

**ANALIZA PERFORMANSI LTE C-V2X TEHNOLOGIJE BAZIRANA NA
KOMERCIJALNOJ EVALUACIONOJ PLATFORMI****PERFORMANCE ANALYSIS OF LTE C-V2X TECHNOLOGY BASED ON A
COMMERCIAL EVALUATION PLATFORM**Emilija Kovačev, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ENERGETIKA, ELEKTRONIKA I
TELEKOMUNIKACIJE**

Kratka sadržaj – U ovom radu prikazana je evolucija mobilnih telekomunikacionih sistema, sa posebnim osvrtom na LTE tehnologiju. Analiza LTE tehnologije pokazala je njenu ključnu ulogu u današnjim komunikacionim sistemima i u komunikaciji vozila sa svime. Posebno je opisan C-V2X i njegov značaj za saobraćaj. LTE-V2X, posebno Režim 4, omogućava direktnu komunikaciju između vozila bez potrebe za podrškom infrastrukture. Kroz test za C-V2X, analizirane su performanse i mogućnosti ove tehnologije, uz korišćenje Autotalks CRATON2 EVK platforme.

Ključne reči: 4G mreža, C-V2X tehnologija, LTE V2X, pametna vozila, autonomna vožnja

Abstract – This paper presents the evolution of mobile telecommunication systems, with special reference to LTE technology. Analysis of LTE technology has shown its key role in today's communication systems and in vehicle communication with everything. C-V2X and its importance for traffic are especially described. LTE-V2X, especially Mode 4, enables direct communication between vehicles without the need for infrastructure support. Through a test for C-V2X, the performance and capabilities of this technology were analyzed, using the Autotalks CRATON2 EVK platform.

Keywords: 4G network, C-V2X technology, LTE V2X, smart vehicles, autonomous driving

1. UVOD

V2X (Vehicle to Everything) tehnologija predstavlja vrhunac razvoja modernih transportnih sistema, omogućavajući vozilima da komuniciraju sa svim elementima okruženja. Značaj V2X tehnologije leži u njenoj sposobnosti da stvori inteligentne transportne sisteme koji mogu značajno povećati sigurnost na putevima i efikasnost saobraćaja. Sa V2X tehnologijom, vozila mogu da primaju upozorenja o potencijalnim opasnostima na putu, čime se omogućava pravovremena reakcija vozača ili autonomnih sistema vozila. Implementacija V2X tehnologije predstavlja korak ka potpuno autonomnim vozilima.

NAPOMENA:

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

Ova tehnologija omogućava razvoj novih usluga i aplikacija koje mogu dodatno unaprediti korisničko iskustvo i podržati razvoj pametnih gradova.

2. LTE TEHNOLOGIJA

Pomoću LTE-a svet se konvergirao u jedinstvenu globalnu tehnologiju za mobilnu komunikaciju, koju koriste u suštini svi operateri mobilnih mreža i koja je primenljiva i na uparene i na neuparene spektre.

Od najvećeg značaja je njen PHY (fizički) sloj.

Vazdušni interfejs u LTE je za downlink zasnovan na OFDM tehnologiji višestrukog pristupa, dok je za uplink zasnovan na tehnologiji koja se naziva multipleksiranje sa frekvencijskom podelom jednog nosioca (Single Carrier Frequency Division Multiplexing – SC-FDM).

OFDM pruža značajne prednosti u poređenju sa ostalim tehnologijama i predstavlja veliki napredak u odnosu na prošlost. Neke od prednosti su visoka spektralna efikasnost, prilagodljivost za širokopojasni prenos, otpornost na međusimbolske smetnje uzrokovane višestrukim fedingom, podrška za MIMO (Multiple Input Multiple Output) i za frekventncijski domen.

Vremensko-frekvencijski prikaz OFDM-a pruža visoku fleksibilnost u alokaciji spektra i vremenskih frejmova za prenos. Fleksibilnost spektra omogućava različite frekvencijske opsege.

Takođe, LTE formira mali frejm kratkog trajanja (10 ms), kako bi učinio da kašnjenje bude najmanje moguće i time se obezbeđuje poboljšanja procena kanala u uređaju, pružajući baznoj stanici povratne informacije neophodne za prilagođavanje veze.

