

Primena kognitivnog radija u VANET mrežama

SUZANA D. MILADI, Univerzitet u Istočnom Sarajevu,
Saobraćajni fakultet, Doboj, Bosna i Hercegovina

GORAN Z. MARKOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

MIRJANA D. STOJANOVIĆ, Univerzitet u Beogradu,
Saobraćajni fakultet, Beograd

Pregledni rad

UDC: 654.19

DOI: 10.5937/tehnika1602273M

U radu je predstavljena tehnologija kognitivnog radija i mogućnost njene primene u komunikacionim mrežama za vozila u cilju unapređenja komunikacije između vozila, kao i vozila i putne infrastrukture. Kognitivni radio predstavlja tehnologiju koja, usled promenjenog načina pristupa spektru, omogućava efikasnije iskorišćenje raspoloživog radio-frekvencijskog (RF) spektra. Rad obuhvata pregled aktuelnih pristupa i otvorenih izazova u primeni kognitivnog radija u VANET mrežama sa akcentom na arhitekturu, upravljanje spektrom i obezbeđenje kvaliteta servisa. Iako je tehnologija kognitivnog radija na samom početku razvoja i u ovom trenutku još uvek ne postoji mnogo eksperimentalnih platformi zbog njihove složenosti u implementaciji, nekoliko aktuelnih istraživanja projekata i praktičnih realizacija tehnologije kognitivnog radija u inteligentnim transportnim sistemima predstavljeno je u ovom radu.

Ključne reči: kognitivni radio, CR-VANET, inteligentni transportni sistemi

1. UVOD

Povećanje broja vozila na putevima povećavaju se i zahtevi za unapređenje bezbednosti saobraćaja. U skladu sa ovim zahtevima, u razvoju je dosta novih aplikacija i servisa primenljivih u saobraćaju. Uobičajeni primeri su sistemi za izbegavanje sudara, povećanje saobraćajne bezbednosti saobraćaja, razmena multimedijalnih sadržaja, prikupljanje podataka u sinergiji sa bezžičnim senzorskim mrežama, komunikacija vozilo-vozilo (V2V) itd. Sistemi i aplikacije za vozila u suštini obuhvataju tri kategorije: sistemi aktivne bezbednosti (za izbegavanje saobraćajnih nezgoda i prepoznavanje prepreka na putu), sistemi za upravljanje i monitoring saobraćaja i aplikacije zabavnog karaktera.

VANET mreže su potkategorija mobilnih ad hoc mreža u kojima vozila sa odgovarajućom opremom i određena oprema duž saobraćajnice predstavljaju komunikacione čvorove koji razmenjuju informacije. Informacije se odnose na različita stanja u saobraćaju, bezbednosna upozorenja i slično.

Adresa autora: Suzana Miladi, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Saobraćajni fakultet, Doboj, Vojvode Mišića 52, Bosna i Hercegovina

Rad primljen: 22.01.2016.

Rad prihvaćen: 05.02.2016.

Od posebnog značaja za inteligentne transportne sisteme (Intelligent Transportation Systems, ITS) je standard IEEE 802.11p koji se posebno razvija u okviru komunikacionih sistema kratkog dometa (Dedicated Short Range Communications, DSRC) kao standard za bezžični pristup u vozilima u pokretu. Koristi sledeće opsege u estanosti: frekvencijski opseg širine 75 MHz: 5.850–5.925 GHz (SAD) od 2004. god. i opseg širine 30 MHz: 5.875–5.905 GHz (EU/ETSI) usvojen 2008. god. Stalni rast aplikacija za vozila baziranih na standardu 802.11p, posebno u urbanim sredinama, dovodi do povećanog korišćenja raspoloživog opsega, što značajno degradira kvalitet komunikacije i izaziva zagušenja u komunikacionim mrežama za vozila.

Kognitivni radio (Cognitive Radio, CR) predstavlja tehnologiju koja, usled promenjenog načina pristupa spektru, omogućava bolje iskorišćenje spektra. U ovom konceptu je sekundarnim korisnicima dozvoljeno da koriste delove RF spektra koji su prethodno dodeljeni na korišćenje licenciranim (primarnim) korisnicima, pod uslovom da komunikacija na primarnom linku ne bude kompromitovana. Da bi se ovo ostvarilo, sekundarni link mora da ima kognitivna svojstva, tj. mora da ima sposobnost učenja iz okruženja i adaptivnog rekonfigurisanja parametara linka u realnom vremenu [1]. Tehnologija kognitivnog radija u VANET

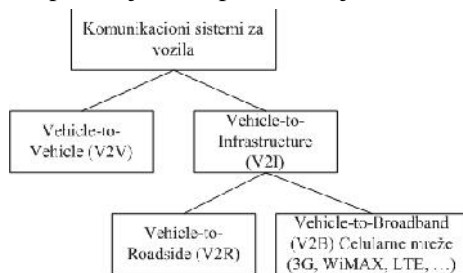
mrežama je oblast koja se trenutno veoma intenzivno razvija i poznata je pod nazivom CR-VANET (Cognitive Radio for Vehicular Ad Hoc Networks).

