćaja smanjiće saobraćajne gužve, a posledično i potrošnju goriva.
- *Povezani uređaji* - pravci kretanja integracije uređaja i aplikacija promovišu tržište IoV omogućavajući kompanijama da iskoriste nove mogućnosti za primenu, a istovremeno ostvare pristup mnogo većoj bazi korisnika.
- *Sigurnost* - strogi zahtevi u pogledu sigurnosnih karakteristika u IoV rešenjima nastavljaju da rastu. Potrebna je robusna, ekonomična i skalabilna sigurnost kako bi se osiguralo da IoV platforma bude u skladu sa zakonskim zahtevima za zaštitu podataka i identiteta korisnika. Rešenja koja zadovoljavaju sigurnosne

zahteve moraju biti razvijena da bi se, pre svega, održala privatnost i sigurnost krajnjih korisnika. Neki od ključnih sigurnosnih zahteva su: autentifikacija i autorizacija podataka, integritet podataka, poverljivost podataka, kontrola pristupa, raspoloživost komunikacije, zaštita ometanja i dr.

- *Bezbednost* - ovaj trend se odnosi na različite vrste sigurnosnih karakteristika. U tom kontekstu IoV će moći da obezbedi vozačima različite bezbednosne funkcije tokom vožnje. Pored toga, aplikacije IoV mogu biti u stanju da pruže personalne bezbednosne funkcije, kao što je identifikacija ličnog zdravstvenog stanja ili stanja umora vozača na putu. Prisutan je i trend u poboljšanju performansi obrade podataka i mogućnosti koje iz toga proizilaze. Ovaj trend se fokusira na migraciju sa tradicionalnog operativnog sistema podrške na novu platformu koja može da se nosi sa brzim povećanjem količine podataka prikupljenih od IoV sistema i kreiranje novih rešenja za analizu podataka [18]. Primenom IoV tehnologije prikupljaju se i distribuiraju informacije i sprovodi nadzor i kontrola kako bi se poboljšala efikasnost saobraćaja, sigurnost u saobraćaju, učinili životi milionima ljudi prijatnijim i udobnijim, u kombinaciji sa širokim spektrom drugih usluga sigurnosti u saobraćaju. U međuvremenu, dopunski naponi bi takođe trebali biti usredsređeni na dizajniranje novih platformi kako bi se omogućila analiza i obrada informacija o vozilima za potrebe donošenja upravljačkih odluka. Konačno, osnovni izazovi za IoV uključuju: efikasnu i skalabilnu koordinaciju i komunikaciju između uređaja; nedostatak standarda koji treba da omoguće robusne V2X komunikacije. Potrebni su otvoreni standardi za postizanje jedinstvenog okruženja za komunikaciju i razmenu informacija koji omogućavaju transparentnu i besprekornu integraciju sa sadašnjim (zatvorenim) standardima, kako bi se poboljšale usluge i korisnička iskustva u IoV ekosistemu.

6. Zaključak

Konceptualna ideja umrežavanja vozila putem Interneta (IoV) postaje obećavajuća solucija za rešavanje brojnih saobraćajnih problema, od saobraćajnih zagušenja i ekoloških aspekata do spašavanja ljudskih života. IoV koncept omogućuje vozačima i putnicima u vozilima da dok se nalaze u pokretu mogu trenutno pristupiti širokom spektru informacija iz svog okruženja (kolaborativno deliti i procesirati informacije sa drugim vozilima) i na bazi toga donositi odluke o svom daljem načinu kretanja (npr. promena rute, prilagođavanje brzine, izbegavanje sudara / opasnosti na putu i dr). Kao i ostala IoT okruženja, IoV mora posedovati odgovarajuće komunikacione, memorijske, inteligentne i funkcionalnosti učenja/obučavanja kako bi se moglo koordinisano upravljati mrežom vozila. Efikasna razmena i procesiranje informacija u distribuiranom okruženju mogu se postići unapređenom mrežnom i procesorskom paradigmatom u okruženju za vozila, poznatom pod nazivom *vehicular fog* (VF). Trenutno su izuzetno aktuelna istraživanja u oblasti razvoja VF koncepta, za koji se smatra da predstavlja osnovu za razvoj budućeg Interneta autonomnih vozila. U radu je detaljno analiziran koncept *fog computing*-a (FC) u IoT okruženju, koji se može posmatrati u formi „posrednika“ između *cloud*-a i krajnjih IoT uređaja. FC koncept pruža mogućnost lokalnog procesiranja podataka i njihovog skladištenja u IoT uređajima, umesto njihovog slanja ka *cloud*-u. U poređenju sa *cloud computing* konceptom, FC

pruža značajno bolje performanse u pogledu smanjenja odziva (kašnjenja) i poboljšanja kvaliteta servisa. S obzirom da izgradnja zasebnih namenskih RSU infrastruktura zahteva značajna finansijska ulaganja, u radu je predstavljeno i potencijalno rešenje za smanjenje troškova zajedničkim korišćenjem (deljenjem) resursa sa fiksnom pristupnom optičkom infrastrukturom u gradskom okruženju bazirano na konceptu softverski definisane optičke mreže (SDN) sa virtualizacijom mrežnih funkcija.