Standardi u LTE tehnologiji definišu raspoložive radio spektre za različite frekvencijske opsege. Jedan od zadataka standarda je savršeno usklađivanje sa ranijim mobilnim sistemima.

Osim unicast usluga, LTE standardi omogućuju i multicast usluge, tj. multimedijalne prenose sa velikom brzinom prenosa.

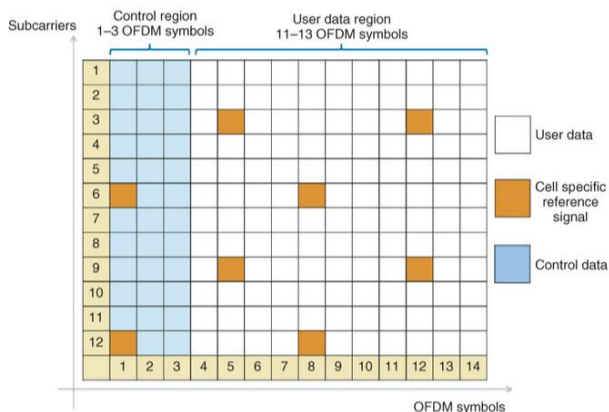
Prenos u LTE omogućava vremensku rezoluciju od 12 ili 14 OFDM simbola (u zavisnosti od cikličnog prefiksa), za svaki podfrejm od 1 ms.

Frekvencijska rezolucija, LTE omogućava niz blokova resursa u opsegu od 6 do 100 (u zavisnosti od propusnog opsega), od kojih svaki sadrži 12 podnosioca razmaknutih sa 15 kHz.

U mreži fizičkih resursa su sadžane tri vrste informacija.

U svakom elementu resursa se nalazi modulisani simbol korisničkih podataka ili referentnog ili sinhronizacionog

signala ili kontrolne informacije, koje potiču iz kanala višeg sloja. Na slici 1 su prikazane njihove lokacije (u mreži resursa), za jednostruki način rada.



Slika 1 Prikaz mreže resursa [1]

Za jednostruki režim rada, informacije korisnika se prenose u korisničkim podacima i isporučuju se sa MAC sloja (Media Access Control) u PHY, u vidu transportnog bloka. Bazna stanica i mobilni uređaji generišu različite vrste referentnog i sinhronizacionog signala. iz razloga procene, merenja i sinhronizacije kanala.

Na kraju imamo različite vrste kontrolnih informacija, koje se dobijaju preko kontrolnih kanala i nose informacije koje su prijemniku potrebne da bi ispravno dekodovao signal.

LTE je bitno smanjio upotrebu namenskih kanala, u poređenju sa drugim 3GPP standardima i takođe se više oslanja na zajedničke/deljene kanale.

Osobina LTE standarda je kreiranje efikasnijeg i modernizovanijeg steka i arhitekture protokola, u odnosu na prethodnike.

Šeme modulacije koje se koriste u LTE standardu uključuju QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), 16QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation) i 64QAM (64-Quadrature Amplitude Modulation) [1].

3. KOMUNIKACIJA VOZILA SA SVIME

V2X tehnologija formalno je poznata kao PC5 Sidelink, ali obično se naziva LTE-V2X ili Cellular Vehicle-to-Everything (C-V2X). Sidelink preko PC5 interfejsa efektivno pretvara vozilo u RAN čvor proširujući vezu sa obližnjeg eNB-a na druge mobilne uređaje, je namenjena kao dodatak konvencionalnoj komunikaciji uplink/downlink veze preko Uu interfejsa [1]