Cilj ovog rada je da prikaže osnovne principe tehnologije kognitivnog radija sa akcentom na primenama u VANET mrežama, kao i da ukaže na aktuelna istraživanja koja su prisutna u ovoj oblasti. Rad je organizovan na sledeći način. Drugo poglavlje prikazuje osnovni koncept i arhitekturu VANET mreža. U trećem poglavlju objašnjena je tehnologija kognitivnog radija i predstavljeni su ključni motivi za njenu implementaciju u VANET mrežama. Četvrto poglavlje prikazuje aktuelna dostignuća u razvoju CR-VANET mreža. Nekoliko aktuelnih istraživanja projekata odnosno praktičnih realizacija kognitivnog radija u okviru inteligentnih transportnih sistema prikazani su u petom poglavlju, dok šesto poglavlje predstavlja zaključak rada.

2. VANET MREŽE

Osnovni cilj ITS sistema jeste povećanje bezbednosti saobraćaja, pouzdanosti, efikasnosti i kvaliteta komunikacije između vozila i transportne infrastrukture kroz primenu informaciono-komunikacionih tehnologija (ICT). Istovremeno, cilj ITS-a jeste obezbediti održiv transport kreiranjem naprednih aplikacija i usluga za optimizaciju vremena transporta i potrošnje energije.

VANET mreže pripadaju mobilnim ad hoc mrežama (MANET) i omogućavaju komunikaciju između samih vozila kao i komunikaciju između vozila i putne infrastrukture. Karakteristične ih velika mobilnost vozila, česte promene topologije i jednokratne interakcije, kao i autonomnost vozila. Komunikacioni sistemi za vozila (Vehicular Communication Systems, VCS) mogu se generalno podeliti na: V2V (Vehicle-to-Vehicle) i V2I (Vehicle-to-Infrastructure) tip komunikacije (slika 1). V2I se dalje dele na V2R (Vehicle-to-Roadside) i komunikacije korišćenjem postojećih mobilnih celularnih mreža. U V2R tipu komunikacije, informacije se razmenjuju između opreme duž puta ili RSU (Road Side Unit) jedinica i opreme u vozilu odnosno OBU (Onboard Unit) jedinica. U poređenju sa V2I komunikacijama, V2V komunikacije su relativno kompleksnije za implementaciju.

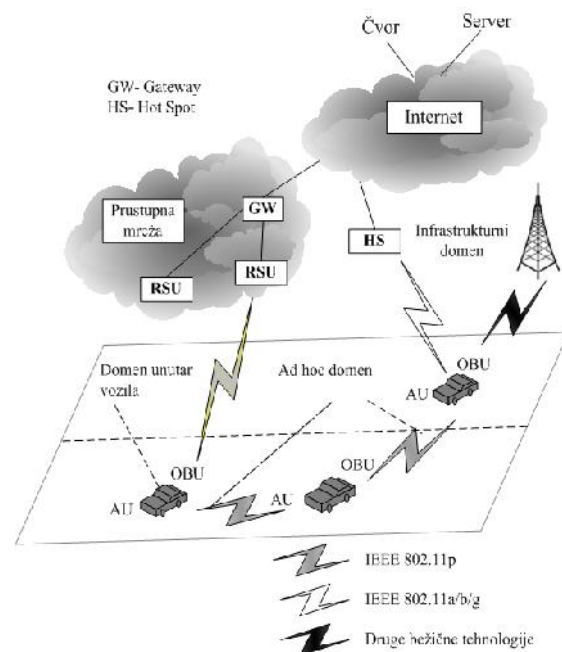


Slika 1 – Tipovi VCS komunikacija

Arhitekturu VANET mreža čine tri osnovna elementa: jedinica koja koristi aplikaciju (Application Unit, AU), OBU i RSU jedinice. OBU jedinica se sastoji od transpondera postavljenog na krovu vozila, antene i komunikacionog kablja. To omogućava vozilu da distribuira identifikacione informacije o svojoj trenutnoj lokaciji (GPS) i brzini kretanja i dobija podatke o pozicijama svih ostalih vozila opremljenih ovom opremom. OBU se povezuje sa ostalim OBU i RSU jedinicama preko bežičnog linka i frekvencijskog kanala baziranog na standardu 802.11p i obezbeđuje komunikacione servise AU jedinici. Osnovne funkcije OBU jedinice su bežični radio pristup, ad hoc rutiranje, kontrola zagušenja mreže, pouzdan prenos poruka, sigurnost i IP mobilnost. AU jedinica podrazumeva uređaj unutar samog vozila koji koristi aplikacije obezbeđene od strane provajdera preko OBU jedinice. RSU jedinica je uređaj obično fiksiran pored puta ili na namenskim lokacijama kao što su raskrsnice i parking prostori. Svaka RSU jedinica je opremljena bežičnom tehnologijom tako da može emitovati/primati podatke ka/od vozila koja kraj njih prolaze.

Komunikacioni domeni u VANET mrežama, prikazani na slici 2, obuhvataju [2]:

- In-vehicle domen (unutar vozila) – komunikacija između različitih elektronskih uređaja u vozilima (senzori i sl.) odnosno komunikacija između OBU i AU jedinica.
- Ad hoc domen – komunikacija između OBU jedinica i RSU jedinica duž puta.
- Infrastrukturni domen – razmena informacija između RSU jedinica korišćenjem postojećih bežičnih (celularne) i žičane (optičke) infrastrukture.



