

**PRISTUP ADAPTIVNOG GRUPISANJA VOZILA U SAOBRAĆAJU
U MOBILNIM MREŽAMA PETE GENERACIJE
APPROACH TO ADAPTIVE VEHICLE GROUPING IN TRAFFIC
IN FIFTH GENERATION CELLULAR NETWORKS**

Miloš Cvetković, Miloš Milovanović

REZIME: U saobraćaju se javlja potreba za efikasnijom prevencijom gužvi na putevima kao i razmena informacija između vozila u svrhu povećanja bezbednosti. Potrebne su infrastruktura i mreža, takve da omoguće brzu, pravovremenu i pouzdanu podlogu za implementaciju rešenja pomenutih problema. U tom kontekstu, razmotrene su mogućnosti primene mreža pete generacije zbog brzine prenosa podataka i njihovog odziva. Izuzetno, predložen je pristup adaptivnog grupisanja vozila kao rešenje za veliku količinu podataka iz različitih izvora koji opterećuju mrežu, i predstavljaju glavnu prepreku za njeno ispravno i pouzdano funkcionisanje. U tu svrhu, predloženo je korišćenje SDN u okviru 5G VANET mreže, zbog mogućnosti globalne kontrole mreže i prikupljanja informacija iz različitih delova mreže u realnom vremenu, u cilju kontrole saobraćaja na putevima. Ukazano je i na postojanje saobraćajnih problema koje je moguće rešiti daljim razvojem novih tehnologija bežičnih mreža, uz inovativne pristupe smanjenju njihovog opterećenja.

KLJUČNE REČI: 5G, SDN, Grupisanje, Saobraćaj

ABSTRACT: The need for more efficient traffic congestion solutions and the exchange of information between vehicles for safety purposes is emerging. Infrastructure and network are needed to provide a fast, timely and reliable basis for implementing the solutions to these problems. In this context, the possibilities of deploying fifth generation networks are considered due to the latency and the speed of data transmission it offers. Specifically, the adaptive vehicle clustering approach has been proposed as a solution to the large amount of data from various sources that overwhelm the network, and is a major obstacle to its proper and reliable functioning. For this purpose, usage of SDN within the 5G VANET network is proposed, which offers the possibilities of global network control and gathering information from different parts of the network in real time, in order to control traffic on the roads. It is also pointed out that there are more traffic problems that can be solved by further development of new wireless network technologies, with innovative approaches to reducing their workload.

KEY WORDS: 5G, SDN, Clustering, Traffic

1. UVOD

Danas je računarstvo prisutno svuda u okruženju čoveka. Pametni telefoni, televizori, kao i razni uređaji u domaćinstvu u vidu sveprisutnog interneta stvari omogućavaju ljudima da lakše i brže ispunjavaju svoje dnevne obaveze, razmenjuju informacije od značaja i organizuju svoje delovanje. Sofisticiranost postojeće veštačke inteligencije, njen dalji napredak, kao i upotreba pomoćnih perifernih senzorskih uređaja omogućava visok stepen inovacija u robotici, virtualnim ličnim asistentima i posebno, uređajima interneta stvari poput dronova, kojima je za pravilan rad od velikog značaja pouzdana umreženost i međusobna razmena informacija.

Polazeći od stanovišta stalne ekspanzije informacionih tehnologija na ostale oblasti privrede, dolazimo do neizbežnog prožimanja saobraćaja, automobilske industrije i gore pomenutih inovacija. Vozila kao sastavni deo opreme poseduju uređaje za navigaciju, sisteme samostalnog upravljanja u toku vožnje, opremu za posmatranje ponašanja ostalih vozila na putu i pravovremeno reagovanje na saobraćajne uslove bez potrebe za reakcijom vozača. Vozila postaju pametnija i samostalnija, koriste računare koji se oslanjaju na sopstvene izvore informacija poput senzora nasuprot prebacivanju svakog aspekta bezbednosti na vozača i njegove reflekse, što njemu omogućava da se u svom vozilu oseća bezbednije, pogotovo u lošijim saobraćajnim i vremenskim uslovima.

Istraživanje sprovedeno u januaru 2016. godine, donelo je interesantne zaključke koji kažu da bi do 2030. godine u svetu moglo biti i do 15 miliona vozila koja su potpuno automatska,

što podrazumeva vožnju bez vozača [1]. Budući da će ta vozila koristiti bežične mreže, uz njihove putnike koji će takođe pristupati tim mrežama, očekuje se njihovo sve veće opterećenje i zagušenje.

Cilj ovog rada je savladavanje problema sa kojima se susreću mobilne mreže pete generacije proisteklih iz specifičnih uslova drumskog saobraćaja. U pomenutim uslovima velike brzine prenosa, protok i odziv mreža pete generacije mogu vrlo brzo umesto prednosti postati mane i uticati na rad čitave mreže.

2. MOBILNE MREŽE PETE GENERACIJE

U proteklih nekoliko godina internet stvari je dobijao na značaju u oblastima privrede poput poljoprivrede, trgovine prilikom dostave, u proizvodnji korišćenjem pametnih robota koji služe za prevoz delova proizvoda kroz fabriku umesto ljudi i slično. Primena je bila ograničena kapacitetima postojećih mreža, pogotovo kada bi pametni uređaji radili na otvorenom prostoru.

Mreže pete generacije nude mogućnost za probijanje ove barijere, i dodatnu masovnu ekspanziju interneta stvari. Implementacija ambicioznih projekata pametnih gradova zasnovanih na proširenoj realnosti, informativnih sadržaja o dešavanjima u gradu u realnom vremenu, ažurnosti podataka u višemilionskim gradovima je jedna od ideja koje su vodile razvoj 5G mreže. Pametni međusobno umreženi senzori širom grada koji pružaju informacije u realnom vremenu omogućavaju globalnu sliku grada i njegovog stanja u svakom trenutku. Pametni transport putnika i robe korišćenjem autonomnih vozila, tramvaja, autobusa i vozova.

Masovna međusobna komunikacija mašina kao i već pomenuta kritična komunikacija će biti stub i oslonac u industrijskim operativnim procesima, kao i uslugama dostave [2]. U budućnosti, broj uređaja koji se povezuju na mrežu će se višestruko uvećavati, te je nužno obezbeđivanje kapaciteta koji to može da podrži uz balansiranje mrežnog opterećenja. 5G mreže su razvijene upravo iz ovog razloga, i nude rešenje ne samo ovih problema, već omogućavaju i dalju ekspanziju, razvoj i rast navedenog uz neke nove delatnosti koje će se razviti u budućnosti, a za koje još ni ne znamo.

