

ANALIZA IoV UMREŽAVANJA U URBANIM SREDINAMA

Goran Marković¹, Suzana Miladić-Tešić²

¹Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet
g.markovic@sf.bg.ac.rs

²Univerzitet u Istočnom Sarajevu – Saobraćajni fakultet
suzana.miladictesic@sf.ues.rs.ba

Sadržaj: *Umrežavanje vozila putem Interneta, uglavnom zastupljeno u urbanim sredinama, predstavlja složen heterogeni sistem kojeg čine komunikaciona infrastruktura, veliki broj vozila i drugih učesnika u saobraćaju. Za podršku vremenski osetljivih aplikacija potrebno je razviti robusnu komunikacionu infrastrukturu. Dinamično okruženje i specifičnosti urbanih sredina, koje karakteristiše veliki broj raskrsnica, zgrada, komunikacionih uređaja i vozila, otežavaju uspostavljanje i održavanje pouzdanih komunikacija. U radu su analizirani problemi i uslovi za umrežavanje vozila putem Interneta, sa posebnim akcentom na integrisanje naprednih softverski definisanih i cloud zasnovanih mrežnih tehnologija u jedinstvenu IoV platformu.*

Ključne reči: *Internet vozila, komunikacija, umrežavanje, urbane sredine.*

1. Uvod

Koncept umrežavanja vozila putem Interneta (IoV, *Internet of Vehicles*), nastao kao rezultat kombinacije tehnologija Interneta stvari (IoT, *Internet of Things*) i inteligentnih transportnih sistema (ITS, *Intelligent Transportation Systems*) pruža široke mogućnosti u pogledu sprečavanja saobraćajnih nezgoda, upravljanja tokovima saobraćaja u realnom vremenu, eliminisanja saobraćajnih zagušenja, pružanja brojnih aplikacija informativnog-zabavnog karaktera i dr. Razvoj IoV, kao proširenje IoT koncepta na okruženje vozila, podstaknut je brojnim ograničenjima i nedostacima tradicionalnog koncepta umrežavanja vozila putem VANET (*Vehicular Ad-hoc Networks*) mreža. Zbog visoke mobilnosti čvorova, povezani VANET entiteti su privremeni, slučajni i nestabilni, dostupnost mreže je ograničena samo na lokalna i diskretna područja podržavajući samo *ad-hoc* komunikacije između vozila V2V (*Vehicle-to-Vehicle*) i vozila sa saobraćajnom infrastrukturom V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*), bez mogućnosti pristupa Internetu ili pouzdanog održavanja Internet konekcije, što znači da VANET ne pruža globalne, kompletne i održive aplikacije za korisnike. Pored toga, VANET karakterišu i ograničene sposobnosti u pogledu procesiranja i memorisanja podataka, nedovoljna skalabilnost mreže, signalizaciono preopterećenje, kao i nekompatibilnost sa različitim personalnom opremom korisnika (pametnim telefonima,

tabletima i dr). Karakteristike savremenih gradova, kao što su saobraćajna zagušenja, stalno rastući broj vozila, složenost ulične infrastrukture, prisustvo visokih zgrada, različita ponašanja vozača i sl. dodatno otežavaju funkcionisanje VANET-a u urbanom okruženju. Stoga je upotreba VANET-a vremenom počela da stagnira, a očekivana šira rasprostranjenost i komercijalni benefiti su izostali.

Nedavni napredak u razvoju alata veštačke inteligencije (AI, *Artificial Intelligence*), podržan ubrzanim razvojem tehnologija računarstva u oblaku i 5G mobilnih komunikacionih mreža predstavlja snažan pokretački faktor za unapređenje tradicionalnih VANET-a u fleksibilne heterogene IoV globalne komunikacione arhitekture, od kojih se očekuje da zadovolje stroge komunikacione zahteve vezane za umrežavanje širokog spektra entiteta (vozila, pešaka, infrastrukturne opreme, personalnih uređaja, senzora i dr) za potrebe budućih IoV aplikacija.