Slika 2 – Komunikacioni domeni VANET mreža [2]

U pore enju sa ostalim MANET mrežama, VANET mreže poseduju slede e inherentne karakteristike:

- Predvidiva mobilnost – kretanje vozila ograni eno je topologijom puteva i zahtevima za poštovanjem saobra ajne signalizacije. Dakle, kretanje vozila kao vorova mreže, nije slu ajnog karaktera.
- Napajanje nije kriti an aspekt - vozila imaju mogućnost stalnog napajanja OBU jedinica preko dugotrajnih baterija (akumulatora).
- Promenljivo optere enje mreže – zavisi od gustine saobra aja.
- Brze promene topologije mreže – posledica su velikih brzina kretanja vozila, posebno na autoputevima. Na trajanje (kontinuitet) veze izme u vozila uti e domet radio komunikacije i smer kretanja vozila.
- Visoke ra unarske sposobnosti – pošto su u VANET mrežama vorovi zapravo vozila, ona se mogu opremiti dovoljnim brojem senzora i resursa kao što su procesori, veliki memorijski kapaciteti, napredne antenske tehnike, GPS ure aji i sl.

Pred VANET mreže postavljaju se brojni izazovi sa aspekta performansi mreže, pouzdanosti i sigurnosti komunikacije, kao i kvaliteta servisa (Quality of Service, QoS) koji zavisi od brojnih parametara ukljuuju i propusni opseg, kašnjenje, džiter i dr.

3. TEHNOLOGIJA KOGNITIVNOG RADIJA

3.1. Kognitivni radio

Potreba za efikasnim koriš enjem dostupnog RF spektra postaje izraženija zbog novih servisa i prenosa multimedijalnih sadržaja kao i zbog rešavanja problema elektromagnetne kompatibilnosti. Široko prihva enu definiciju kognitivnog radija dala je Federalna komisija za komunikacije SAD, po kojoj je kognitivni radio beži ni ure aj, ili mreža, koji dinami ki detektuje neiskoriš ene delove radio spektra i koristi ih tako da ne narušava rad primarnih korisnika [3]. Dakle, osnovna ideja kognitivnog radija podrazumeva promenu na ina koriš enja ili preciznije re eno na ina dodele radio spektra. Iako je ve ina atraktivnijih frekvencijskih opsega ve dodeljena na koriš enje licenciranim korisnicima, opsežna merenja i istraživanja [4] pokazala su da je aktivnost ovih korisnika zna ajna samo u odre enim opsezima odnosno nivo iskoriš enosti ve dodeljenih frekvencijskih opsega (radio kanala) nije zadovoljavaju i zbog postojanja velikog broja praznina u spektru, te je neophodno racionalnije i bolje koristiti postoje i spektar. Spektralna šupljina (spectrum hole) je frekvencijski opseg dodeljen primarnom korisniku (korisnik koji ima prednost pri koriš enju radio kanala) koji ga u datom trenutku i na

odre enoj geografskoj lokaciji ne koristi. Najopsežnija merenja iskoriš enosti spektra, a koja uslovno mogu da posluže kao referentna ta ka za neke druge sredine, obavljena su u SAD u okviru DARPA neXt Generation (XG) projekta [5], koji je jedan od predvodnika razvoja kognitivnog radija.

Koncept kognitivnog radija podrazumeva da sekundarni korisnici koriste delove spektra koji su prethodno dodeljeni na koriš enje licenciranim (primarnim) korisnicima, u trenucima kada u datom opsegu ne postoji aktivan signal primarnog korisnika [1]. Iz tog razloga sekundarni link mora da ima kognitivna svojstva, tj. mora da ima sposobnost u enja iz okruženja i adaptivnog rekonfigurisanja odre enih radnih parametara linka u realnom vremenu, kao što su predajna snaga, u estanost nosioca, tip modulacije i dr, odnosno prilago ava se slu ajnim varijacijama dolaznog signala.

Prema tome, neophodno je vršiti detekciju prisustva signala primarnog korisnika na datoj u estanosti i lokaciji od interesa (tehnika “oslušivanja spektra”- spectrum sensing). Slobodni frekvencijski opsezi ili spektralne šupljine dinami ki menjaju svoj položaj u radio-frekvencijskom spektru tokom vremena, pa efikasna tehnika oslušivanja spektra treba da omogu i detekciju prisustva signala primarnih korisnika u širokom opsegu u estanosti u realnom vremenu.

Pošto se i položaj spektralnih šupljina u prostoru tako e dinami ki menja tokom vremena, a prisustvo ve eg broja primarnih korisnika nije mogu e detektovati pomo u samo jedne antene, nadgledanje/oslušivanje spektra predstavlja ozbiljan tehni ki problem.

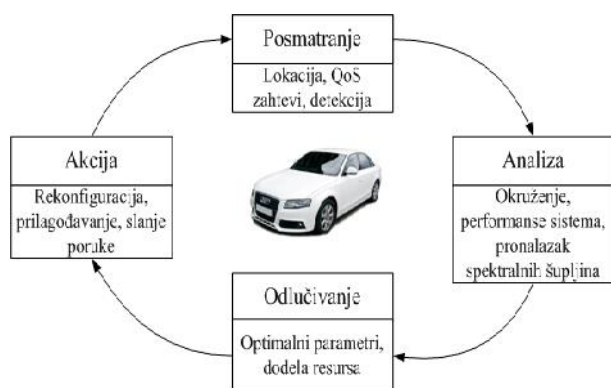
Kognitivni radio unapre uje tehnologiju postojećeg radija integracijom vešta ke inteligencije i softverski definisanog radija (SDR) [6]. Softverski definisan radio može se opisati kao primopredajnik u kojem se frekvencijski opseg, širina kanala, zaštitno kodovanje, kao i modulacioni postupci zajedno sa upravljanjem radio resursima izvode u softverskom alatu na upravlja koj jedinici. CR karakterišu kognitivne sposobnosti i rekonfigurabilnost.