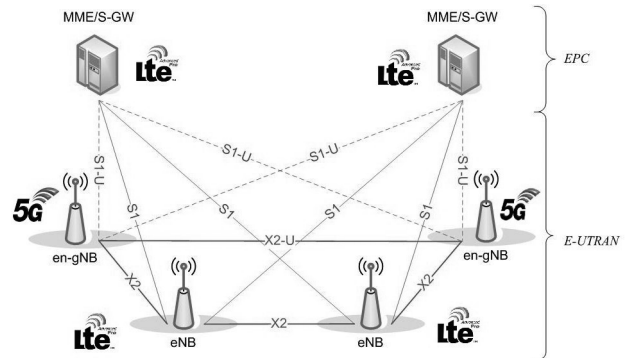
Kao što je već pomenuto, mobilne mreže pete generacije pružaju znatno veće brzine, odziv i unapređene mogućnosti u odnosu na prethodne generacije. 3GPP definiše zahteve 5G mreže po sledećim tačkama [3]:

- **Unapređeni mobilni širokopojasni pristup:** (eng. Enhanced Mobile Broadband - eMBB) ovaj zahtev se odnosi na samu brzinu mreže, i njeno višestruko unapređenje u odnosu na prethodnu generaciju. U odnosu na mrežu četvrte generacije, 5G mreža mora biti sposobna da pruži *downlink* brzinu na otvorenom prostoru od 50 Mbps, dok se u zatvorenom prostoru očekuje da to bude 1 Gbps. Očekivanja za *uplink* brzinu su polovina vrednosti *downlink* brzine. Specijalno, u avionima se očekuje da *downlink* brzina dostiže 1,2 Gbps. Ove vrednosti se odnose na razne slučajeve i uslove, vremenske prilike i druge smetnje. Potrebno je da mreža omogućava dostizanje brzine što bliže pomenutim vrednostima u svim uslovima.
- **Kritične komunikacije i veoma pouzdana komunikacija sa niskim kašnjenjem:** (eng. Critical Communications – CC, and Ultra Reliable and Low Latency Communications - URLLC) ukazuje na potrebu za niskim kašnjenjem i brzim odzivom mreže usled specifičnih potreba prilikom primene mreže u industriji. Grane industrije u kojima se automatizuju procesi rada su jedan takav slučaj zbog načina funkcionisanja mašina čiji se rad automatizuje. Kao primer u slučaju procesne automatizacije, očekuje se pouzdanost od 99,9999% i uz to korisnik može da očekuje brzinu prenosa podataka od 100 Mbps sa odzivom od 50 ms.
- **Masovni internet stvari:** (eng. Massive Internet of Things - mIoT) očekuje se sposobnost mreže da podrži ogromnu količinu saobraćaja sa gusto raspoređenim klijentskim uređajima uz njen pouzdan i neometan rad, te samim tim i najboljim mogućim iskustvom za korisnike.
- **Fleksibilan rad mreže:** (eng. Flexible network operations) naglašava da je mreži potrebna sposobnost da se prilagodi raznim uslovima i poteškoćama tokom svog rada korišćenjem naprednih metoda i tehnika, da bi u svakom trenutku bila sposobna da zadovolji prethodne zahteve uključujući i potrebe bezbednosti, migracije, skalabilnosti, unapređenja i drugog.

Ispunjenje pomenutih zahteva omogućava primenu mreža pete generacije u oblastima saobraćaja, interneta stvari, logistike, automatizacije, energetike, teške industrije, javne bezbednosti, zdravstva, pametnih gradova, zabave i drugim.

U zavisnosti od toga da li se oslanja na jezgro 4G (LTE) mreže ili se oslanja isključivo na 5G jezgro, postoje dve opšte arhitekture 5G mreže [3]:

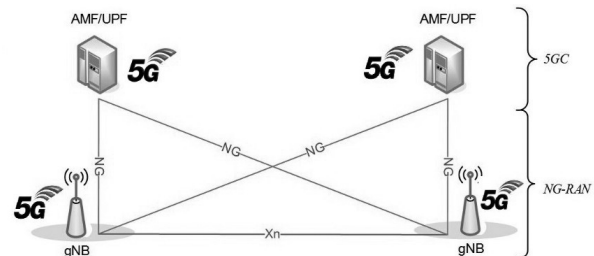
- **Nesamostalna arhitektura:** (eng. Non-Stand-Alone - NSA architecture) je arhitektura u kojoj se 5G pristupna mreža (eng. 5G Radio Access Network - AN) i njen novi radio (eng. New Radio - NR) interfejs koriste u kombinaciji sa postojećim 4G jezgrom mreže uz 4G radio (eng. LTE (4G Radio) and EPC infrastructure Core Network (4G Core)). U ovom slučaju NR postaje dostupan bez zamene mreže, međutim podržani su samo servisi dostupni u 4G mreži uz kapacitete koje obezbeđuje 5G NR. Ova mreža u suštini nije prava 5G mreža i može se smatrati prelaznom opcijom kod koje bi krajnji cilj bio prelazak na SA arhitekturu.



Slika 2.1 NSA arhitektura 5G mreže [3]

Kao što je prikazano na slici - (5G) NR bazna stanica (logički čvor en-gNB) se povezuje na (4G) LTE baznu stanicu (logički čvor eNB) preko X2 interfejsa koji dozvoljava povezivanje eNB i en-gNB čime se omogućava stvaranje NSA. Ova arhitektura podržava vezu oba tipa, 4G AN (E-UTRA) kao i 5G AN (NR). Iz tog razloga se drugačije naziva i EN-DC, što je skraćeno od E-UTRAN and NR Dual Connectivity. U EN-DC, 4G eNB je glavni čvor (eng. Master Node - MN) dok je 5G en-gNB sekundarni čvor (eng. Secondary Node - SN).

- **Samostalna arhitektura:** (srp. Stand-Alone - SA architecture) je arhitektura u u kojoj se 5G novi radio (eng. 5G New Radio - NR) povezuje na 5G mrežno jezgro (eng. 5G Core Network - CN). U ovoj arhitekturi su podržani svi servisi koje omogućava 5G mreža.



Slika 2.2 SA arhitektura 5G mreže [3]

Kao što se može videti na slici, SA arhitektura je prava i potpuna upotreba 5G mreže, bez oslanjanja na bilo koje delove 4G mreže. NR bazne stanice (logički čvor gNB) se povezuju međusobno preko Xn interfejsa, i pristupna mreža (eng. Access Network – AN), nazvana NG-RAN za SA arhitekturu, se povezuje na 5G mrežno jezgro preko NG interfejsa.

3. SAOBRAĆAJ I MOBILNE MREŽE

U prethodnim decenijama razmatrane su različite mogućnosti primene mobilnih mreža u saobraćaju. Svaka generacija je donela neke novine koje su pružile prostor za njihovu veću prihvaćenost i svakodnevnu upotrebu. Kao najvidljiviji problem u ekspanziji saobraćaja istakle su se velike gužve tokom udarnih termina radnim danima kada ljudi idu ili se vraćaju sa posla. Budući da su u ovo vreme i mobilni uređaji postali zastupljeniji, javila se ideja o mogućem eksploataisanju mobilne telefonije u svrhu proaktivnog delovanja na zagušenja u saobraćaju.