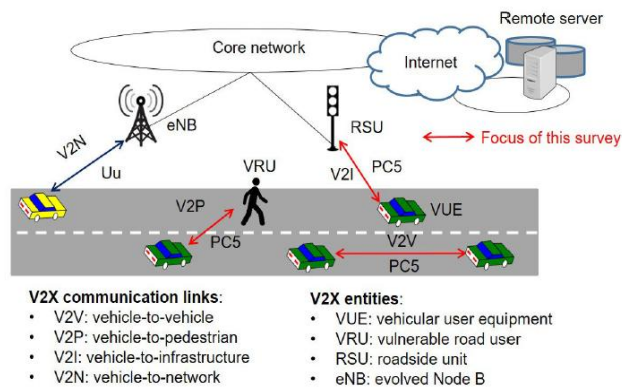
U kontekstu V2X, sidelink se odnosi na direktnu međusobnu komunikaciju između vozila, između vozila i učesnika u saobraćaju (Vulnerable Road User – VRU), i između vozila i jedinica pored puta (Roadside Unit – RSU).

Preciznije, 3GPP koristi korisničku opremu vozila (Vehicular User Equipment – VUE) za označavanje vozila, i vozilo-vozilo (Vehicle-to-Vehicle – V2V), vozilo-pešak (Vehicle-to-Pedestrian – V2P), vozilo-infrastrukturu (Vehicle-to-Infrastructure – V2I), za adresiranje različitih vrsta veza, kao što je prikazano na slici 1.

Postoje prednosti LTE-V2X koje uključuju povećanje efikasnosti saobraćajnog toka, smanjenje uticaja na životnu sredinu i pružanje dodatnih usluga informisanja

putnika. Kako bi se omogućila V2X tehnologija, postoje standardi za komunikaciju, koji su se razvijali prethodnih godina i koji koriste nelicencirani opseg od 5,9 GHz. Standardi su:

- Dedicated Short Range Communications – DSRC. Koristi standarde zasnovane na IEEE 802.11p i IEEE 1609 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) za bezbednosne protokole i mrežni sloj.
- LTE-V2X. Može se smatrati alternativnom verzijom DSRC-a. Koristi PC5 interfejs sidelinka i IEEE 1609 WAVE standarde za bezbednosne protokole i mrežni sloj [2].



Slika 2 V2X komunikacioni likovi, entiteti i radio interfejsi [2]

3.1. Vrste V2X

Vehicle-to-Vehicle (V2V), koji se odnosi na direktnu razmenu podataka između vozila, zahvaljujući WiFi baziranim ili ćelijskim tehnologijama, zahvaljujući komunikaciji sidelinka-a.

Vehicle-to-Infrastructure (V2I), kada vozilo prenosi i prima poruke ka/od infrastrukturnog čvora, koji se naziva jedinica na putu (RSU). RSU je fiksni uređaj koji se nalazi duž puta i služi kao fiksna pristupna tačka

Vehicle-to-Network (V2N), kada vozilo komunicira sa udaljenim serverom aplikacija koji hostuje uslugu zasnovanu na mreži, na primer putem mobilne veze.

Vehicle-to-Pedestrian (V2P), kada aplikacija zahteva razmenu podataka između vozila i ranjivih učesnika u saobraćaju, tj. pešaka i biciklista. V2P aplikacije obično imaju za cilj poboljšanje bezbednosti na putevima tako što će vozila i pešake učiniti svesnijim jedni o drugima, i pružanjem usluga kao što je izbegavanje sudara [1].

4. LTE-V2X

LTE-V2X je prvi put definisan u 3GPP izdanju 14 i predviđa dva različita interfejsa:

- LTE-PC5 režim: Režim podržava direktnu komunikaciju između čvorova preko PC5 interfejsa koristeći kanal sidelinka. Prisustvo entiteta eNodeB je opciono. PC5 interfejs se koristi za V2V komunikaciju u pristupu jedan-prema-više. Ovaj interfejs omogućava različitoj korisničkoj opremi (UE), tj. vozila, da komunicira direktno na 5,9 GHz DSCR opsegu preko kanala sidelinka.