Kognitivne sposobnosti omogu avaju detekciju i prikupljanje informacija, u enje, pouzdanost, a rekonfigurabilnost koju unosi sam SDR kao platforma omogu ava optimalno prilago avanje radnih parametara u funkciji detektovane informacije. Radnje koje kognitivni radio može preduzeti pri svakoj novoj spoljnoj pobudi predstavljaju jedan kognitivni ciklus. Kognitivni ciklus u VANET mrežama (slika 3) obuhvata etiri osnovne faze: posmatranje (o itavanje), analizu, odlu ivanje i akciju, a razlikuje se od osnovnog kognitivnog ciklusa u CR mrežama po okruženju, odnosno velikoj mobilnosti vozila.

3.2. Motivi za primenu kognitivnog radija u VANET mrežama

ITS i komunikacioni sistemi za vozila moraju rešiti nekoliko tehničkih izazova. Protokoli i aplikacije namenjeni za komunikacije između vozila moraju uzeti u obzir nekoliko važnih faktora, uključujući i komunikacionu infrastrukturu, putnu infrastrukturu, gustinu saobraćajnog toka, zahteve korisnika, tipove mreža za vozila, kao i raspoloživi RF spektar.

Potrebni su novi protokoli koji će podržavati brze promene okruženja, kvalitet servisa, robustnost, veliki propusni opseg određenih aplikacija, kao što je video streaming, zatim dodela dodatnog opsega u slučaju zagušenja itd. Imaju u vidu da kognitivni radio može da odgovori na ove zahteve, u nastavku rada detaljnije su objašnjeni ključni motivi za implementaciju CR tehnologije u VANET mrežama.



Slika 3 – CR-VANET kognitivni ciklus

QoS zahtevi – posebno su značajni za aplikacije koje se odnose na bezbednost saobraćaja. Sa aspekta radio tehnologija, zahtevani QoS je mnogo lakše obezbediti kada imamo dovoljno propusnog opsega, što direktno utiče na manje kašnjenje i visoku pouzdanost.

Takođe, veoma važni su i mehanizmi kojima se razdvajaju tokovi saobraćaja višeg i nižeg prioriteta. Osnovni spektar dodeljen za 802.11p komunikacije treba koristiti za tokove višeg prioriteta, a kognitivni za tokove nižeg prioriteta.

Fleksibilnost – fleksibilnost koju nudi kognitivni radio je veoma važna zbog komunikacije u raznim saobraćajnim scenarijima. U specifičnim (hitnim) situacijama, CR se može rekonfigurirati u realnom vremenu da radi u takvom režimu da se minimizira BER (Bit Error Rate) i uticaj interferencija.

Veći broj spektralnih šupljina na autoputevima – pošto su autoputevi uglavnom na otvorenom prostoru postoje velike mogućnosti za pronalaskom spektralnih šupljina koje se mogu dodeliti sekundarnim korisnicima, što uobičajeno nije slučaj u urbanim područjima zbog velike populacije korisnika (gustine vozila).

Dovoljno prostora i napajanja u vozilima – vozila nisu ograničena prostorom (veličina OBU jedinica) i napajanjem, za razliku od pametnih telefona i drugih prenosnih uređaja, pa samim tim određene mogućiosti kognitivnog radija postaju izraženije. Kompromis između troškova i mogućnosti kognitivnog radija se postiže optimalnim dizajnom onboard uređaja.

Reprogramabilna telematika – pošto se vrlo često predlažu i implementiraju novi komunikacioni standardi (DVB-H, DVB-T2, WiMaX, 802.11p, UMTS, HSDPA, LTE i dr), kao i činjenice da svaka zemlja podržava različite standarde, a vozači i putnici nastoje da koriste najnovije tehnologije, reprogramabilne mogućiosti kognitivnog radija zajedno sa SDR-om omogućiavaju nadogradnju i ažuriranje softvera, čime se omogućiava fleksibilna izmena osnovnih parametara kako bi se radio okruženje prilagodilo novim zahtevima i uslovima u kanalu.