Jedan od pristupa koji treba pomenuti je korišćenje informacija sa mobilnih uređaja umesto senzorskih uređaja. Mobilni operateri vode evidenciju o pozivima korisnika sa svakog broja iz njihove mreže koja sadrži brojne informacije, zna se kada je poziv započet, kada je završen, i najvažnije u ovom slučaju – preko koje bazne stanice je korisnik uspostavio taj poziv.

Uzmimo kao primer jednu baznu stanicu koja svojim domptom zahvata određenu deonicu puta. Pretpostavimo da svako vozilo koje prolazi poseduje barem jedan mobilni uređaj koji će se u nekom trenutku tokom vožnje povezati na ovu baznu stanicu. Takođe, pretpostavimo da će većina korisnika (putnik u automobilu, vozač sa dodatnom opremom za obavljanje poziva tokom vožnje itd.) obaviti poziv tokom odlaska ili vraćanja na posao. Ukoliko se gore pomenuta evidencija pažljivo prati u realnom vremenu, i u našem primeru pozivi odvijaju preko naše bazne stanice, dobija se veoma korisna slika o trenutnom stanju zagušenja saobraćaja na delu puta koji pokriva naša bazna stanica.

Ovakav pristup posmatranja saobraćaja putem mobilnih mreža se naziva posmatranje pomoću evidencije o pozivima (*eng.* Call Detail Records, *skraćeno* CDR). Iako u početku vrlo koristan, ubrzo pokazuje svoje mane. Prvi i najveći problem je oslanjanje na to da korisnik mora da izvrši poziv [4]. Ova pretpostavka dovodi do toga da je obuhvaćen samo mali (i nereprezentativni) deo učesnika u saobraćaju, koji ne odražava pravu sliku gužve na putu. Drugo, ako pretpostavimo da se na putu nalazi nekoliko autobusa punih ljudi koji telefoniraju, dobićemo sliku koja prikazuje ogroman broj klijenata i navodno zagušenje, iako je put sasvim prohodan.

Određeno rešenje za navedene probleme pomenuti autori nude u proširivanju upotrebe evidencije o povezanim klijenatima. To obuhvata korišćenje anonimnih podataka o statusu veze između uređaja i bazne stanice, što omogućava značajno pouzdaniji uvid u trenutno pravo stanje saobraćaja na deonici puta koju ta stanica zahvata. Autori nude i matematičke algoritme koji bi mogli biti primenjeni za dodatno ublažavanje posledica mana ovakvog pristupa.

Iz ovih razloga upotreba mobilnih mreža u saobraćaju prete generacije je ipak ograničena, neretko kao samo još jedan indikator da se nešto dešava i da bi valjalo proveriti uslove kamerama, policijskim patrolama i slično, pogotovo u manje razvijenim zemljama.

4. SDN

Kao mogući odgovor na prethodno pomenuto, ovde je predložena 5G VANET mreža u kojoj bi, umesto da svako vozilo pojedinačno komunicira sa baznom stanicom, postojala grupa

vozila - klaster (*eng.* Cluster) u kome jedno vozilo obavlja ulogu komunikatora celog klastera sa baznom stanicom i naziva se glava klastera - CH (*eng.* Cluster Head). Unutar klastera ostala vozila komuniciraju sa mrežom posredno agregirano preko tog vozila [5]. Na taj način se količina klijenata koji komuniciraju sa baznom stanicom višestruko smanjuje, a time i njeno opterećenje. U tu svrhu, ovaj predlog podrazumeva korišćenje SDN (*eng.* Software Defined Networking) [6] u pomenutoj mreži.

SDN odvaja kontrolnu ravan i ravan podataka, gde se kontrolnom ravni upravlja direktno i centralizovano. Kontrolna ravan služi za upravljanje mrežom i načinima razmene podataka kroz nju, dok se kroz ravan podataka vrši sama razmena podataka u mreži. SDN mora da ima interfejs za komunikaciju [7]:

- interfejs za komunikaciju od kontrolne ravni ka ravni podataka,
- interfejs za komunikaciju od ravni podataka ka kontrolnoj ravni,
- interfejs za komunikaciju između više kontrolnih ravni.

SDN arhitektura otvara mogućnosti centralističkog upravljanja mrežom putem odvajanja kontrolne ravni od ravni podataka, uprkos heterogenim odlikama njene infrastrukture. Centralna tačka upravljanja omogućava nadzor čitave mreže i pravovremeno reagovanje na promene u opterećenju i radu. Ovim se otvara put održavanju zadovoljavajućih performansi u uslovima intenzivnog saobraćaja, i garantuje se njeno pouzdano funkcionisanje u različitim situacijama, prilagođavanjem nastalim izmenama.

U ovakvoj mreži, otvaraju se nove mogućnosti za pravovremeno reagovanje i održavanje ispravnog rada. Budući saobraćaj je moguće u određenoj meri predvideti i preventivno preduzeti akcije. Vršiti se odabir jednog vozila klastera koje će da komunicira sa baznom stanicom. Ono predstavlja ceo klaster i smanjuje broj klijenata bazne stanice. U slučaju velike količine saobraćaja unutar klastera, moguće su izmene načina komunikacije sa baznom stanicom kao i prilagodljiva šema razmene podataka, što treba da doprinese smanjenju odziva i povećanju upotrebljivosti mreže.

Aspekt distributivnosti je najbitnija odlika tradicionalne arhitekture mreža. Suprotno tome, SDN arhitektura (*eng.* Software Defined Networking) je centralizovana. Svi protokoli i standardi koji se koriste u tradicionalnoj arhitekturi su kompatibilni sa SDN arhitekturom (IP, Ethernet i slično).

U zavisnosti od preferencija autora, SDN arhitektura se sastoji od tri (odnosno dva) sloja [8]:

1. **Sloj mrežnih upravljačkih aplikacija:** (*eng.* Application layer) je sloj koji je zadužen za apstrakciju upravljanja SDN mrežom kroz severni (*eng.* northbound) API. On uspostavlja pravila i pruža različite servise poput zaštitnog zida, kontrole pristupa, kvaliteta servisa - QOS (*eng.* Quality of Service), rutiranja, proksi servisa (*eng.* proxy service) i drugih. Ovaj sloj neki autori poput [9] smatraju delom upravljačke ravni stoga se takva SDN arhitektura sastoji od dva sloja.

2. Upravljačka ravan: (*eng.* Control plane) je sloj koji apstrahuje topologiju mreže. Budući da ona predstavlja ključ ove arhitekture, o njoj će u nastavku biti više reči u zasebnom podjeljku.

3. Ravan podataka: (*eng.* Data plane) je sloj koji sadrži mrežne uređaje poput rutera, svičeva i pristupnih tačaka. Zadužen je za protok podataka i operacije nad njima.

Centralizovana kontrola se ostvaruje kroz kontroler (*eng.* Controller) koji vodi rad čitave mreže. Vrlo često se u tu svrhu koriste rešenja otvorenog koda poput OpenDayLight [10]. Upravljanje mrežom se postiže kroz sva tri sloja arhitekture.

