

**ANALIZA PERFORMANSI I DEMONSTRACIJA 4G I 5G C-V2X TEHNOLOGIJE UPO-
TREBOM EKSPERIMENTALNE PLATFORME I PRIMENA U PAMETNIM VOZILIMA****PERFORMANCE ANALYSIS AND DEMONSTRATION OF 4G AND 5G C-V2X
TECHNOLOGY USING AN EXPERIMENTAL PLATFORM AND ITS APPLICATION IN
SMART VEHICLES**Milica Ostojić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ENERGETIKA, ELEKTRONIKA I
TELEKOMUNIKACIJE**

Kratak sadržaj – U ovom radu opisana je V2X (Vehicle-to-Everything) tehnologija i primena ove tehnologije u autonomnoj vožnji. Vehicle-to-Everything (V2X) je komunikacioni sistem koji podržava prenos informacija od vozila do pokretnih delova saobraćajnog sistema, koji mogu da utiču na vozilo. Osnovna svrha V2X tehnologije jeste poboljšanje bezbednosti na putevima, ušteda energije i efikasnost saobraćaja. Cilj ovog master rada jeste da se korišćenjem eksperimentalne platforme pokaže primena 4G i 5G mreža u V2X tehnologiji.

Ključne reči: V2X tehnologija, autonomna vožnja, 4G/5G mreža

Abstract – This paper describes V2X (Vehicle-to-Everything) technology and its application in autonomous driving. Vehicle-to-Everything (V2X) is a communication system that supports the transfer of information from vehicles to mobile parts of the traffic system that can affect the vehicle. The main purpose of V2X technology is to improve road safety, save energy and improve traffic efficiency. The goal of this master thesis is to demonstrate the application of 4G and 5G network in V2X using an experimental platform.

Keywords: V2X technology, autonomous driving, 4G/5G network

1. UVOD

U V2X komunikacionom sistemu, informacije putuju od senzora, koji se nalaze u vozilima ili od drugih izvora kroz kanale/linkove sa velikim propusnim opsegom i visokom pouzdanošću, što omogućava komunikaciju sa drugim automobilima, infrastrukturom kao što su parking mesta i semafori, i pešacima, odnosno sa njihovim pametnim telefonima.

Deljenjem informacija (npr. brzine) sa drugim entitetima oko vozila, tehnologija poboljšava svest (engl. *awareness*) vozača o potencijalnim opasnostima i pomaže u smanjenju težine povreda i smrtnih slučajeva u saobraćajnim nesrećama i sudarima sa drugim vozilima.

NAPOMENA:

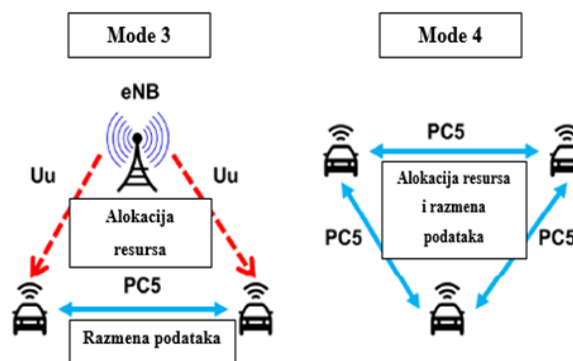
Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dejan Vukobratović, red. prof.

2. FORMATIRANJE I PISANJE TEKSTA

LTE-V2X, osnovan od strane 3GPP-a, relativno je nova alternativa za V2X komunikacije zasnovane na IEEE 802.11p standardu.

Prva verzija LTE-V2X objavljena je u junu 2017. godine u okviru Release-a 14, koja je došla sa brojnim poboljšanjima postojeće Device-to-Device komunikacije (D2D), kako bi se prilagodila komunikaciji između vozila [1][2]. U Release-u 14 osmišljena su dva režima sidelink alokacije resursa:

- Mode 3 (controlled) - scheduling resursa i regulacija interferencije preko PC5 interfejsa obavlja bazna stanica (eNB) na centralizovani način, kontrolnom signalizacijom preko Uu interfejsa (slika 1.) [1]
- Mode 4 (autonomous) - vozila komuniciraju koristeći sidelink ili V2V komunikaciju, autonomno biraju svoje resurse nezavisno od toga da li postoji mobilna pokrivenost ili ne (slika 1.).