4. AKTUELNA DOSTIGNUTA U CR-VANET MREŽAMA

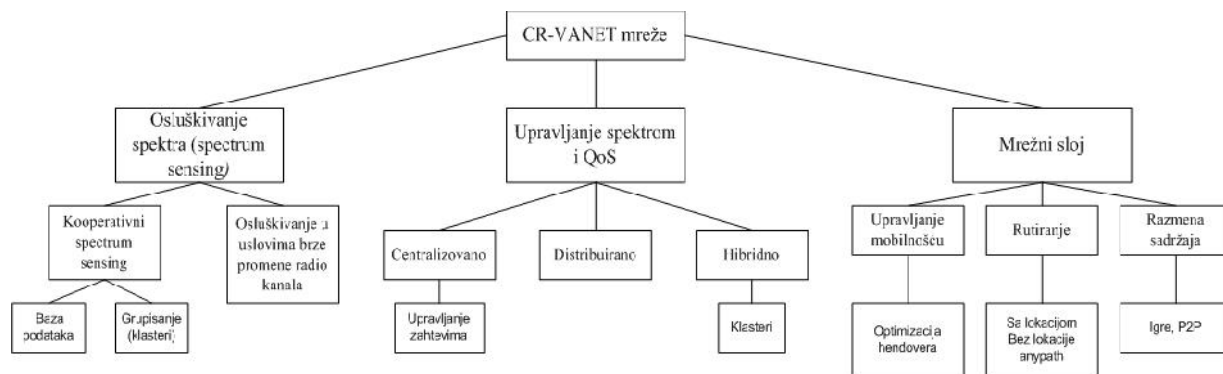
Istraživanja o primeni CR u VANET mrežama su još uvek u početnoj fazi. Tehnologija kognitivnog radija predstavlja obećavajuće rešenje prilikom rešavanja problema nedostatka opsega. Komunikacija između vozila se može unaprediti usled dinamičke dodele spektra, adaptivnog softverski definisanog radija i kooperativne komunikacije. Rešenja koja su generalno predložena za CR mreže se ne mogu direktno primeniti na CR-VANET mreže, pošto se u obzir moraju uzeti specifičnosti okruženja, velika mobilnost vozila, dinamička promena topologije, a samim tim CR scenario nije statički. Na slici 4 prikazani su ključni aspekti u razvoju budućih CR-VANET mreža.

4.1. Arhitektura

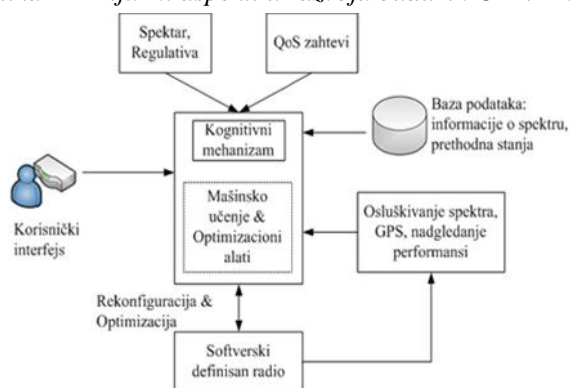
Mrežna arhitektura CR-VANET mreža sastoji se od OBU (CPU) jedinica, RSU jedinica i baznih stanica mrežnog operatora. Opštu arhitekturu CR-VANET mreža predložili su autori u [6], a obuhvata funkcionalne blokove prikazane na slici 5.

Kognitivni mehanizam (nadgledano učenje, odlučivanje, podešavanje parametara) koristi informacije iz realnog vremena dobijene preko senzora i podataka iz prošlosti i preslikava podatke iz baze podataka kako bi se prilagodio na osnovu sadašnjeg i prošlog stanja. Takođe, kognitivni mehanizam kontroliše rad softverski definisanog radija kroz optimizaciju parametara prenosa i odlučivanje vezano za upotrebu i upravljanje spektrom.

Prilikom podešavanja parametara mogu se koristiti određeni metaheuristički pristupi za optimizaciju posmatrane funkcije cilja (kao npr. maksimizacija propusnog opsega, minimizacija BER i sl.).



Slika 4 – Ključni aspekti u razvoju budućih CR-VANET mreža



Slika 5 – Funkcionalni blokovi (arhitektura) CR-VANET mreža [6]

Za realizaciju kognitivnih funkcionalnosti, detekciju signala i pronalazak spektralnih šupljina koriste se razni alati mašinskog učenja (npr. neuronske mreže, učenje na osnovu iskustva, učenje podrškom, nadgledano učenje itd.). Olakšica kojom se smanjuje vreme za izvršenje optimizacionog algoritma je u tome, što recimo vozila javnog gradskog prevoza prolaze kroz iste lokacije svakog dana kao i sama vozila korisnika prilikom obavljanja svakodnevnih radnji pa se ovde npr. primenjuje metodologija za „učenje iz iskustva“ (rešavanje sličnih problema iz prošlosti-case-based reasoning). Konačno, CR-VANET arhitektura obuhvata i korisnički interfejs koji omogućava online konfiguraciju sistema.

4.2. Tehnika oslušivanja spektra (spectrum sensing)

Oslušivanje spektra u kognitivnom radiju je neophodno zbog detekcije spektralnih šupljina odnosno prisustva signala primarnih korisnika, obzirom da se informacije o položajima spektralnih šupljina koriste za adaptaciju parametara sekundarnog linka. Kako bi se izbegla interferencija signala primarnih i sekundarnih korisnika, tehnika oslušivanja spektra mora biti veoma pouzdana. Kvalitet tehnike može biti narušen usled fadinga i brze promene lokacije, što je izazvano velikom mobilnošću vozila u VANET mrežama.