IoV sistemi će omogućiti brojne benefite i tržišne mogućnosti ne samo u domenu automobilske industrije, već i za softversku industriju, proizvođače IT opreme, telekomunikacione operatore, Internet servis provajdere i brojne druge povezane učesnike. Unapređenja po pitanju obezbeđenja malih kašnjenja, visoke mobilnosti, visoke pouzdanosti komunikacije, QoS (*Quality of Service*) i QoE (*Quality of Experience*) parametara biće omogućena razvojem i implementacijom mobilnih 5G mreža, SDN (*Software Defined Network*) tehnologije i FC (*Fog Computing*) koncepta kojim se *cloud* resursi približavaju ivici mreže (vozilima) i time značajno smanjuje vreme za procesiranje i razmenu podataka [1]. S obzirom da su urbane sredine prve u kojima će IoV koncept biti implementiran, potrebno je prilikom kreiranja komunikacionih platformi i modela za umrežavanje uzeti u obzir specifične karakteristike ovih sredina, kao što su veliki broj vozila, velika mobilnost čvorova mreže, složena putna infrastruktura, postojanje mnoštva prepreka koje otežavaju bežičnu komunikaciju i dr.

Cilj rada je da ukaže na ključne aspekte koji se odnose na razvoj i primenu platformi za klaudifikaciju resursa mreže i kreiranje modela za umrežavanje vozila u urbanim sredinama. Rad je organizovan na sledeći način. Drugo poglavlje ukratko prikazuje bežične komunikacione tehnologije, protokole i modele konektivnosti u IoV sistemu. Treće poglavlje predstavlja softverske i *cloud* tehnologije koje se mogu integrisati u jedinstvenu IoV platformu i daje kraći pregled određenih predloženih platformi, dok četvrto poglavlje zaključuje rad.

2. IoV tehnologije i modeli konektivnosti u urbanim sredinama

IoV koncept predstavlja složen heterogeni sistem hijerarhijski organizovanih komunikacionih mreža i podrazumeva različite modove konektivnosti (V2X, *Vehicle-to-Everything*), kao što su: komunikacije između vozila, V2V (*Vehicle-to-Vehicle*), komunikacije vozila sa saobraćajnom infrastrukturom, V2I (*Vehicle-to-Infrastructure*), povezivanje vozila sa Internetom i drugim komunikacionim mrežama, V2N (*Vehicle-to-Network*), komunikacije vozila sa pešacima / personalnim uređajima u okruženju, V2P (*Vehicle-to-Personal Device*) i prikupljanje informacija sa različitih senzora, V2S (*Vehicle-to-Sensor*).

IoV se fokusira na inteligentnu integraciju ljudi, vozila, stvari i okruženja sa ciljem pružanja različitih usluga. Podrazumeva otvoreni i integrisani mrežni sistem za upravljanje saobraćajem i sastoji se od više korisnika, više vozila, više stvari i više mreža. Inteligentni interfejsi se koriste za integraciju heterogenih mreža. IoV servisi nude

učesnicima u saobraćaju brojne pogodnosti, utiču na redukovanje potrošnje energije i minimizaciju troškova i vremena putovanja.

Bežične tehnologije i protokoli koji se koriste u IoV umrežavanju mogu se podeliti u tri opšte kategorije: mobilne celularne mreže (Wi-Max, 4G/LTE, 5G/NR); namenske mreže za vozila (DSRC/WAVE) i mreže za kratke domet (WiFi, Bluetooth, ZigBee, NFC i druge). U Tabeli 1 prikazane su pojedine WAT (*Wireless Access Technology*) tehnologije koje se mogu koristiti za potrebe umrežavanja različitih entiteta u IoV sistemima. Selekcija odgovarajuće WAT tehnologije za specifičnu IoV aplikaciju i QoS zahteve vrši se prema prioritetu uzimajući u obzir brzinu prenosa podataka, domet komunikacije, podršku mobilnosti, kašnjenje, nivo bezbednosti, sklabilnost mreže i dr. Kao jedna od obećavajućih solucija za buduće IoV sisteme, svakako se nameće dolazeća 5G mobilna celularna mreža, koja zahvaljujući spektrumu naprednih tehnologija, poput mm-talasa, ultra-gustih mreža, masivnog MIMO (Multiple Input Multiple Output) antenskog koncepta, *beamforming*-a i tehnologije potpunog dupleksa pruža brojne prednosti u pogledu mogućnosti ispunjenja zahteva budućih IoV aplikacija, obezbeđujući povećan propusni opseg, velike brzina prenosa podataka, visoku pouzdanost komunikacija, mala kašnjenja i dr.