OpenFlow [11] je protokol koji opisuje rad kontrolera i njegovu komunikaciju sa mrežnim uređajima, i pruža mogućnost standardizovanog načina upravljanja mrežnim saobraćajem. Standardizaciju ovog protokola vodi Open Networking fondacija [12].

Autori [8] navode osam izazova i problema od izuzetne važnosti u SDN okruženju:

- 1. Skalabilnost (*eng.* Scalability):** sposobnost SDN, odnosno upravljačke ravni da se efikasno nosi sa povećanim obimom posla. U tu svrhu cilj je povećanje kapaciteta mreže implementacijom mahnizama klasterizacije, prenošenja i brze obrade.
- 2. Pouzdanost u radu mreže (*eng.* Reliability):** SDN se smatra pouzdanom onda kada u realnom vremenu obaveštava o neuspehoj dostavi podataka. Za kritične podatke je od izuzetne važnosti definisanje minimalnog stepena pozdanosti koji se ne sme prekoračiti. Primetna je bitnost ove stavke u situaciji korišćenja ovakve mreže u oblasti saobraćaja.
- 3. Visok stepen dostupnosti (*eng.* High availability):** serveri moraju biti dostupni kada god i na kome god mestu su potrebni. Ovo se može iskazati procentom dostupnosti tokom godine (*eng.* Uptime).
- 4. Elastičnost (*eng.* Elasticity):** SDN ima sposobnost da prilagođava svoj kapacitet skaliranjem dostupnih resursa da bi se prilagodila trenutnim potrebama i dinamičnim promenama.
- 5. Sigurnost (*eng.* Security):** zaštita mreže obuhvata zaštitu softvera i hardvera, kao i otpornost na ometanje rada servisa koje SDN pruža. Takođe, mreža se štiti od spoljnih pretnji i njihovih malicioznih namera.
- 6. Performanse (*eng.* Performance):** mere se uspostavljanjem odnosa broja zadataka koje su komponente SDN izvršile sa vremenom korišćenja dodeljenih resursa dostupnih mreži. Najbitnije mere su protok, propusnost, kašnjenje i podrhtavanje (*eng.* bandwidth, throughput, latency, jitter).
- 7. Otpornost (*eng.* Resilience):** ukoliko je neki uređaj koji je deo mreže neispravan ili je prestao sa radom, SDN je sposobna da nastavi sa radom u istom ritmu i bez ometanja, pružajući isti kvalitet svojih usluga.
- 8. Pouzdanost u prevenciji grešaka (*eng.* Dependability):** SDN se fokusira na preventivu, implementirajući mehanizme sa tolerancijom na određeni stepen pojave grešaka koji garantuju uslugu servisa u takvim uslovima.

Upravljačka ravan

U odnosu na tradicionalnu arhitekturu, u SDN arhitekturi upravljačka ravan je izdvojena od mrežnih uređaja, i fizički ne postoji u njima. Ona se predstavlja kao udaljeni kontroler zaslužan da izračuna, distribuirati i uređuje tabele prosleđivanja za sve rutere u mreži. Iz ovog razloga uređaji (ruteri) samo prosleđuju podatke dok udaljeni kontroler (upravljač) radi sa tabelama prosleđivanja i na taj način odlučuje gde će i šta biti poslato. Ovim se ističe centralizovani pristup SDN arhitekture mreža [9].

Ovakav kontroler može da se nalazi na nekoj sigurnoj lokaciji sa moćnim računarskim kapacitetom za obradu, može da bude deo velikog centra podataka sa jedinicama za analitičku obradu svih prikupljenih podataka koje će zatim koristiti prilikom donošenja odluka o tome kako tabela treba da izgleda. Administratori ove mreže imaju uvid u njeno globalno stanje, zagušenja, greške i čitav niz drugih faktora. U oblasti saobraćaja ovakav način upravljanja iskazuje jasne prednosti u odnosu na tradicionalnu arhitekturu gde globalni uvid nije moguć zbog prirode mreže.

U opštem slučaju upravljačku ravan možemo podeliti na dve komponente [9] - kontrolera i mrežne upravljačke aplikacije. Budući da pomenuti autori posmatraju SDN arhitekturu u dva sloja, ovde će biti obraćena pažnja na kontroler. Pomenuti autori zadatke kontrolera raspoređuju u tri sloja:

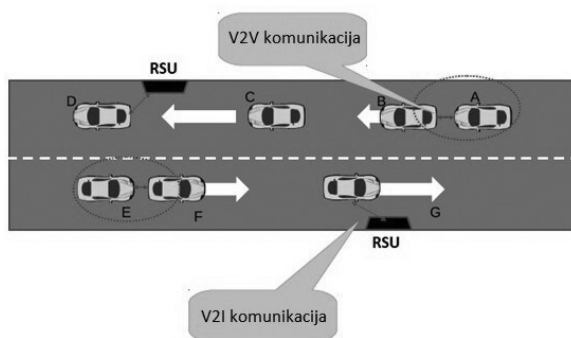
- 1. Komunikacioni sloj:** koji opisuje komunikaciju između kontrolera i mrežnog uređaja koji se kontroliše. U ovu svrhu potreban je protokol koji će prenositi informacije od kontrolera do uređaja. Analogno tome, uređaj mora kroz takav protokol da obaveštava kontroler o događajima u svom okruženju i da na taj način kontroler dobija uvid u sliku stanja mreže u realnom vremenu. Ovakav protokol se smatram najnižim nivoom u arhitekturi kontrolera, pa se naziva još i interfejsom južnog prolaza (*eng.* Southbound Interface), budući da je direktno odgovoran za komunikaciju sa uređajima povezanim na mrežu.
- 2. Sloj za upravljanje stanjem na čitavoj mreži:** Informacije koje se prikupljaju iz čitave mreže se čuvaju i vrši se njihova analiza. Statistički modeli, optimalne rute rutiranja paketa odnosno tabele prosleđivanja, informacije o neispravnim uređajima u mreži, odziv, dostupan protokol, sve ove i druge informacije koje se dobijaju od uređaja iz mreže se grupišu i na osnovu njih donose odluke o tome kako urediti stanje u svakom delu mreže. Ovo je ključno za obezbeđivanje već pomenute fleksibilnosti mreže i njene sposobnosti da se adaptira promenama izazvanim aktivnostima iz okruženja.
- 3. Interfejs do sloja mrežnih upravljačkih aplikacija:** omogućava aplikacijama iz sloja mrežnih upravljačkih aplikacijama da putem *API* poziva dobijaju uvid u stanje mreže, preduzimaju akcije za rešavanje nastalih problema, dobijaju obaveštenja o događajima u realnom vremenu i slično. Interfejs se naziva još i interfejs severnog prolaza (*eng.* Northbound Interface) budući da se nalazi na najvišem nivou arhitekture kontrolera i direktno je odgovoran za komunikaciju sa slojem mrežnih

upravljačkih aplikacija iznad. Ovak *API* je moguće razviti na razne načine, od kojih je najzastupljeniji pristup sa REST arhitekturom (*eng.* Representational State Transfer) zbog svoje univerzalnosti, poznat i kao *RESTful API* dizajn.