Sa ciljem unapređenja postupka oslušivanja, zatim identifikacije i ekvalizacije signala u uslovima brze promene radio kanala tokom vremena, primenjuju se razne tehnike spectrum sensinga koje se zasnivaju na procesiranju radio signala u vremensko-frekvencijskom domenu koji se primaju jednim CR ili nezavisno sa više CR u kolaborativnim tehnikama spectrum sensinga. U uslovima visoke mobilnosti koristi se centralizovani kolaborativni (kooperativni) spectrum sensing, gde se razmenjuju informacije dobijene od nekoliko vozila (broj, lokacija i parametri aktivnih signala), kooperacijom više senzora, koje se šalju RSU jedinicama i dalje prosleđuju centralnim bazama podataka gde se smanjuje vreme spectrum sensinga (vreme oslušivanja spektra) kao i kašnjenje. Di Felice i dr. [7] su predložili model za kolaborativni spectrum sensing pod nazivom Cog-V2V (Cognitive V2V) u kojem svako vozilo sadrži bazu podataka o raspoloživosti spektra koja se redovno ažurira i međusobno razmenjuje sa ostalim vozilima. Informacije dobijene od raznih vozila se karakterišu težinama koje zavise od lokacije na kojoj je vršeno oslušivanje spektra. Na osnovu težina, Cog-V2V odlučuje koji radio kanal se koristi za komunikaciju dva vozila. Dakle, sistemi koji koriste centralizovane pristupe mogu biti veoma efikasni za aplikacije koje se odnose na bezbednost saobraćaja, zbog pouzdanosti isporuke informacija. Međutim, centralizovani pristup nije pogodan za multihop komunikaciju, pogotovo kada nema infrastrukture. U tom slučaju primenjuje se grupisanje više vozila u klaster, gde jedno vozilo ima ulogu centralnog entiteta koji je zadužen za kooperativno oslušivanje spektra u jednom klasteru.

4.3. Upravljanje spektrom i QoS

Jedan od glavnih ciljeva u istraživanju CR-VANET mreža jeste pronalazak i efikasne tehnike upravljanja spektrom koje se uzimaju u obzir oslušivanje spektra, mobilnost i kvalitet servisa. Garancija bitna za isporuku informacija koje se odnose na bezbednost. Garancije kvaliteta servisa se mogu odnositi na maksimalno dozvoljeno kašnjenje i na pouzdanost u

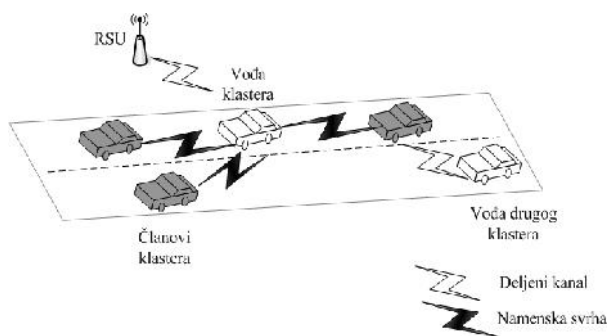
smislu dozvoljenog procenta gubitka paketa i sl. Npr. u slučaju saobraćajne nezgode, vozila koja se nalaze iz mesta nezgode moraju biti što pre obavještena kako bi se ostalim vozačima dalo vremena da reaguju.

Međutim, obezbeđenje zahtevanog kvaliteta servisa je veoma teško zbog mrežnog zagušenja, što je posebno izraženo u situacijama kada je prisutan povećan broj vozila.

Da bi se smanjilo zagušenje, autori u [8] su predložili metriku kojom bi se procenila vrednost zagušenja u različitim područjima r u vremenskom trenutku t :

$$C_r(t) = r \frac{D_r \times B_r}{S_r} + sU_r \quad (1)$$

gde je D_r kašnjenje koje nastaje usled prenosa paketa (povećava se kada se pojavi zagušenje). Parametar B_r se odnosi na količinu prenesenih bita u sekundi (kb/s), odnosno binarni protok kanala, S_r je srednja dužina paketa, a U_r je broj paketa koji nisu preneseni usled zagušenja. Koeficijenti r i s procenjuju se (fituju) na osnovu krive koja se dobija simulacijom. Prilikom simulacija koriste se različiti scenariji u kojima se varira broj vozila, dužina paketa, binarni protok itd. Na osnovu međusobne komunikacije RSU jedinica, kao i RSU jedinica i vozila, procenjuje se intenzitet zagušenja na različitim područjima. Kontroler baziran na fazi logici raspoređuje dodatni opseg u zavisnosti od zagušenja, nakon čega RSU jedinice dodeljuju više opsega onim vozilima koja se nalaze u zonama sa povećanim zagušenjem. Dakle, osnovna ideja je u tome da se dodatni spektar dodeljuje samo onda kada je to potrebno, obzirom da je spektar veoma ograničen resurs.



Slika 6 – Koncept klastera

U obezbeđenju kvaliteta servisa, osim centralizovanih tehnika upravljanja spektrom, primenjuju se i distribuirane i hibridne varijante. Konceptom klastera koji je prikazan na slici 6, centralni entitet (vozač) u DSRC kanalu rezerviša određeni propusni opseg (određuju se prioriteta saobraćaja), a sve prikupljene informacije od vozila koja čine klaster šalju se glavnom entitetu (vozaču) koje dalje prosleđuje informacije svim

lanovima. Rešavanje problema se odnosi na oportunisti koji iskoriste raspoloživog spektra primenom CR, optimalno rezervisanje opsega u DSCR kanalu i kontrolu veličine klastera.