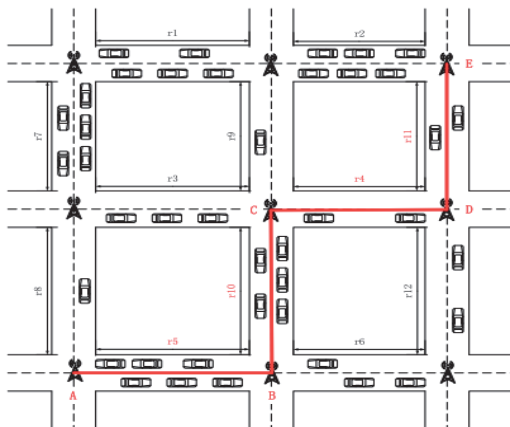
Tabela 1. Karakteristike različitih bežičnih tehnologija za IoV aplikacije [1]

Tip Mreže	Naziv tehnologije	Oznaka standarda	Frekventni opseg	Maksimalni domet
Mobilne celularne mreže	Wi-Max	IEEE 802.16 d/e	2-11 GHz	50 km
	4G/LTE	3GPP	700 MHz - 2.7GHz	10 m - 100 km
	5G/NR		700 MHz - 6 GHz > 24GHz (mm)	~ 4G/LTE < 500m
Namenske mreže za vozila	DSRC/WAVE	IEEE 802.11 p	5.9 GHz	1000 m
Bežične mreže za kratke domete	WiFi	IEEE 802.11 a/b/g/n	2.4 - 5 GHz	100 m
	Bluetooth	IEEE 802.15.1	2.4 GHz	10 - 100 m
	ZigBee	IEEE 802.15.4	868-915 MHz, 2.4 GHz	10 - 100 m
	NFC	ISO/IEC 18092	13.56 MHz	< 10 cm

Skraćenice u tabeli podrazumevaju: Wi-Max (Worldwide Interoperability for Microwave Access), LTE (*Long Term Evolution*), NR (*New Radio*), DSRC (*Dedicated Short Range Communication*), WAVE (*Wireless Acces in Vehicular Environments*), 3GPP (*The 3rd Generation Partnership Program*), WiFi (*Wireless Fidelity*), NFC (*Near Field Communications*), IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), ISO/IEC (*International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission*)

Efikasno planiranje i raspodela prostorno-vremenskih resursa IoV mrežne arhitekture predstavlja izazovan zadatak. Pored toga što urbane sredine obuhvataju veliki broj ukrštanja, raskrsnica, česte promene topologije, potrebno je imati u vidu da je gustina raspodele vozila neravnomerna, odnosno da je gustina mreže promenljiva, što može uticati na funkcionalnost komunikacione mreže. Na Slici 1 prikazan je model heterogene IoV arhitekture u urbanom području, kojeg čine vozila opremljena odgovarajućom bežičnom komunikacionom opremom (V2X), mrežni prolazi na

raskrsnicama, celularne bazne stanice, RSU (*Road Side Units*) jedinice i druga infrastrukturna oprema [2],[3]. Za poznatu brzinu kretanja vozila, domet bežičnih uređaja za umrežavanje vozila i gustinu vozila na određenoj sekciji puta, moguće je, prema analizi predstavljenoj u [2], izvršiti modelovanje povezanosti čvorova mreže u dinamičnom IoV okruženju kroz sledeća četiri atributa: verovatnoća uspostavljanja konekcija, vreme prosleđivanja paketa podataka, sposobnost linka za prosleđivanje podataka i verovatnoća greške paketa. Predložen je optimizacioni model za maksimizaciju verovatnoće konektivnosti mreže, uz definisan skup ograničenja u pogledu dopuštenih vrednosti za vreme prenosa paketa, sposobnost linka za prosleđivanje podataka i verovatnoće greške paketa, prema specifičnim zahtevima IoV aplikacija.



Slika 1. Model heterogene IoV mreže u urbanim sredinama [2]

U IoV okruženju, vozila ostvaruju V2X konekcije po principu stalne povezanosti na trenutno najbolju raspoloživu komunikacionu mrežu i imaju mogućnost saradivanja u pogledu izbora dostupnih mreža u slučaju da se u trenutnoj mreži pojavi bilo kakav problem u pogledu njene funkcionalnosti.