Slika 1. Mode 3 i Mode 4 LTE-V2X [1]

3. 5G-V2X MODE 1 I MODE 2

Zbog postojećih LTE-V2X ograničenja, 3GPP je dobio motivaciju da definiše novi air interfejs takozvani NR, počev od Release-a 15, iako je samo u Release-u 16 NR interfejs potpuno definisan za Sidelink 5G-V2X. NR sidelink je definisan sa namerom da se dopuni LTE-V2X Sidelink, a ne da se zameni. Ustvari, Release 16 daje opcije za koegzistenciju i saradnju između LTE-a i NR-a Sidelinka.

Mode 1 i Mode 2 dva su različita načina prenosa podataka u 5G-V2X tehnologiji. Mode 1 se takođe naziva PC5 mod i koristi se za direktnu komunikaciju na kratkom rastojanju između vozila, kao i između vozila i infrastruk-

ture. Ovaj mod radi u frekventijskom opsegu od 5.9 GHz i dizajniran je za komunikaciju sa malim kašnjenjem i visokom pouzdanošću. NR bazna stanica odnosno gNB, vrši scheduling resursa sidelink-a koristeći NR (ili LTE) Uu interfejs.

U Mode 2 vozila autonomno određuju skup sidelink resursa koji će se koristiti među onim koje je konfigurisala bazna stanica (gNB/eNB) [1][2].

4. DEMONSTRACIJA LTE I 5G-V2X TEHNOLOGIJE UPOTREBOM EKSPERIMENTALNE PLATFORME

Testovi merenja i performansi LTE-V2X tehnologije na MK6C uređajima kompanije Cohda Wireless (slika 2.) su se izvršavali širom kampusa Univerziteta u Novom Sadu.



Slika 2. Izgled prednje i zadnje strane MK6C uređaja [3]

U jednom vozilu se nalazio predajni uređaj koji slao PC5 pakete prijemnom uređaju u drugom vozilu. Testiranje je trajalo otprilike od 08:53 h do 09:09 h. Tokom testiranja na laptop računarima, koji su bili povezani na uređaje, sačuvane su baze podataka (2 za GPS informacije o vozilima tokom vožnje i još 2 koje sadrže informacije o broju poslanih paketa, primljenih paketa, kašnjenju, interpacket gap-u i broju izgubljenih paketa).

Kako bi mogli dalje da se obrađuju sakupljeni podaci u Python programskom jeziku, bilo je potrebno da se poravnaju GPS vremena predajnog i prijemnog uređaja. Ovaj postupak je bitan kako bi moglo da se sazna kada je tokom vožnje izgubljena komunikacija i na kojim mestima tačno, tj. šta je smetalo tokom komunikacije, kao i poziciju oba vozila tokom prekida.

Nakon poravnanja vremena, analiziran je proces slanja PC5 paketa. U toku prve sekunde prijemnik je primio 17 paketa, a u svakoj sledećoj sekundi je primao 10 paketa sve do prekida komunikacije, kada je broj primljenih paketa po sekundi manji od 10.

Dalje, analizom vrednosti *Interpacket gap-a* (vreme koje je prošlo između slanja dva uzastopna paketa) u bazi koja sadrži podatke sa prijemnika, primećeno je da kada dođe do prekida u komunikaciji, *Interpacket gap* se povećava, jer nema novih paketa koji se šalju. *Interpacket gap-a* u tim trenucima uzima vrednosti u opsegu od 180 ms (tačnije 184.6 ms kada je primljeno 6027 paketa) do približno 87689 ms tj. 87688.33 ms kada je primljeno 5927 paketa. Upravo ova informacija je korišćena za određivanje vremenskih tačaka kada je došlo do gubitka komunikacije između predajnika i prijemnika.

Izračunato je da su se prekidi desili u opsegu od 09:03:12 h do 09:03:26 h i u opsegu od 09:05:36 h do 09:05:39 h.