5. VANET

Specifično za saobraćaj, razvijene su VANET (*eng.* Vehicular Ad Hoc network) mreže [13] koje služe da povežu grupu vozila u saobraćaju, i omoguće im da razmenjuju informacije međusobno bez centralizovanog posrednika. Upotrebnost vrednost ovakve mreže se jasno vidi u situacijama kada je ugrožen život učesnika u saobraćaju u ruralnim područjima.

VANET mreže su odgovorne za komunikaciju između vozila u pokretu u različitom okruženju i uslovima, što uslozjava njihovu implementaciju. Vozilo može da komunicira direktno sa drugim vozilom (*eng.* Vehicle to Vehicle, *skraćeno* V2V) ili sa objektima infrastrukture (*eng.* Road Side Unit, *skraćeno* RSU) prisutnim duž puta kojim se vozilo kreće (*eng.* Vehicle to Infrastructure, *skraćeno* V2I).



Slika 5.1. VANET mreža

Međutim, za uspešnu primenu VANET mreže, potrebna je adekvatna infrastruktura i sposobnost samih vozila da nose glavni teret pouzdane razmene informacija. Kao što pomenuti autori obrazlažu, svako vozilo postaje deo mreže i kontroliše komunikaciju na mreži uz svoje zahteve za komunikacijom. Napredni protokoli komunikacije, pouzdan rad i bezbednost su imperativ za pouzdanu VANET mrežu.

VANET (*eng.* Vehicular Ad Hoc network) mreže [14] su omogućile postizanje komunikacije između vozila na putu i ostalih učesnika u saobraćaju, signalizaciji, i ostalih uređaja montiranih na putnoj infrastrukturi, portalima i stubovima. Problem koji se nazire je potencijalna velika količina podataka koja bi mogla da učini mrežu neupotrebljivom, budući da mreže pete generacije omogućavaju uređajima da razmenjuju veliki obim podataka po značajno većim brzinama u odnosu na prethodne generacije. Koliko god mreža bila brza i napredna, sama količina mrežnog saobraćaja bi potencijalno ugrozila funkcionisanje čitave mreže.

VANET (*eng.* Vehicular Ad-hoc NETWORKS) mreže su specifične jednokratne vrste mreža u kojima se vozila u pokretu međusobno povezuju bežičnim putem i razmenjuju informaci-

je od značaja. Ukoliko u kontekstu mreže posmatramo vozila kao čvorove (*eng.* Nodes), možemo da smatramo da će se bilo koji podatak koji je poslat u mrežu propagirati do svakog čvora koji je njen deo. Mreža je otvorenog tipa, odnosno svaki čvor je slobodan da se pridruži mreži ili je napusti u svakom trenutku bez ograničenja. Ove mreže igraju ključnu ulogu unutar Inteligentnih Transportnih Sistema (*eng.* Intelligent Transport Systems) budući da vozila generišu podatke od značaja za ove sisteme, međusobno ih dele i propagiraju kroz mrežu [14].

VANET mreže su derivat MANET (*eng.* Mobile Ad-hoc NETWORK) mreža [14]. MANET mrežu čine čvorovi koji komuniciraju bez posredstva neke centralne mreže i svaki čvor ima sposobnost da se samostalno na nju povezuje, sa njom komunicira i da je napušta [15].

Autori [14] ukazuju na nekoliko faktora koji karakterišu VANET mrežu:

- **Promenljiva topologija mreže:** brzina i smer kretanja vozila u saobraćaju se često menja, te se topologija mreže u vremenu stalno i brzo menja.
- **Naizmenično povezivanje vozila:** veza između vozila se konstantno menja, zbog promenljive topologije mreže veza može biti uspostavljena ili prekinuta u svakom trenutku dovodeći do dalje promene topologije.
- **Obrasci kretanja:** vozila u saobraćaju prate pravila signalizacije na putu. Ova signalizacija uslovljava stvaranje obrazaca kretanja vozila na putu koji su od značaja za VANET mrežu. Rutiranje unutar mreže se oslanja na njih.
- **Neograničena snaga i kapacitet skladištenja podataka:** pretpostavka nad kojom se zasniva VANET mreža je da svaki čvor koji je čini nema ograničenja svojih dostupnih resursa, te se podaci slobodno dele kroz mrežu bez ikakvih preduslova.
- **Senzori na vozilu:** pretpostavlja se da na vozilu postoje senzori koji generišu informacije od značaja za mrežu, koji se zatim kroz nju propagiraju.

Učesnike u VANET mreži autori [16] dele na sledeća tri domena, među kojima se komunikacija odvija odozgo na dole odnosno obrnuto:

1. **Domen mobilnih uređaja:** u koji spadaju vozila učesnici u saobraćaju kao i mobilni uređaji putnika u vozilu poput telefona.
2. **Domen infrastrukture:** čini ga postojeća statična infrastruktura pored i u okolini puta kao što je saobraćajna signalizacija. Takođe, deo ove infrastrukture su i centralna mesta obrade podataka i upravljanja mrežom na udaljenoj lokaciji.
3. **Opšti domen:** sva ostala infrastruktura koja posredno ili neposredno pruža resurse VANET mreži spada u ovaj domen. Ovo su uglavnom serveri, računari i mrežna oprema.

Protokoli VANET mreže su u skladu sa njenom prirodom, omogućavaju čvorovima mreže da emituju podatke svima (*eng.* Broadcast), ili određenom uređaju i to najčešće putem skokova gde se drugi čvorovi ponašaju kao prenosnici podataka do ciljnog vozila (*eng.* Unicast). Od izuzetnog značaja za VANET mreže su i četiri modela komunikacije njenih učesnika [14]:

- 1. Komunikacija unutar vozila:** ovde je reč o prikupljanju podataka o događajima unutar samog vozila, poput stanja motora, zdravstvenog stanja vozača i putnika i slično, bilo preko senzora u samom vozilu ili nekim drugim putem. Primitimo značaj ovog modela u kontekstu bezbednosti u saobraćaju.
- 2. Međusobna komunikacija vozila - V2V:** (*eng.* Vehicle to Vehicle communication) predstavlja direktnu komunikaciju između vozila tokom vožnje. Ovaj način komunikacije pruža informacije u realnom vremenu o tome šta se dešava u okruženju vozila kao i o tome kakvo je njegovo stanje. Na taj način, sva vozila u blizini koja učestvuju u ovakvoj komunikaciji imaju trenutni uvid u stanje svog okruženja, i vozač postaje svestan događaja koje verovatno nije mogao samostalno da uoči.
- 3. Komunikacija između vozila i infrastrukture - V2I:** (*eng.* Vehicle-to-road infrastructure) vozila tokom vožnje ostvaruju vezu sa fiksno postavljenim uređajima pored puta. Ovi uređaji vozilu pružaju informacije o globalnom stanju šire deonice puta, kao što je vremenska prognoza na teritoriji u neposrednoj blizini. Takođe, ukoliko vozilo nailazi na deonicu gde su radovi na putu, gde je crna tačka, ili mestu gde se desila saobraćajna nezgoda, uređaj će obavestiti vozilo o tome i vozaču pružiti preporuke kako da se ponaša, kome može da se obrati u slučaju problema i slično.
- 4. Komunikacija vozila sa oblakom - V2B:** (*eng.* Vehicle-to-broadband cloud) centralizovani deo mreže prikuplja podatke u centre podataka, zatim te podatke zajedno sa činjenicama zaključenim njihovom obradom nudi u okviru servisa u oblaku. Ovo je još jedan način komunikacije koje vozilo može da ostvari i time poboljša svoj uvid u stanje na putu. Takođe, omogućava lakšu komunikaciju između vozila na većim udaljenostima kao i praćenje pozicije vozila. Ova komunikacija se ostvaruje putem mobilnih mreža (3G, 4G, 5G).

6. PRIMENA SDN ARHITEKTURE U 5G VANET MREŽAMA

SDN arhitektura u 5G VANET mrežama je slojevita. Cilj takve arhitekture je iskorišćavanje pogodnosti koju pruža SDN u ovakvom okruženju. Mozak arhitekture je već pomenuti SDN kontroler koji uspostavlja kontrolu nad čitavom mrežom. Autori [5] pružaju detaljan opis arhitekture koji će biti prikazan u nastavku.

Mreža je sačinjena od makro ćelija i mikro ćelija sa pripadajućim baznim stanicama, pristupnim stanicama i drugim uređajima odnosno jedinicama mrežne infrastrukture. Njihov rad je u potpunosti kontrolisan od strane centralizovanog kontrolera. Kompletna upravljačka logika činilaca infrastrukture mreže (uređaja, baznih i pristupnih stanica i slično) je premeštena u viši sloj, odnosno SDN upravljačku ravan. Na ovaj način je postignuta pomenuta globalna kontrola mreže.

Pored sposobnosti napredne kontrole, ističe se i mogućnost uspostavljanja novih funkcija mreže poput upravljanja saobraćajem i adaptivnog grupisanja vozila u saobraćaju koje se na-

meće kao jedno od rešenja za potencijalne probleme prilikom omogućavanja prethodnog. Veza sa centralizovanim kontrolerom mora biti najbolja moguća u svakom pogledu, stoga se u tu svrhu uspostavljaju veze putem kablova sa optičkim vlaknima (*eng.* Fiber Optic Links).

Na vrhu arhitekture je SDN odnosno kontroler. Zadužen je za politiku mreže, poput autentifikacije, upravljanja saobraćajem i slično. Kontroler poseduje globalnu bazu podataka koja sadrži podatke o svim događajima u mreži kao i grupama vozila koja su njen deo. Ova baza se ažurira podacima iz nižih slojeva u realnom vremenu i omogućava kontroleru da reguliše rad mreže ažuriranjem njene politike, bilo reagovanjem na događaje ili proaktivno. Uvidom u globalno stanje mreže i postojećim grupama (klasterima), moguća je realizacija adaptivnog grupisanja vozila (adaptivne klasterizacije) u saobraćaju o čemu će biti reči u zasebnom poglavlju.

U sloju ispod, bazne stanice i pristupne tačke pored svoje primarne svrhe uspostave veze sa vozilima poseduju lokalnu bazu podataka kao i aplikacioni modul. Ova baza omogućava baznoj stanici detaljan uvid u stanje njene pripadajuće ćelije, odnosno njenog opterećenja. Uz pomoć tog uvida, bazna stanica može lokalno da donosi odluke vezane za svoj rad. Ono što je bitno za VANET i adaptivno grupisanje vozila, lokalna baza podataka sakuplja podatke o vozilima koja se nalaze u ćeliji, postojećim klasterima, lokaciji i slično. Ti podaci se zatim prosleđuju globalnoj bazi. Primitimo dinamičnu prirodu navedenih podataka, budući da se oni menjaju svakim ulaskom odnosno izlaskom vozila iz oblasti koju obuhvata ćelija, kao i menjanjem klastera unutar ćelije.

U kontekstu lokalnog odlučivanja, bazne stanice vode računa o dešavanjima koja nisu vezana za rad centralnog kontrolera, te je na taj način kontroler opterećen samo onim zaduženjima koja su za njega prvobitno i bila namenjena.

7. ADAPTIVNO GRUPISANJE

SDN 5G VANET mrežna arhitektura omogućava kontroleru globalni uvid u stanje i trenutnu topologiju mreže na način na koji to objašnjavaju autori [5], što će biti opisano u nastavku.

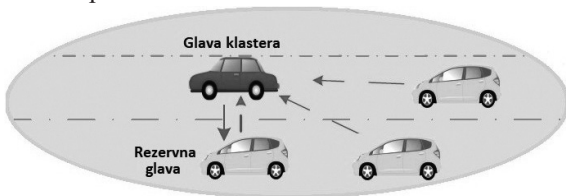
Kontroler može da ažurira politike mreže i donosi odluke, i time upravlja klasterima vozila adaptivno na osnovu podataka u realnom vremenu koje stižu u globalnu bazu podataka. Bitno je napomenuti da bazna stanica sa klasterom komunicira preko glavnog čvora klastera, takozvanom glavom klastera (*eng.* Cluster Head - CH). Ovo smanjuje opterećenje bazne stanice, budući da se svi relevantni podaci o vozilima unutar klastera prosleđuju kroz isti kanal, pa samim tim kontroler ima uvid u njih i može delovati u skladu sa potrebama. Takođe, kontroler je u stanju da predviđanjem donosi odluke unapred, i o njima izveštava bazne stanice na koje će se vozila povezati (nakon što napuste oblast delovanja trenutne bazne stanice). Na taj način stanice su spremne da prihvate nadolazeći saobraćaj sa minimalnim opterećenjem.

U uslovima slabog intenziteta saobraćaja, adaptivna priroda ovakvog grupisanja vozila omogućava da se ne formiraju klasteri, te vozila (i putnici) mogu da uživaju punu moć i mo-

gućnosti koje pruža neopterećena 5G mreža. Za ovakvu odluku se u obzir može uzeti broj vozila kao i pretpostavljena veličina agregiranog saobraćaja koju vozila stvaraju, odnosno zahtevan minimalni prag odziva mreže.