3. Integracija softverskih i cloud tehnologija u IoV platformu

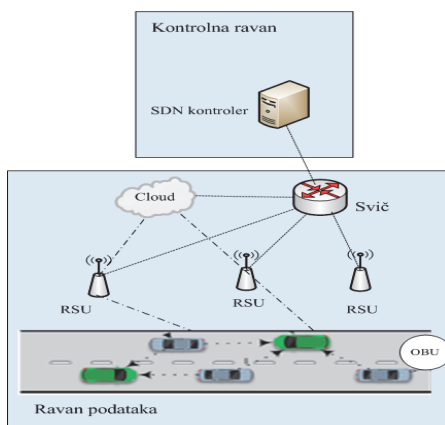
Koncept IoV zahteva nove perspektive razvoja platformi, algoritama i tehnika za kontrolu vozila i korisničkog saobraćaja kombinacijom *clouda*, mreže i tehnika virtuelizacije. To podrazumeva softverski definisano umrežavanje (SDN), virtuelizaciju mrežnih funkcija (NFV, *Network Function Virtualization*), *fog/edge* računarstvo (*computing*) i upotrebu kontejnera [4]. SDN se zasniva na razdvajanju kontrolne i korisničke ravni. NFV, standardizovan od strane ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) podrazumeva kreiranje dinamičke mreže u virtuelnom okruženju omogućavajući bilo koju konfiguraciju mreže potrebnu za testiranje. *Edge/fog computing* omogućava da se procesiranje i memorisanje podataka približi krajnjim korisnicima. Realizuje se u formi posrednika između *clouda* i IoT infrastrukture [5]. Kontejneri omogućavaju virtuelizaciju na aplikativnom nivou, pokretanjem servisa preko različitih platformi.

3.1. Softverski definisane mreže vozila

U postojećim mrežama, svaka tehnologija poseduje sopstvene kontrolne ravni, zbog čega se mreža sastoji od više slojeva, svaki od njih ima sopstvenu konfiguraciju i rezervaciju resursa, a upravljanje od jedne do druge tačke u takvoj mreži preko nekoliko kontrolnih ravni je veoma složeno. Softverski definisano umrežavanje podrazumeva razdvajanje ravni podataka od kontrolne ravni (Slika 2). Na taj način prevazilaze se ograničenja distribuiranog rutiranja koja se odnose na mehanizme konfiguracije, dupliranje podataka i sl. Ravan podataka obuhvata prenos podataka, dok kontrolna ravan podrazumeva centralizovani sistem koji upravlja prosljeđivanjem takvih podataka.

Arhitektura SDN mreže vozila podrazumeva SDN bazirane komponente, kao što su RSU, bazne stanice ili čak pojedinačna vozila, kojom se postiže veći nivo kontrole i automatizacije VANET mreža i omogućuje realizacija SDVN (*Software Defined-Vehicular Networking*) umrežavanja. Kontrolna ravan omogućava uspostavljanje, održavanje i upravljanje konekcijama putem uređenih putanja. Na taj način se omogućava efikasan prenos korisničkih podataka od početnog do krajnjeg čvora kroz različite domene. Razmena signalizacionih poruka odvija se posredstvom posebnog protokola između softverskih komponenata koje nazivamo signalizacionim kontrolerima, Signalizacioni kontroleri (svičevi/ruteri) prikupljaju podatke o korisničkom saobraćaju (npr. brzina i gustina vozila) i karakteristikama aplikacija i donose odluku o načinu rutiranja.

Integracijom SDN i SDN omogućene opreme (RSU, bazne stanice ili vozila) dozvoljeno je upravljaču mreže da alokira resurse, izbegava interferenciju, integriše više vrsta tehnologija (WiFi, Wi-Max, LTE, NR), kontroliše saobraćajno zagušenje i ravnomerno opslužuje saobraćajne zahteve [6].