Nakon određivanja vremena prekida i uz pomoć GPS baze, gde se nalaze koordinate oba vozila tokom vremena, na mapi su prikazane pozicije vozila tokom prekida (plave za

predajnik i zelene tačke za prijemnik na slici 3). Takođe, prikazane su i putanje vozila tokom prekida sve do početne pozicije odakle su startovala vozila. Narandžastom linijom predstavljene su pozicije automobila gde se nalazio prijemnik, a crvenom linijom su obeležene pozicije automobila gde se nalazio predajnik. Trebalo bi da se napomene da su pozicije vozila, gde se nalazio predajnik, u toku prekida 09:05:36 h, 09:05:37 h, 09:05:38 h i 09:05:39 h iste i da je zbog toga na mapi nacrtan samo jedan marker. Takođe po jedan marker je nacrtan za poziciju vozila, gde se nalazio prijemnik, za vreme prekida 09:05:36 h i vremena prekida 09:05:37 h, 09:05:38 h i 09:05:39 h. Ukoliko se obrati pažnja na prekide u periodu od 09:03:12 h do 09:03:26 h (slika 3. grupa zelenih i plavih markera na mapi), ono što je moglo da prouzrokuje prekide tj. gubitak paketa jeste ili velika rastojanja (koja su data u tabeli 1.) između vozila ili gubitak GPS signala, kojim je i uslovljena komunikacija između predajnika i prijemnika.

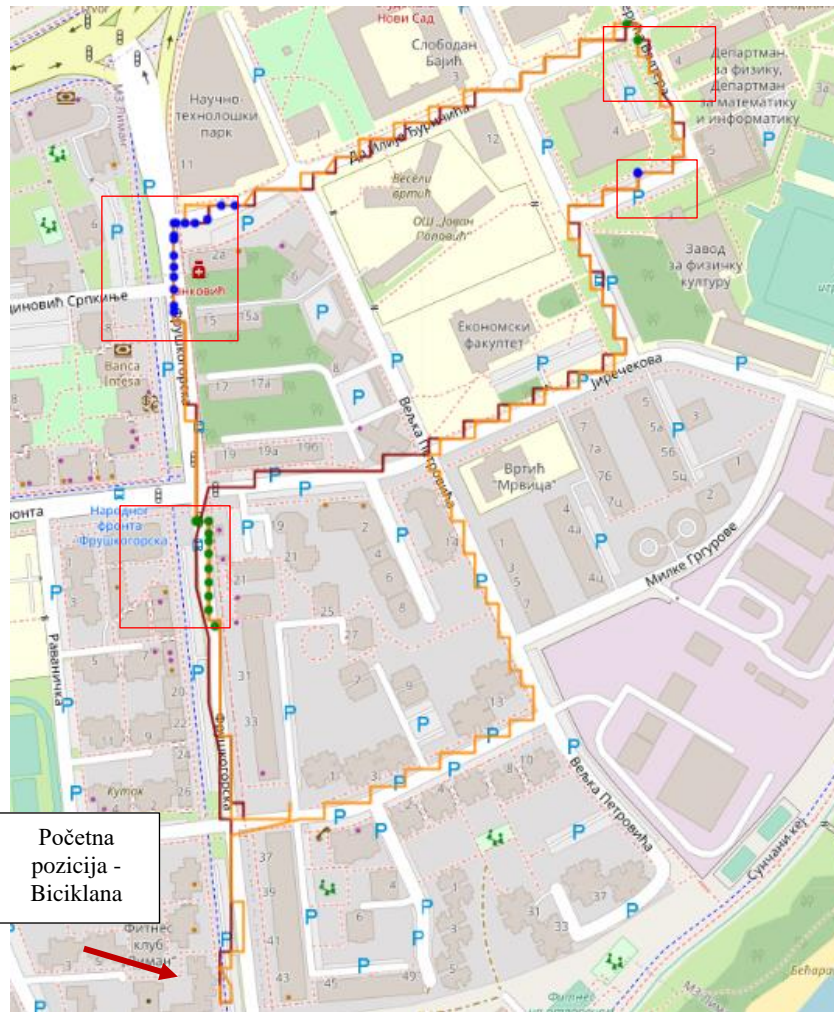
Tabela 1. Udaljenost između vozila tokom prekida

Vreme prekida	Udaljenost [m]
2023-02-10 09:03:12	212.69
2023-02-10 09:03:13	205.94
2023-02-10 09:03:14	207.66
2023-02-10 09:03:15	206.24
2023-02-10 09:03:16	204.10
2023-02-10 09:03:17	201.52
2023-02-10 09:03:18	203.73
2023-02-10 09:03:19	200.72
2023-02-10 09:03:20	201.52
2023-02-10 09:03:21	200.78
2023-02-10 09:03:22	200.30
2023-02-10 09:03:23	200.15
2023-02-10 09:03:24	202.50
2023-02-10 09:03:25	211.91
2023-02-10 09:03:26	212.82