- LTE-Uu režim. Primenljiv je za kratke udaljenosti. Informacije se prvo prenose do entiteta eNodeB preko kanala uzlazne veze putem izvornog čvora. Nakon toga, informacija se prenosi preko downlink-a do određižnog čvora. Omogućava komunikaciju prema infrastrukturi, preko standardnog licenciranog spektra. [2]

Komunikacija preko PC5 može se desiti u sledeća dva režima:

- Režim 3 (kontrolisani). Planiranjem resursa i upravljanjem smetnjama preko PC5 interfejsa upravlja razvijeni NodeB (eNodeB) na centralizovan način, putem kontrolne signalizacije preko Uu interfejsa. Primjenjuje se samo pod pokrivenošću mreže.
- Režim 4 (autonomni). Ovakav način rada je ključan za suočavanje sa scenarijima van pokrivenosti. Vozila samostalno biraju i konfiguriraju resurse i podkanale. Režim 4 ne zahteva nikakvu SIM karticu niti pretplatu [1].

5. PHY SLOJ LTE-V2X

PHY sloj LTE-V2X se zasniva na sledećim glavnim karakteristikama:

- višestruki pristup sa podelom frekvencije sa jednim nosiocem (SC-FDMA),
- turbo kodovi i
- HARQ retransmisija sa inkrementalnom redundantnošću.

Ove tri kombinovane karakteristike doprinose poboljšanju budžeta veze, što se direktno prevodi u proširenu pokrivenost pri fiksnoj snazi prenosa ili poboljšanu pouzdanost pri fiksnoj dometu.

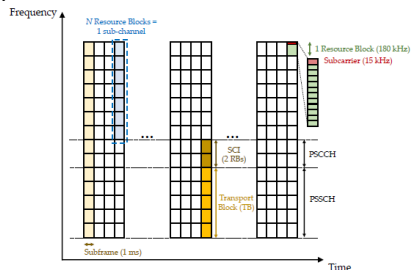
Na PHY sloju, granularnost dodele LTE-V2X resursa u vremenskom domenu data je vremenskim intervalom prenosa, koji odgovara jednom podfrejmu od 1 ms [2].

LTE-V2X koristi višestruki pristup sa frekvencijskom podelom jednog nosioca (SC-FDMA).

Podržana su dva propusna opsega kanala, 10 MHz i 20 MHz, i, u domenu frekvencije, svaki kanal je podeljen na blokove resursa (RB) širine 180 kHz. Svaki RB se sastoji od dvanaest podnosioca od 15 kHz.

U vremenskom domenu, kanal je podeljen na podfrejme od 1 ms, od kojih se svaki sastoji od dva slota od 0,5 ms i sadrži 14 OFDM simbola, od kojih se četiri koriste za prenos referentnih signala, što može pomoći u suzbijanju Doplerovog efekta. Devet simbola se koristi za prenos podataka, a poslednji simbol se koristi za prebacivanje između primljenog i prenetog preko podfrejma.

Ova vremensko-frekventna podela kanala je prikazana na slici 3 [3].



Slika 3 Vremensko-frekventna podela LTE-V2X kanala, sa susednim zajedničkim fizičkim

sidelinkom i fizičkim kontrolnim kanalom sidelinka [3]

RB-ovi su sami grupisani u podkanale, sastavljene od više RB-a unutar istog podfrejma (stvarni broj je unapred konfigurisan i promenljiv) i koriste se za prenos podataka i kontrolnih informacija.

Prenos podataka je organizovan u transportnim blokovima (Transport Block – TB), predstavljenim grupama blokova resursa koji mogu da sadrže ceo paket. Veličina frejma, zajedno sa brojem RB-ova po podkanalu i izabranom šemom modulacije i kodovanja (Modulation and Coding Scheme – MCS), određuju veličinu TB-a, koji može da se prostire na jednom ili više podkanala. Na primer, nizak MCS će prouzrokovati da paket zahteva više RB-a nego kada je izabran visoki MCS. Alokacija resursa se dešava, preko podfrejmova (od 1 ms) i podkanala. Svaki TB je povezan sa takozvanom kontrolnom informacijom bočne veze (Scheduling Control Information – SCI), koja se prostire na dva RB-a i sadrži kontrolne informacije kao što su MCS, prioritet i izabrani interval rezervacije resursa (Retransmission Repetition Indicator – RRI).