Slika 2. SDN mreža vozila [4]

3.2. Virtuelizacija mreže

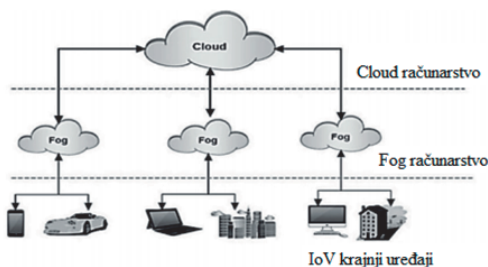
Virtuelizacija mreže ima za cilj minimizaciju hardvera korišćenjem generičke infrastrukture koja se bazira na serverima i virtuelnim mašinama (VM) koje se prilagođavaju fizičkoj infrastrukturi. Na taj način je omogućena bilo koja konfiguracija ili

dodavanje resursa u skladu sa zahtevima. NFV u velikoj meri zavisi od računarstva u oblaku (*cloud computing*), a hipervizori (monitori virtuelnih mašina), kao što su *OpenStack* ili *VMWare* odgovorni su za razdvajanje procesorskih i memorijskih resursa od hardvera. Time je omogućeno razvijanje softvera nezavisno od hardvera i obrnuto. Softver zvani hipervizor emulira hardverske resurse servera u potpunosti, što omogućava deljenje istih između većeg broja VM.

U kontekstu NFV uvodi se termin orkestracija servisa koja podrazumeva tri NFV koncepta. Prvi podrazumeva virtuelni ekvivalent mrežnih komponenata, kao što su svičevi, ruteri, SDN kontroleri, proksi itd. Drugi se odnosi na NFV infrastrukturu koja pokriva sve hardverske i softverske komponente koje čine jedno okruženje i održava i implementira sve funkcije mreže, kao što su memorisanje, procesiranje i umrežavanje. Treći koncept podrazumeva monitoring virtuelnih mrežnih komponenata. U suštini, NFV omogućava kreiranje virtuelnih RSU, baznih stanica, vozila, svičeva, rutera itd. potrebnih za definisanje određenog okruženja (npr. urbanih sredina), čime se izbegava potreba za korišćenjem odgovarajućih hardverskih komponenata.

3.3. Fog/Edge računarstvo

Primena koncepta računarstva u oblaku (*cloud computing*) za podršku *big-data* baziranih IoV servisa dovodi do brojnih nedostataka, kao što su povećano kašnjenje, nedovoljna efikasnost i loša skalabilnost sistema. Ključni uzrok ovih problema proističe iz centralizovanog koncepta procesiranja i memorisanja podataka *cloud* servisa. Da bi se ovi problemi prevazišli, predlažu se napredna rešenja zasnovana na distribuiranom *fog/edge* računarstvu kojim se postiže lokalizacija *cloud* servisa (klaudifikacija mreže).



Slika 3. Fog Computing u IoV konceptu [7]

Fog Computing (FC) predstavlja proširenje *cloud* okruženja, koje se realizuje u formi posrednika između *cloud*-a i IoV infrastrukture (Slika 3), sa ciljem da se računarski resursi i brz prenos podataka približe krajnjim korisnicima (izvorima podataka), što značajno smanjuje kašnjenje u poređenju sa centralizovanom *cloud* arhitekturom. Svaki uređaj, koji poseduje mogućnost procesiranja, memorisanja i prenosa informacija naziva se *fog* čvor, bez obzira da li se radi o industrijskom kontroleru, sviču, ruteru, *embedded* serveru, naprednoj kameri za nadzor i sl. [5]. Iako FC nema procesnu i memorijsku sposobnost kao resursi u *cloud*-u, njihova najvažnija karakteristika je da obezbede dovoljno malo kašnjenje u okviru rada odgovarajućih IoV aplikacija.

Edge computing (EC) ili računarstvo na ivici mreže predstavlja takođe distribuiran koncept računarstva, kod kojeg se sve računarske operacije izvršavaju

direktno na krajnjim uređajima (npr. senzorima/aktuatorima, vozilima) ili na njihovim interfejsima. EC ima slične funkcionalnosti kao i FC, a osnovna razlika između ova dva koncepta proističe iz različitih pozicija na kojima se vrši procesiranje podataka. Za razliku od FC, koji podrazumeva prenos podataka sa krajnjih uređaja/interfejsa do *fog* čvorova u okviru lokalne računarske mreže (LAN) radi njihovog procesiranja, kod EC sve računarske operacije se izvršavaju na krajnjim uređajima, bez potrebe za razmenom podataka putem LAN mreže.