Zahvalnica

Ovaj rad delimično je podržan od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije, u okviru projekata pod brojem TR-32025 i TR36012.

Literatura

- [1] J. A. Guerrero-Ibanez, S. Zeadally and J. Contreras-Castillo, "Integration challenges of intelligent transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and internet of things technologies," *IEEE Wireless Communications*, vol. 22, pp. 122-128, 2015.
- [2] M. Nahri, A. Boulmakoul, L. Karim and A. Lbath, "IoV distributed architecture for real-time traffic data analytics," *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 480-487, 2018.
- [3] E.-K. Lee, M. Gerla, G. Pau, U. Lee and J.-H. Lim, "Internet of Vehicles: From intelligent grid to autonomous cars and vehicular fogs," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 12, p. 1550147716665500, 2016.
- [4] A. Filippi, K. Moerman, G. Daalderop, P. D. Alexander, F. Schober and W. Pfliegl, "Ready to roll: Why 802.11 p beats LTE and 5G for V2x," *WhitePaper by NXP Semiconductors, Cohda Wireless and Siemens. Nijmegen, Teh Netherlands: NXP Semiconductors*, 2016.
- [5] N. Lu, N. Cheng, N. Zhang, X. Shen and J. W. Mark, "Connected vehicles: Solutions and challenges," *IEEE internet of things journal*, vol. 1, pp. 289-299, 2014.
- [6] D. V. McGehee, M. Brewer, C. Schwarz, B. W. Smith and others, "Review of automated vehicle technology: Policy and implementation implications," *Iowa Department of Transportation: Ames, IA, USA*, 2016.
- [7] K. Zheng, Q. Zheng, P. Chatzimisios, W. Xiang and Y. Zhou, "Heterogeneous vehicular networking: A survey on architecture, challenges, and solutions," *IEEE communications surveys & tutorials*, vol. 17, pp. 2377-2396, 2015.
- [8] "IEEE Standard for Information technology - Local and metropolitan area networks - Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments," *IEEE Std 802.11p-2010 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007 as amended by IEEE Std 802.11k-2008, IEEE Std 802.11r-2008, IEEE Std 802.11y-2008, IEEE Std 802.11n-2009, and IEEE Std 802.11w-2009)*, pp. 1-51, 7 2010.
- [9] European Telecommunications Standards Institute, *ETSI TS 102 792 - Intelligent*

Transport Systems (ITS); Mitigation techniques to avoid interference between European CEN Dedicated Short Range Communication (CEN DSRC) equipment and Intelligent Transport Systems (ITS) operating in the 5 GHz frequency range, 2015.

- [10] Department of Transportation, "GAO-15-775, INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS - Vehicle-to-Infrastructure Technologies Expected to Offer Benefits, but Deployment Challenges Exist," United States Government Accountability Office, 2015.
- [11] H. F. Atlam, R. J. Walters and G. B. Wills, "Fog Computing and the Internet of Things: A Review," *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 2, p. 10, 2018.
- [12] M. Chiang and T. Zhang, "Fog and IoT: An overview of research opportunities," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 3, pp. 854-864, 2016.
- [13] V. N. I. Cisco, "Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016--2021 White Paper," *Document ID*, 2017.
- [14] R. Gu, S. Zhang, Y. Ji and Z. Yan, "Network slicing and efficient ONU migration for reliable communications in converged vehicular and fixed access network," *Vehicular Communications*, vol. 11, pp. 57-67, 2018.
- [15] A.-P. E. Cooperation, "White Paper of Internet of Vehicles," in *50th Telecommunications and Information Working Group Meeting*, 2014.
- [16] M. Lengton, D. Verzijl, K. Dervojeđa, P. Netherlands, L. Probst and L. Frideres, "Internet of Things connected cars," *Business Innovation Observatory, Contract No*, vol. 190, 2015.
- [17] J. Contreras, S. Zeadally and J. A. Guerrero-Ibanez, "Internet of vehicles: Architecture, protocols, and security," *IEEE Internet of Things Journal*, 2017.
- [18] J. Contreras-Castillo, S. Zeadally and J. A. G. Ibanez, "Solving vehicular ad hoc network challenges with Big Data solutions," *IET Networks*, vol. 5, pp. 81-84, 2016.

Abstract: *During last several years the concept of connected vehicles, known as IoV (Internet of Vehicles), through various V2X (Vehicle to anything) communication technologies have attracted extensive research attentions by numerous researchers from automotive/telecom industries as well as academia. A number of challenging tasks have to be solved in order to develop reliable and efficient communication infrastructure required for timely critical IoV applications. This paper analysis some actual trends and possible solutions for IoV architectures based on Vehicular Fog and Fog Computing concepts, which are expected to be able to satisfy strong requirements of IoV applications.*

Keywords: *Internet of Vehicles (IoV), communication infrastructure, technologies, convergence*

DEVELOPMENT TRENDS OF IoV COMMUNICATION INFRASTRUCTURE

Slobodan Mitrović, Goran Marković, Valentina Radojičić, Suzana Miladić-Tešić