Kako SCI sadrži ključne informacije za dekodovanje odgovarajuće TB, ona se uvek prenosi u istom podfrejmu i može se prenositi u RB-ovima koji su susedni onima rezervisanim za TB, kao na slici 3, ili u nesusednim [3].

LTE-V2X komunikacije sidelinka su uglavnom zasnovane na dva kanala koja se emituju u istom TTI od 1 ms, na različitim frekvencijama:

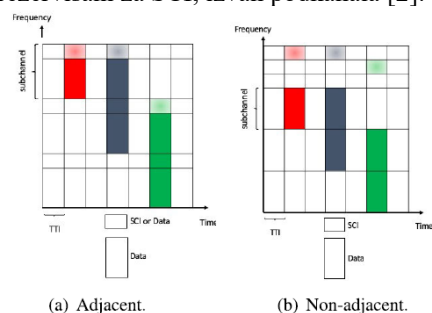
- fizički kontrolni kanal sidelinka (Physical Sidelink Control Channel – PSCCH), koji nosi kontrolne informacije (npr. prioritet, modulacija i šema kodovanja (Modulation and Coding Scheme – MCS), lokaciju frekvencijskog resursa, indeks retransmisije) u poruci informacija o kontroli sidelinka (SCI) i
- zajednički kanal fizičkog sidelinka (Physical Sidelink Shared Channel – PSSCH), koji prenosi podatke u transportnim blokovima (Transport Block – TB) [2].

Ovi kanali mogu biti susedni ili nesusedni.

Što se tiče MAC sloja, definisana su tri glavna pod-sloja: Protokol konvergencije paketnih podataka (Packet Data Convergence Protocol – PDCP), RLC (Kontrola radio veze) i MAC [3].

Svaki paket podataka se dodeljuje u jednom TTI i jednom ili više podkanala. Pridruženi SCI uvek zauzima 360 kHz, sa dve moguće konfiguracije, kao što je prikazano na slici 4. U susednoj konfiguraciji, SCI se prenosi unutar podkanala, tačnije na početku prvog dodeljenog podkanala.

U nesusednoj konfiguraciji, namenski resursi su rezervisani za SCI, izvan podkanala [2].



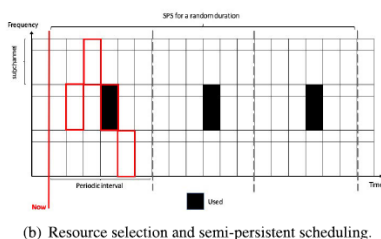
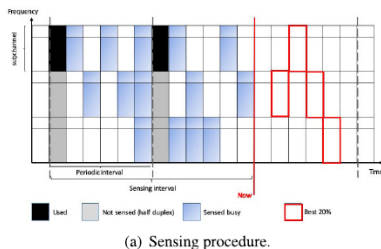
Slika 4 Susedna (a) i nesusedna (b) alokacija kontrolnih informacija (SCI) u odnosu na vremensko-frekvencijsku mrežu resursa [2]

6. C-V2X REŽIM 4

Režim 4 je uglavnom dizajniran za periodični saobraćaj i zasnovan je na polutrajnom rasporedu zasnovanom na sensingu. LTE-V2X režim 4 zahteva da vozilo samostalno dodeljuje i upravlja potrebnim resursima (tj. odgovarajućim podkanalima u vremenu), usvojena je šema SemiPersistent Scheduling (SPS) zasnovana na sensingu. Svakom vozilu se periodično dodeljuje ista grupa podkanala za dati interval. Skup podkanala potrebnih za prilagođavanje prenosa podataka označava se kao kandidatski resurs sa jednim podfrejmom (Cell Specific Subframe Resource – CSSR), a period se naziva interval rezervisanja resursa (Relative Resource Indicator – RRI).

Izbor CSSR-a, prikazanog na slici 5, vrši se na osnovu statusa resursa koji su praćeni tokom poslednjih 1s. Prema izdanju 14 3GPP standarda, svako vozilo treba da vrši sensing kanala u periodu od 1000 ms (koji se naziva Sensing Window i ekvivalentno je 1000 podfrejmova), kako bi se identifikovali potencijalni resursi jednog podfrejma koji ne bi trebalo da budu izabrani za prenos, jer se detektuju kao već zauzeti. Tokom intervala sensinga, čvor upoređuje primljenu snagu sa datim pragom sensinga.