Multi Access Edge Computing (MEC), poznat i pod ranijim nazivom *Mobile Edge Computing* predstavlja napredni koncept mrežne arhitekture koji omogućuje distribuirano računarstvo u ivičnom delu mobilne mreže, odnosno na nivou pristupne radio mreže (RAN, *Radio Access Network*). Osnovna ideja MEC koncepta je da pokretanjem aplikacija i izvršavanjem odgovarajućih procesnih zadataka bliže samom mobilnom korisniku omogući smanjenje saobraćajnih zagušenja u mreži i brže pokretanje (izvršenje) aplikacija. MEC funkcionalnost se mogu implementirati na nivou baznih stanica ili drugih ivičnih čvorova mreže, pružajući mogućnost brzog i fleksibilnog razvoja velikog broja novih korisničkih aplikacija i servisa, omogućujući istovremeno operatorima da ponude ("otvore") svoje RAN mreže trećim autorizovanim učesnicima (kreatorima aplikacija i provajderima sadržaja) za korišćenje memorijskih i procesorskih resursa. Osnovni benefit MEC arhitekture podrazumevaju malo kašnjenje, veliki raspoloživ propusni opseg, mogućnost povezivanja velikog broja krajnjih uređaja, kao i mogućnost pristupa relevantnim informacijama u realnom vremenu. Realizacija MEC koncepta zasniva se na integraciji različitih naprednih tehnologija, uključujući *cloud* računarstvo, SDN, NFV, VM i kontejnere.

3.4. Kontejneri

Softverski kontejneri (Linux ili Windows) su način za izvršavanje aplikacija u sopstvenom izolovanom procesu. Kao što im i sam naziv govori, kontejneri služe da se u njih "spakuje" samo ono što je potrebno da se aplikacija pokrene. Integracija kontejnera u jedinstvenu IoV platformu odnosi se na primenu virtuelizacije, odnosno virtuelno kreiranje servisa ili aplikacija. Aplikacija koja se pokreće primenom kontejnera podrazumeva instalirane biblioteke u kontejnerima, a ne u operativnom sistemu. Kontejneri se izvršavaju kao posebni (izolovani) procesi koji dele resurse operativnog sistema na kome su pokrenuti, a njihovo pokretanje traje znatno kraće. Zbog toga što zahtevaju manje resursa (nije im potreban ceo operativni sistem), lakše se isporučuju i pružaju mogućnost pokretanja više servisa korišćenjem istog hardvera. Kontejner sadrži samo aplikaciju, potrebne biblioteke, komponente od kojih aplikacija zavisi i datoteke za konfiguraciju čime aplikacija postaje nezavisna od infrastrukture na kojoj se pokreće [8]. Dve glavne funkcije kontejnera su migracija i replikacija odnosno jednom instalirani mogu se kasnije prenositi i pokretati bilo gde. Fleksibilnost proizlazi iz toga da su sve datoteke potrebne za pokretanje aplikacije sadržane u kontejneru. Najčešći primer izvršavanja aplikacija kroz kontejnere su mikroservisi.

3.5. Pregled nekih predloženih IoV platformi

Da bi se omogućila evaluacija performansi budućih IoV sistema, različite arhitekture i platforme zasnovane na tehnologiji *fog/edge* računarstva istražuju se od

strane šire akademske zajednice, ICT (*Information & Communication Techology*) industrije, kao i vodećih standardizacionih tela širom sveta. U literaturi su predložene različite platforme za simulaciju/emulaciju IoV okruženja sa fokusom na rešavanje različitih ključnih problema, uključujući aspekte korisničkog kvaliteta servisa, mobilnost, kašnjenje, balansiranje mrežnog saobraćaja, upravljanje saobraćajem (sprečavanje zagušenja) i dr.