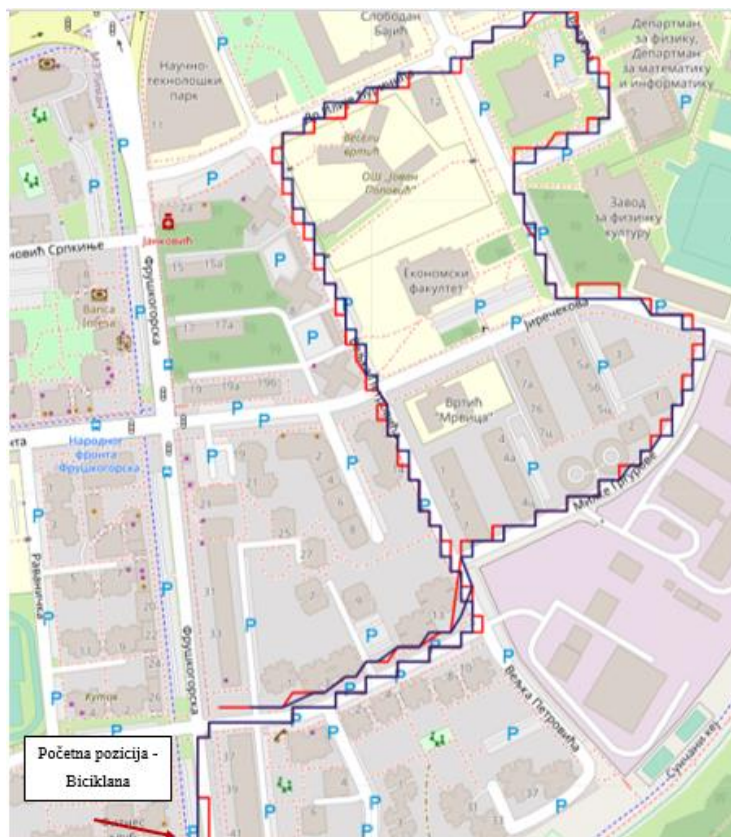
Što se tiče uzroka prekida u periodu od 09:05:35 h do 09:05:39 h pretpostavlja se da je nastao usled gubitka GPS signala. Zbog nesavršenosti GPS antene došlo je do prekida razmene paketa između uređaja u vozilima. Ovo je naročito vidljivo na mapi, jer predajno i prijemno vozilo zalaze u zgrade, što naravno nije bilo moguće.

Na slici 4. prikazan je početni deo putanje za oba vozila. Primećuje se da su vozila pratila jedno drugo, sa malim rastojanjem između, pri čemu ni u jednom trenutku nije došlo do prekida komunikacije tj. prijemnik nije detektovao izgubljene pakete.