Na osnovu informacija (vezanih za prošlost), bira 20% CSSR-a koji su manje verovatno zauzeti u (budućem) prozoru za izbor, tj. imaju niže nivoe snage primljenog referentnog signala [2].



Slika 5 Režim 4 selekcija resursa i procedura alokacije resursa [2]

Među slobodnim resursima, vozilo nasumično bira između onih sa najnižim prosekom RSSI (Received Signal Strength Indicator). Selekcija se zatim održava za određeni broj prenosa, određen takozvanim Reselection Counter, koji obično pretpostavlja vrednosti od 5 do 15, iako zavisi od vrednosti RRI.

Očekuje se da će se prenos TB i SCI za brojače ponovnog izbora odvijati u periodičnosti koju definiše RRI. RRI, koji se prenosi u SCI, koristi se da informiše druga vozila o nameri da koriste iste izabrane resurse za sledeći prenos,

koji će se desiti u vremenu RRI. Ovo se radi kako bi se izbeglo da drugi čvorovi izaberu iste resurse i izazovu kolizije paketa. RRI može da preuzme vrednost od 20 ms, 50 ms, 100 ms ili bilo koji umnožak od 100 ms do 1 sekunde. Posebna vrednost od 0 ms je rezervisana za slučaj u kojem vozilo neće rezervisati iste resurse za sledeći prenos TB i SCI.

Kako RRI može uticati na ukupne performanse C-V2X, on mora biti prilagođen što je više moguće karakteristikama željene komunikacije.

Ponovni izbor se takođe dešava u dva dodatna slučaja: ako je nova poruka prevelika za resurse koji su već rezervisani za odgovarajuću TB ili ako nova poruka ima kraći rok kašnjenja od trenutnog RRI, i mora se preneti pre vremena RRI [3].

7. KOMENTARI URAĐENOG TESTA

Prenos pokazuje visok stepen efikasnosti i stabilnosti, sa minimalnim brojem grešaka i resetovanja sistema. Iako su resursi ograničeni, sistem se nosi s tim situacijama bez većih problema. Većina poruka je uspešno obrađena, sa 100% uspešno poslanih poruka u nekoliko ključnih delova sistema, bez neuspešnih ili zakasnelih prenosa.

Merenja i segmenti alokacije su uglavnom stabilni, sa izuzetkom nekoliko promašenih merenja i manjih problema u alokaciji resursa. Vreme obrade komandi i resursa je u granicama očekivanog, bez značajnih odstupanja, što ukazuje na dobar odziv sistema.

Sve u svemu, performanse ovog prenosa su solidne, bez većih poteškoća u ključnim aspektima prenosa-

8. ZAKLJUČAK

LTE je tehnologija četvrte generacije koja omogućava velike brzine prenosa podataka i malo kašnjenje.

C-V2X omogućava komunikaciju vozila sa drugim vozilima, infrastrukturom i pešacima radi poboljšanja bezbednosti i podrške autonomnoj vožnji.

Test koji je rađen u ovom radu pokazuje da testirani uređaj pokazuje dobre performanse u laboratorijskim uslovima.

9. LITERATURA

[1] Houman Zarrinkoub, Understanding LTE with MATLAB, Wiley (2014)

[2] Alessandro Bazzi, Antoine O. Berthet, Claudia Campolo, Barbara Mavi Masini, Antonella Molinaro and Alberto Zanella, On the Design of Sidelink for Cellular V2X: A Literature Review and Outlook for Future, IEEE Access (2021)

[3] Francesco Raviglione, Open Platforms for Connected Vehicles, Politecnico di Torino (2022)

Kratka biografija:



Emilija Kovačev rođena je u Novom Sadu 1999. godine. Osnovne akademske studije je završila na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnika i računarstvo – Telekomunikacioni sistemi. Master studije upisala je 2023. godine na smeru Informaciono-komunikacione tehnologije.

kontakt:
ekovacev99@gmail.com