Rešenje predloženo u [9], zasnovano na primeni naprednih tehnologija za umrežavanje vozila, fokusira se na istovremenom smanjenju mrežnog saobraćaja i kašnjenja sa ciljem povećanja korisničkog kvaliteta servisa. Implementacija ovih tehnologija omogućuje promene strategija za kontrolisanje mrežnog saobraćaja u skladu sa specifičnim zahtevima aplikacija. U [10] je predložen VANET-zasnovana platforma za isporuku sadržaja primenom softverski definisane MEC(*Multi access Edge Computing*) infrastrukture u mobilnom mrežnom okruženju, koja obezbeđuje pristup informacijama u realnom vremenu, velike propusne opsege i malo kašnjenje. U [11] je predložena *EdgeIoT* arhitektura za fleksibilno i skalabilno povezivanje IoT uređaja na mobilnu celularnu infrastrukturu. Približavajući računarske resurse bliže krajnjim IoT uređajima, predložena *EdgeIoT* arhitektura smanjuje saobraćaj u jezgu mreže zasnovanoj na SDN i minimizira kašnjenje "s kraja na kraj". Predložena je šema migracije zasnovana na *proxy VM* za minimiziranje saobraćaja u SDN baziranom jezgu mreže. Okvir arhitekture i softverska platforma predložena u [12] zasnovana na *cloud, edge i gateway* slojevima ima za cilj balansiranje saobraćaja između pojedinih slojeva mreže. U [4] je predloženo 5G bazirano rešenje integrisane platforme za emulaciju IoV sistema, koja istovremeno tretira probleme mobilnosti, kašnjenja i balansiranja saobraćaja. Rezultati istraživanja pokazali su da predložena platforma zasnovana na SDN, NFV, *fog/edge* računarstvu i kontejnerima predstavlja obećavajuće rešenje koje može da ispuni stroge zahteve u pogledu kašnjenja, kako za infrastrukturni tako i za *peer-to-peer* scenario distribucije sadržaja. Tabela 2 daje sumarni pregled karakteristika predloženih IoV platformi.

Tabela 2. Pregled funkcionalnosti nekih predloženih IoV platformi - prilagođeno iz [4]

Referenca	Problem	SDN	NFV	Fog/Edge računarstvo	Kontejneri	Mobilnost	Metod evaluacije
[9]	QoS	Da	Da	Da	Da	Ne	Simulacija
[10]	Kašnjenje	Da	Ne	Da	Ne	Da	Emulacija
[11]	Mobilnost i kašnjenje	Da	Ne	Da	Ne	Da	Simulacija
[12]	Balansiranje saobraćaja	Ne	Ne	Ne	Ne	Ne	Simulacija
[4]	Mobilnost, balansiranje saobraćaja i kašnjenje	Da	Da	Da	Da	Da	Emulacija/ Testbed

4. Zaključak

Koncept umrežavanja vozila putem Interneta predstavlja oblast koja je trenutno u ubrzanom razvoju i zaokuplja široku pažnju velikog broja istraživača iz šire akademske zajednice i industrije (ICT, automobilske i dr.). Zahvaljujući savremenim rešenjima baziranim na *cloud* računarstvu, IoT servisima i naprednim 5G mobilnim tehnologijama,

omogućena je evolucija tradicionalnog koncepta komunikacija između vozila (V2V) i vozila sa infrastrukturom (V2I) na sveprisutnu fleksibilnu i skalabilnu IoV platformu, od koje se očekuje da omogućiti umrežavanje širokog spektra entiteta u saobraćaju (V2X).

U radu su predstavljeni ključni koncepti i analiziran problem umrežavanja u heterogenoj IoV mreži koju čine veliki broj vozila, složena putna i ulična infrastruktura, bazne stanice i druga infrastruktura. Razvoj IoV fokusira se u pravcu integracije naprednih komunikacionih, softverskih, *big-data* i *cloud* tehnologija u jedinstvenu platformu sa ciljem kreiranja novih scenarija i nadolazećih aplikacija u okruženju za vozila, poput autonomnih vozila, kooperativne vožnje, kolaborativne percepcije ITS okruženja u realnom vremenu i dr. Da bi ove i druge aplikacije za vozila mogle biti podržane zahteva se rešavanje brojnih izazovnih problema vezanih za ispunjenje specifičnih zahteva, kao što su ultra-mala kašnjenja, visoka pouzdanost konekcije, procesiranje, memorisanje i prenos ogromne količine podataka velikim brzinama. IoV servisi će omogućiti vozilima, ljudima i "stvarima", poput senzora i različitih uređaja unutar i/ili izvan vozila da u potpunosti komuniciraju sa svojim okruženjem kombinujući tako ljudske sposobnosti i inteligenciju vozila i pružajući brojne pogodnosti korisnicima, kao što su povećana bezbednost učesnika u saobraćaju (smanjenje broja nezgoda), izbegavanje saobraćajnih zagušenja, lokalizacija i navigacija bilo kada i bilo gde, smanjenje potrošnje energije, zagađenja, ukupnih troškova i vremena putovanja, uz mogućnost podrške širokog spektra novih inovativnih aplikacija u okruženju vozila.