Da bi klaster funkcionisao najbolje moguće i da bi veza sa baznom stanicom bila optimalna, potrebno je odabrati najpogodnije vozilo za ulogu glave klastera. Za mrežu, kandidati za glavu klastera su vozila koja poseduju uređaj koji može da se poveže na mobilnu mrežu. Od tih kandidata, biće odabrani oni koji najviše odgovaraju zahtevima. Sva ostala vozila u novonastalom klasteru će biti povezana na glavu klastera, i svaku komunikaciju će obavljati putem glave kao posrednika. Iako načelno posmatramo komunikaciju sa glavom klastera takođe putem uređaja sa 5G konekcijom, ovo nije striktan zahtev, i moguće je da se takva komunikacija zameni sa nekim drugim tipom bežične veze i pripadajućim protokolima. Primer klastera sa pomenutim karakteristikama je prikazan na slici 7.1.

Autor [17] predlaže da se pored odabira glave klastera izabere i rezervna glava koja će da čuva kopije poslatih podataka i koja će biti spremna da preuzme ulogu glave klastera ako za to bude bilo potrebe.



Slika 7.1 Primer klastera

7.1. Primena adaptivnog grupisanja vozila u saobraćaju

Primena procesa adaptivnog grupisanja vozila se izvodi u četiri uzastopna koraka u čiju svrhu se koriste tri raspoložive merljive veličine [5]:

1. Prilazni ugao vozila - φ
2. Jačina primljenog signala - JPS
3. Razmak između vozila - RIV

U trenutku kada mreža postane opterećena pokreće se prvi korak i početno grupisanje. Ovo grupisanje nije precizno, već se vrši po sličnostima prilaznih uglova i jačina primljenih signala nadolazećih vozila. Kontroler, kao što je već pomenuto, obaveštava bazne stanice o nadolazećem saobraćaju i na taj način ih priprema za stvaranje grupa i njihovu adaptaciju u narednim koracima. Pretpostavimo da je ograničenje brzine na putu V_{max} i da signale vozila možemo da podelimo na jednakih uglova od stepeni. Tada svaku grupu (klaster) možemo da opišemo kao [18]:

$$\varphi_a - \varphi_b \leq \frac{360^\circ}{n},$$

$$JPS_a - JPS_b \leq 1 - e^{-\frac{\Delta V}{c}}$$

Gde su:

- a i b - dva različita vozila,
- ΔV - razlika brzine između ta dva vozila,
- c - konstanta koja označava promenljivu snagu 5G signala kada se vozilo brže ili sporije kreće

Drugi korak je formiranje grupe (klastera) vozila. Kandidati za glavu klastera proveravaju razmak između vozila da usklade grupu i kompletiraju njen izgled. To čine uz pomoć liste dobijene iz bazne stanice, koja sadrži grubo sastavljene grupe iz prvog koraka. Iako poseduju informacije o vozilima u okruženju sa međusobnim razmacima u listi, kandidati za glavu klastera utvrđuju međusobnu razdaljinu i samostalno, povećavajući na taj način preciznost izmerenih veličina, ažuriraju listu u slučaju greške. Ukoliko pretpostavimo da su vozila koristila protokol IEEE 802.11p za međusobnu komunikaciju (kao što je već rečeno međusobna komunikacija može da se ostvari putem drugačijeg tipa bežične veze i pripadajućih protokola), razmak između vozila kompletirane grupe je ograničen sa [19]:

$$d \leq MD \cdot (1 - \epsilon)$$

Gde su za IEEE 802.11p:

- MD - maksimalan domet između dva uređaja koja koriste IEEE 802.11p,
- ϵ - broj koji odražava slabljenje bežičnog kanala usled raličitih uticaja.

U trećem koraku je potrebno odrediti ko su glave kompletiranih grupa. Kao što je već pomenuto potrebno je da, ako vozila posmatramo kao čvorove u mreži, glava grupe bude čvor sa najboljim mogućim performansama. Što su bolje performanse, to će bolje članovi grupe moći da obavljaju sopstvenu komunikaciju preko njega kao posrednika. Autori [19] u svom radu pokazuju da se problem odabira glave grupe može svesti na problem linearne optimizacije. Takođe, glava grupe treba da bude ono vozilo čija je brzina približno jednaka prosečnoj brzini cele grupe, jer to ukazuje na potencijalno duži ostanak tog vozila unutar te grupe, te samim tim ono biva pogodno kao njen predstavnik na duži rok. Usled mogućnosti gubitka veze u nepredviđenim situacijama u kojima glava grupe prestaje sa radom, a da bi se zaštitila veza i podaci koji se njom šalju odnosno obezbedila neometana konekcija ostalih članova grupe, autori [5] preporučuju odabir rezervne glave grupe po sličnom principu, koja će omogućiti prevazilaženje odnosno ublažavanje potencijalnih problema u takvim situacijama. Takođe, u slučaju prenošenja uloge glave na neko drugo vozilo, rezervna glava služi da ublaži posledice prenošenja na ostale članove grupe.

Konačno, poslednji korak je sama adaptacija postojećih grupa. Potrebe za adaptacijom su brojne. Stihijska priroda saobraćaja se prenosi i na samu mrežu, te je nužno prilagođavanje klastera novonastalim uslovima da bi se obezbedio njen neometan rad. Bazna stanica vodi računa o tome da li nadolazeće vozilo može da ostane u određenom klasteru duže od utvrđenog graničnog vremena. Ovo procenjeno vreme vozila se računa korišćenjem brzine i prilaznog ugla vozila u odnosu na sredinu grupe. Ukoliko je procena zadovoljavajuća, bazna stanica o njoj obaveštava glavu grupe i nadolazeće vozilo će biti primljeno u nju [19]. Takođe, moguće je i da kapacitet grupe bude blizu maksimuma, a da pritom grupa najviše odgovara dolazećem vozilu. Tada se neko vozilo može odstraniti iz grupe odnosno premestiti u neku drugu grupu, i na taj način dolazećem vozilu ustupiti mesto. Grupa se može smanjivati i deliti, odnosno povećavati po potrebi.

7.2. Adaptivna šema prenosa

Za svako vozilo i njegove putnike odnosno mobilne uređaje, bitan je zadovoljavajući nivo kvaliteta isporučene usluge. Mreža mora da bude sposobna da pruži uslugu u svim uslovima, tako da njeni korisnici ne osećaju posledice opterećenja. Za saobraćaj, ova potreba se ističe kao najveća, budući da se stanje na putu menja u realnom vremenu, te mreža mora da bude sposobna da korisniku pruži informacije u istom vremenu. Stoga, kvalitet mrežnih usluga (*eng.* Quality of Service - QoS) mora biti na visokom nivou. Jasno je da usled opterećenja mreže u uslovima povećanog intenziteta saobraćaja ovaj kvalitet može biti doveden u pitanje. Iz tog razloga je nužno omogućiti mreži da adaptira šemu prenosa podataka da bi svoje resurse koristila optimalno, i obezbedila svoju stabilnost, te samim tim i zadovoljavajući kvalitet svojih usluga.