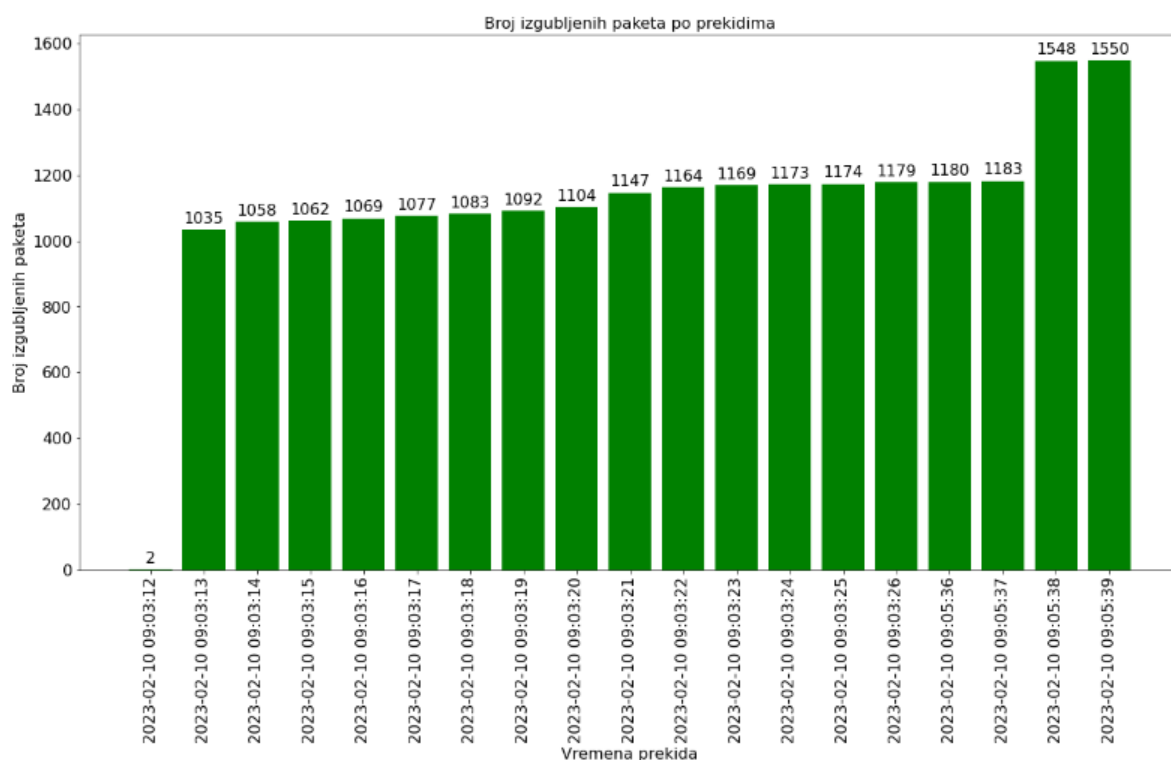
Kao što je spomenuto, tokom prekida došlo je do gubitka paketa. Broj izgubljenih paketa nije isti već se razlikuje od prekida do prekida. Na slici 5. prikazan je grafik broja izgubljenih paketa tokom svakog prekida. Vidi se da je u prvoj sekundi prekida izgubljeno svega 2 paketa, dok je u ostalim sekundama porast broja izgubljenih paketa značajan. Ukoliko bi se analizirala baza podataka predajnika gde se nalaze informacije o broju poslanih paketa, vidi se da taj broj iznosi 9620. Ukoliko se od ovog broja oduzme broj izgubljenih paketa, dobijamo da je ukupan broj paketa koje je primio prijemnik 8070, što je ujedno i poslednji očitani broj u bazi podataka prijemnika.



Slika 3. Putanje vozila tokom prekida sve do početne pozicije, odakle su startovala vozila



Slika 4. Putanje vozila pre nego što su se desili prekidi, ujedno i početni deo putanje



Slika 5. Broj izgubljenih paketa tokom prekida

Procenat uspešnosti slanja paketa iznosi 83.93 %, dok je procenat izgubljenih paketa relativno visok i iznosi 16.12 %.

5. ZAKLJUČAK

U budućnosti pouzdana i efikasna komunikacija između autonomnih vozila je ključ za uspešnu koordinaciju i funkcionisanje samog sistema autonomne vožnje, što uključuje i proces slanja i isporuke paketa između vozila.

Visok procenat izgubljenih paketa može da ukazuje na probleme u procesu razmene informacija između vozila (loš GPS signal, nekvalitetna oprema, fabrička greška, područje gde se odvija komunikacija tj. da li je u pitanju selo, grad i slično).

U cilju smanjenja izgubljenih paketa mogu se primeniti različite tehnologije i procesi za poboljšanje sistema za praćenje paketa i razvoj efikasnijih algoritama za koordinaciju autonomnih vozila.

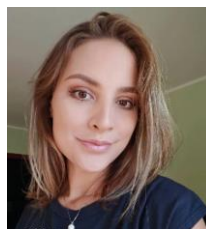
6. LITERATURA

[1] Leandro Miguel Lopez, Charmae Franchesca Mendoza, Jordi Casademont and Daniel Camps-Mur, *Understanding the Impact of the PC5 Resource Grid Design on the Capacity and Efficiency of LTE-V2X in Vehicular Networks*, Rüdiger C. Pruss (2020.)

[2] Shanzhi Chen, Jinling Hu, Yan Shi, Ying Peng, Jiayi Fang, Rui Zhao and Li Zhao, *Vehicle-to-Everything (V2X) Services Supported by LTE-based Systems and 5g*, IEEE Communications Standards Magazine (2017.)

[3] <https://www.cohdawireless.com/> (pristupljeno u februaru 2023. godine)

Kratka biografija:



Milica Ostojić rođena je u Novom Sadu 1998. godine. Osnovne akademske studije je završila na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo – Telekomunikacioni sistemi. Master studije upisala je 2021. godine na smeru Informaciono-komunikacione tehnologije i obrada signala.
kontakt:
ostojic.milicaktios@gmail.com