Neka od otvorenih pitanja koja moraju biti istražena i rešena u cilju budućeg umrežavanja vozila putem Interneta odnose se na probleme interoperabilnosti IoV ekosistema, bezbednosnih (*cyber*) napada i mogućnosti zaštite, aspekta poverljivosti, elastičnosti mreže (mogućnosti njenog brzog oporavka u slučaju incidentnih scenarija), zaštite privatnosti, kao i brojne kompleksne probleme vezane za optimalnu alokaciju resursa u heterogenom bežičnom okruženju sa strogim QoS specifikacijama IoV servisa, brzo rastućim brojem povezanih entiteta i sa visokom mobilnošću vozila. Ubrzani razvoj alata veštačke inteligencije, tehnika mašinskog učenja, kao i *network slicing* tehnologije za virtualizaciju mreže predstavljaju ohrabrujući podstrek za rešavanje izazovnih i kompleksnih problema alokacije IoV mrežnih resursa. Očekuje se da će intenzivne istraživačke aktivnosti u ovoj oblasti podržane ubrzanim tehnološkim napredkom omogućiti početne korake za razvoj i praktičnu implementaciju IoV sistema u skorijoj budućnosti.

Zahvalnica.

Rad je finansiran od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

Literatura

- [1] E. Benalia et al., „Data dissemination for Internet of vehicle based on 5G communications: A survey”, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 31, no. 5, e3881, 2020.
- [2] J. Cheng et al., „Connectivity modeling and analysis for Internet of Vehicles in urban road scene“, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 2692-2702, 2018.

- [3] J. Cheng et al., „Routing in Internet of Vehicles: A review“, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 5, pp. 2339-2352, 2015.
- [4] F. Da Silva Barbosa et al., „A platform for cloudification of network and applications in the Internet of Vehicles“, *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, vol. 31, no. 5, e3961, 2020.
- [5] S. Mitrović i dr., „Praveci razvoja IoV komunikacione infrastrukture“, *XXXVI Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju – PosTel*, Zbornik radova, str. 147-156, Beograd, Decembar 2018.
- [6] M. Chahal et al., „A survey on software-defined networking in vehicular ad-hoc networks: challenges, applications and use cases“, *Sustainable Cities and Society*, vol. 35, pp. 830–840, 2017.
- [7] H. F. Atlam et al., „Fog Computing and the Internet of Things: A Review“, *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 2, no. 2, p. 10, 2018.
- [8] A. Brogi et al., „Container-based support for autonomic data stream processing through the fog“, *European Conference on Parallel Processing*, Proceedings, pp. 17-28, Springer, Cham, 2017.
- [9] H-C Hsieh et al., „Mobile edge computing platform with container-based virtualization technology for IoT applications“, *Wireless Personal Communications*, vol. 102, no. 1, pp. 527-542, 2018.
- [10] J. Al-Badarneh et al., „Cooperative mobile edge computing system for VANET-based software-defined content delivery“, *Computers & Electrical Engineering*, vol. 71, pp. 388-397, 2018.
- [11] X. Sun, N. Ansari, „EdgeIoT: Mobile edge computing for the Internet of Things“, *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 12, pp. 22-29, 2016.
- [12] D. Santoro et al., „Foggy: a platform for workload orchestration in a fog computing environment“, *International Conference on Cloud Computing Technology and Science (CloudCom)*, Proceedings, pp. 231-234, 2017.

Abstract: *Internet of Vehicles, mostly deployed in urban environments is a complex heterogeneous system which consists of communication infrastructure, a large number of vehicles as well as other traffic entities. A robust communication infrastructure has to be deployed to support various time critical IoV applications. The dynamic environment and specifics of urban road scene, characterized by a large number of intersections, buildings, communication devices and vehicles, make it difficult to establish and maintain reliable communications. The paper analyzes the problems and conditions for vehicles networking via the Internet, with particular reference to integration of some advanced solutions for software defined and cloud based networking technologies into a single platform.*

Keywords: *Internet of Vehicles, communication, networking, urban environment*

ANALYSIS ON INTERNET OF VEHICLES NETWORKING FOR URBAN ENVIRONMENTS

Goran Marković and Suzana Miladić-Tešić