4.4. Mrežni sloj: rutiranje, upravljanje mobilnošću i razmena sadržaja

Algoritmi rutiranja u CR-VANET mrežama moraju uzimati u obzir nedostatak opsega, interferenciju i visoku mobilnost. Važne mere performansi su npr. aktivnosti primarnih korisnika, geografska lokacija, kašnjenje usled prebacivanja na različite radio kanale, broj hopova itd. Neka od predloženih rešenja rutiranja podrazumevaju da se ruta bira na osnovu geografske lokacije i cene proslavljanja, što podrazumeva izbor rute sa najmanjim brojem hopova. Takođe, koristi se i rutiranje prema određenom broju vorova (set vorova koji vrše proslavljanje), pri čemu vor sa najvišim prioritetom (na koji utiče verovatnoća isporuke, dužina paketa itd.) vrši proslavljanje saobraćaja.

Upravljanje mobilnošću je veoma važno kako bi se obezbedio kontinuitet konekcije za vozila u pokretu i kako bi se optimizovao handover. IETF (Internet Engineering Task Force) grupa je razvila nekoliko IP protokola koji podržavaju mobilnost i koji se koriste za VANET mreže. Jedan od takvih je protokol Network Mobility (NEMO), baziran na mobilnom IPv6 (MIPv6) protokolu, kao i Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6) NEMO protokol.

Kada je u pitanju peer-to-peer (P2P) razmena sadržaja u CR-VANET mrežama, potrebno je utvrditi koji sadržaj i sa kojeg peer-a je OBU jedinica preuzeti u zavisnosti od karakteristika linka i spektra. Autori u [9] predložili su koalicioni model gde vozila, kada prođu pored RSU jedinice, preuzmu deo sadržaja, a ostatak od peer vozila, takođe primenom težinskih funkcija i cene linka.

5. REALIZACIJE KOGNITIVNOG RADIJA I OTVORENA PITANJA

U ovom poglavlju predstavljene su neki od realizovanih projekata i testiranih okruženja koji se odnose na CR-VANET mreže i implementaciju kognitivnog radija [6]. Obzirom da je ova tematika još uvek u ranoj fazi razvoja, postoji veliki broj otvorenih pitanja na kojima se baziraju buduća istraživanja.

5.1. CORRIDOR

CORRIDOR (Cognitive Radio for Railway Through Dynamic and Opportunistic Spectrum Reuse) je francuski istraživački projekat gde se primena kognitivnog radija odnosno oportunisti koji koriste raspoloživog spektra primenjuje na železnici. Razvojem modernih aplikacija za železnički saobraćaj i porastom korisničkih zahteva za većim propusnim opsegom, ovaj projekat

ima u planu implementaciju tehnologije kognitivnog radija kako bi se podržale višestruke aplikacije koje se odnose na železnicu kao i obezbeđenje Internet konekcije za putnike. Projektom se planiraju razviti algoritmi i tehnike za izrazito mobilno okruženje, što je karakteristično za tipične brzine savremenih vozova. Akcenat će biti na pristupu spektru, kognitivnom mehanizmu, optimizaciji hendovera kao i na upravljanju mobilnošću.

5.2. PLOTON-PLATA

PLOTON-PLATA je evropski projekat koji ima za cilj razvoj rekonfigurabilnog prototipa baziranog na softverski definisanim tehnologijama za telematske aplikacije bazirane na V2I i V2V komunikacijama. Projektom se predlaže ADAS (Advanced Driver Assistance System) sistem koji podrazumeva integraciju više SDR uređaja u vozilima. Prvi deo projekta se odnosi na dizajn komunikacione infrastrukture sa više tehnologija i opremanje OBU jedinica sa SDR uređajima koji podržavaju različite scenarije komunikacije (V2V, V2I) istovremeno. Drugi deo projekta podrazumeva evaluaciju performansi mreže kroz razne simulacije.

5.3. Rail-CR

Rail-CR je američki projekat koji ima za cilj da omogući bežičnu komunikaciju u vozovima. Na ovaj način se omogućiti vozovima koji se kreću da komuniciraju sa bežičnim stanicama pored puta, obezbeđujući time korisne informacije koje se odnose na njihovu lokaciju, brzinu, smer kretanja itd. S obzirom da je u železnicama transportu radio komunikacija veoma kompleksna, železnička industrija je poela da koristi SDR tehnologiju sa rekonfigurabilnom platformom za paketski prenos podataka. SDR omogućava interoperabilnost i višestruke konfiguracije, s tim što mu nedostaje mogućnost učenja iz prošlosti. Zbog toga je razvijen kognitivni radio specifičan samo za železnicu, nazvan Rail-CR koji ispunjava zahteve budućih bežičnih komunikacionih sistema za vozove. Rail-CR kombinuje odlučivanje i algoritme bazirane na veštačkoj inteligenciji sa SDR-om kako bi se zadovoljile potrebe za komunikacijom u železnicama transportu. Komunikacija će se na ovaj način unaprediti sa aspekta pouzdanosti, robusnosti, spektralne efikasnosti, troškova implementacije i održavanja.

5.4. Testiranje CR-VANET mreža

Da bi se izvršila evaluacija protokola i performansi komunikacionih mreža za vozila, kao i simulacija različitih realnih scenarija, neophodna je implementacija testbeda. Iz tog razloga, laboratorija u Virdžiniji, SAD je razvila testbed za testiranje kognitivnih radio mreža pod nazivom VT-CORNET (Virginia Tech CR Network Testbed), koja se sastoji od 48 SDR vozova

raspoređenih u okviru četiri sprata laboratorije, obuhvatajući i radne frekvencije od 100 MHz do 4 GHz.