Moguće rešenje ovog problema je neortogonalna multipleksirana šema modulacije koja je pogodna za promenljive uslove saobraćaja [5]. Treba pomenuti i tradicionalnu ortogonalnu objašnjenju u [20] (ovde neće biti razmatrana) budući da se adaptivnost šeme svodi na odabir između njih, gde se ona koristi u slučajevima manjeg intenziteta saobraćaja. Neortogonalna multipleksirana šema modulacije omogućava istovremenu modulaciju paralelnih tokova podataka jednog uređaja i njihovo preklapanje sa drugim poslatim podacima iz grupe putem popunjavanja praznina u prenosu, postižući na ovaj način veću iskorišćenost dodeljenih resursa [21]. Odluka o adaptaciji se donosi uvidom u kvalitet kanala, kao i upravljanjem prenosne snage odnosno pojačavanjem snage na mestima gde je to potrebno. U početku, glava grupe komunicira sa baznom stanicom putem tradicionalne šeme usled povoljnih saobraćajnih uslova. Ukoliko glava grupe primeti da se obim podataka povećava i prelazi utvrđen granični obim, pokreće se postupak neortogonalne multipleksirane modulacije da bi se povećao kapacitet veze i smanjila prosečna jačina prenosa [5].

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu obrađena je tematika mobilnih mreža, specijalno ukoliko je takva mreža pete generacije u oblasti saobraćaja. Prikazane su mogućnosti koje ona pruža za korisnike, putnike, vozila odnosno bilo koji uređaj koji se na nju poveže.

Ukazano je na to koji problemi mogu ometati rad mreže i kako se može pristupiti njihovom rešavanju. Kao najvažniji potencijalni problem, u više navrata je istaknuto pitanje ugrožavanja bezbednosti učesnika u saobraćaju.

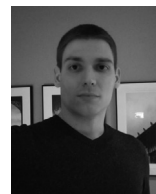
Vodeći se principom da je za pouzdanost i prirodu saobraćaja potrebna centralna kontrola na globalnom nivou, prikazan je SDN pristup zajedno sa svojom arhitekturom koja u ovom slučaju može pružiti adekvatan odgovor. Istaknuta je ključna uloga SDN kontrolera, kao pokretača ovakve arhitekture.

Budući da je mobilna mreža u saobraćaju specifična, obrađena je i VANET mreža kao takva. U više navrata je isticana priroda VANET mreže kao i njena promenljivost zbog konstantnih izmena u topologiji, što navodi do potrebe za kombinacijom SDN arhitekture sa ovakvom mrežom.

Konačno, detaljno je obrađen pristup adaptivnog grupisanja vozila u saobraćaju unutar sada dobro upoznatih SDN VANET mobilnih mreža pete generacije.

9. LITERATURA

- [1] D. Mohr et al. (2016), "Automotive Revolution-Persepective Towards 2030," McKinsey & Co., tech. rep.
- [2] R. N. Mitra et al. (2015), "5G mobile technology: A survey", *ICT Express*, ISSN 2405-9595, Volume 1, Issue 3, pp 132-137.
- [3] 3GPP (2019), Technical Specification Group Services and System Aspects, 3rd Generation Partnership Project, Release 15, *3GPP TR 21.915 V15.0.0 (2019-09)*
- [4] A. Janecek et al. (2015), "The Cellular Network as a Sensor: From Mobile Phone Data to Real-Time Road Traffic Monitoring", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 16(5), 2551-2572.
- [5] X. Duan et al. (2017), "SDN enabled 5G-VANET: Adaptive vehicle clustering and beamformed transmission for aggregated traffic", *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 7, pp. 120-127.
- [6] Foundation, Open Networking (2012), "Software-defined networking: The new norm for networks.", *ONF White Paper*.
- [7] M.-K. Shin et al. (2012), "Software-defined networking (SDN): A reference architecture and open APIs", *Proc. Int. Conf. ICT Converg. (ICTC)*, pp. 360-361.
- [8] K. Benzekki et al. (2016), "Software-defined networking (SDN): a survey", *Security And Communication Networks*, 9: 5803-5833. doi: 10.1002/sec.1737.
- [9] J. F. Kurose et al. (2017), "Computer Networking: A Top-Down Approach", (7th edition), *Pearson Education*.
- [10] Foundation, Linux (2014), "OpenDaylight: a Linux Foundation Collaborative Project", [Online]. Preuzeto sa: <http://www.opendaylight.org>
- [11] N. McKeown et al. (2008), "OpenFlow: enabling innovation in campus networks" *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 38(2):69-74.
- [12] Foundation, Open Networking (2020), Open Networking Foundation Security Working Group. [Online]. Preuzeto sa: <https://www.opennetworking.org>
- [13] S. Rehman et al. (2013), "Vehicular ad-Hoc networks (VANETs)—An overview and challenges". *Journal of Wireless Networking and Communications*, 3, 29-38. 10.5923/j.jwnc.20130303.02.
- [14] R. Tomar et al. (2016), "Vehicular Adhoc Network (VANET) - An Introduction", *International Journal of Control Theory and Applications*, International Science Press, 9 (18), pp.8883-8888.
- [15] P. Ranjan et al. (2011), "Comparative study of vanet and manet routing protocols" In Proceedings of the International Conference on Advanced computing and communication Technologies (ACCT).
- [16] M. W. Maier et al. (2004), "ANSI/IEEE 1471 and systems engineering", *Systems Engineering*.
- [17] A. Al-Fuqaha (2015), "Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications," *IEEE Commun. Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347-76.
- [18] A. Benslimane et al. (2011), "Dynamic Clustering- Based Adaptive Mobile Gateway Management in Integrated VANET-3G Heterogeneous Wireless Networks," *IEEE JSAC*, vol. 29, no. 3, pp. 559-70.
- [19] X. Duan et al. (2016), "SDN Enabled Dual Cluster Head Selection and Adaptive Clustering in 5G-VANET", *IEEE VTC-Fall*, Montreal, Canada, pp. 6-12.
- [20] H. Zaarouï et al. (2016), "Beam Focusing Antenna Array Technology for Non-Stationary Mobility," *IEEE WCNC*, Doha, Qatar, pp. 1-6.
- [21] S. Zhang et al. (2014), "Sparse Code Multiple Access: An Energy Efficient Uplink Approach for 5G Wireless Systems," *IEEE GLOBECOM*, Austin, TX, pp. 4782-87.



Miloš Cvetković, Diplomirao a zatim i masterirao na Fakultetu organizacionih nauka, na smeru Informacioni sistemi i tehnologije, modul Informacione tehnologije. Zaposlen u kompaniji "NCR" na poziciji softverskog inženjera.

Kontakt: miloscvc@gmail.com

Oblast interesovanja: softversko inženjerstvo, web tehnologija, frontend i backend razvoj, razvoj mobilnih aplikacija, i pratećih tehnologija mobilnog računarstva.



dr Miloš Milovanović

Kontakt: milos.milovanovic@mmklab.org

Oblast interesovanja: računarske mreže, internet stvari, mobilno računarstvo