Za ovu namenu koristi se takođe i ORBIT testbed za istraživanje bežičnog umrežavanja naredne generacije. Sastoji se od emulatora radio mreže od 400 vozova razvijenog u WINLAB (Wireless Information Network Laboratory) Tech centru u New Jersey-u koji je podržan i u Evropi i Japanu. Koristi se za istraživanja u oblasti mobilnih ad hoc mreža, za dinamičko dodeljivanje spektra, virtualizaciju mreža, umrežavanje vozila itd.

Obzirom da su CR-VANET mreže relativno novo područje istraživanja, prilagođavanje i primena postojećih CR tehnika u VANET mrežama je veoma interesantna i izazovna zadatak. Otvorena pitanja stoje u istraživanju osluškivanja spektra u uslovima visoke mobilnosti, zatim u V2V komunikacijama koje su složenije zbog promene topologije i čestih prekida konekcija, na polju mašinskog učenja, optimizacije kvaliteta servisa itd. Za ispitivanje performansi CR-VANET mreža koriste se za sada postojeći simulatori, kao što su SUMO, NS2, OMNeT++. Međutim nedostaju simulatori koji podržavaju osluškivanje spektra, Doplerov efekat, upravljanje spektrom, nivo interferencije i sl. kako bi se simulirala promenljiva topologija ovih mreža.

6. ZAKLJUČAK

Ovim radom dat je kratak pregled aktuelnih pristupa koji se odnose na primenu tehnologije kognitivnog radija u VANET mrežama. Kako se u RF spektru mogu uočiti značajni neiskorišćeni opsezi, može se zaključiti da je trenutna fiksna raspodela spektra neefikasna za potrebe budućih heterogenih bežičnih mreža. Zbog toga su potrebne nove, efikasnije tehnike koje bi iskoristile ove slobodne prostore poznate i kao spektralne šupljine („beli prostori”), u cilju rešavanja problema sve većih zahteva u pogledu spektra. Tehnologija kognitivnog radija se pojavila kao ključno rešenje za omogućavanje dodatnih resursa u pogledu spektra za bežične komunikacije kroz implementaciju oportunističkog pristupa spektru. Kognitivnost je veliki korak u razvoju radio komunikacija i trebalo bi da omogućiti i do deset puta efikasnije korišćenje radio spektra. U radu su predstavljena najnovija dostignuća u ovoj oblasti, nekoliko projekata koji se realizuju na ovoj osnovi, kao i otvorena pitanja koja se trenutno istražuju u CR-VANET mrežama.

7. ZAHVALNICA

U radu je prikazan deo istraživanja koje je pomoglo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije u okviru projekta TR32025 i TR-36021 (2011-2015).

LITERATURA

- [1] Ivaniš P. i dr, Tehnike za efikasno korišćenje spektra u kognitivnom radiju: prikaz nekih rezultata istraživanja, PosTel 2013, Beograd, Srbija, str. 233-242, 3-4 Decembar, 2013.
- [2] Al-Sultan S. et al. A comprehensive survey on vehicular Ad Hoc network. *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 37, January, pp. 380-392, 2014.
- [3] Federal Communications Commission, „Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies”, FCC 03-322, Report No. 03-108, Washington, Dec. 2003.
- [4] <http://www.sharedspectrum.com/dsa-licensing/research-development/>
- [5] McHenry M. XG Dynamic Spectrum Access Field Test Results, *IEEE Comm. Magazine*, Vol. 45, No. 6, pp. 51-57, June 2007.
- [6] Singh Deep K. et al. Cognitive radio for vehicular ad hoc networks (CR-VANETs): approaches and challenges. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 1, December, pp. 1-22, 2014.
- [7] Di Felice M. et al. Cooperative spectrum management in cognitive vehicular ad hoc networks, in *Proc. of IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, Amsterdam, pp. 47-54, 14-16 November, 2011.
- [8] Ghandour A. et al. Improving vehicular safety message delivery through the implementation of a cognitive vehicular network. *Ad Hoc Networks*, Vol. 11, No. 8, pp. 2408-2422, 2013.
- [9] Wang T. et al. Coalitional graph games for popular content distribution in cognitive radio VANETs. *IEEE Trans. Veh. Technol*, Vol. 62, No. 8, pp. 4010-4019, 2013.

SUMMARY**COGNITIVE RADIO APPLICATION FOR VEHICULAR AD HOC NETWORKS (VANETS)**

This paper presents the application of cognitive radio technology in vehicular ad-hoc networks aimed to improve the communications between vehicles themselves as well as between vehicles and roadside infrastructure. Due to dynamic approach of spectrum access, cognitive radio is a technology that enables more efficient usage of radio-frequency spectrum. We review actual approaches and discuss research challenges related to the use of cognitive radio technology in vehicular ad hoc networks with emphasis on architecture, spectrum management as well as QoS optimization. The researching on cognitive radio application in vehicular networks is still developing and there are not many experimental platforms due to their complex setups. Some related research projects and cognitive radio realizations are provided in this paper.

Key words: *cognitive radio, CR-VANET, intelligent transportation systems*