Povezivost vozila i okruženja uporabom 5G infrastrukture

Glibota, Vjeko

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:567170

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Vjeko Glibota

POVEZIVOST VOZILA I OKRUŽENJA UPORABOM 5G INFRASTRUKTURE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

POVEZIVOST VOZILA I OKRUŽENJA UPORABOM 5G INFRASTRUKTURE

CONNECTIVITY OF VEHICLES AND SURROUNDINGS USING 5G INFRASTRUCTURE

Mentor: doc. dr. sc. Mario Muštra

Student: Vjeko Glibota

JMBAG: 0135232412

Zagreb, rujan 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2. travnja 2019.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Lokacijski i navigacijski sustavi**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 5223

Pristupnik: **Vjeko Glibota (0135232412)**
Studij: Inteligentni transportni sustavi i logistika
Smjer: Inteligentni transportni sustavi

Zadatak: **Povezivost vozila i okruženja uporabom 5G infrastrukture**

Opis zadatka:

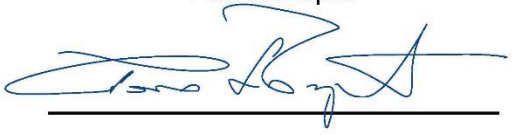
Opisati mogućnosti povezivanja uporabom mobilnih mreža te navesti ograničenja s obzirom na korištene tehnologije mobilnih mreža. Navesti standardizaciju C-V2X tehnologije koju provodi 3GPP. Opisati mogućnosti koje donosi mobilna mreža 5. generacije (5G) s obzirom na način povezivanja vozila na mobilnu mrežu. Definirati prednosti koje donosi tehnologija C-V2X. Prikazati primjere do sada realiziranih sustava komunikacije vozila i infrastrukture izvedenih u sklopu pametnih gradova.

Mentor:



doc. dr. sc. Mario Muštra

Predsjednik povjerenstva za završni ispit:



POVEZIVOST VOZILA I OKRUŽENJA UPORABOM 5G INFRASTRUKTURE

SAŽETAK

Postojeće mobilne mrežne tehnologije imaju mogućnosti povezivanja i komunikacije vozila i okoline. Sadašnja standardzirana tehnologija, za komunikaciju vozila i okoline, omogućuje komunikaciju vozila s okolinom, ali su nužna daljnja poboljšanja za smanjivanje latencije i omogućavanje prijenosa stvarnovremenskih podataka. Kada bi se optimizirali navedeni zahtjevi, to bi omogućilo tehnologiji za komunikaciju s vozilima npr. upravljanje konvojem ili međusobnu komunikaciju vozila pri automatskoj vožnji i ostale napredne mogućnosti. To bi poboljšalo sigurnost i ekonomičnost u prometu, ali i smanjilo negativni utjecaj na ekološki aspekt prometa. Za realizaciju navedenih naprednih mogućnosti u prometu je nužan daljnji razvoj postojećih mobilnih mreža, na temelju kojih će se razviti unaprijeđena standardizirana tehnologija za komunikaciju vozila i okoline. Time bi interoperabilnost vozila i okoline bila moguća.

KLJUČNE RIJEČI: mobilne mrežne tehnologije; komunikacija vozila i okoline, napredne mogućnosti u prometu; standardizirana tehnologija; interoperabilnost.

CONNECTIVITY OF VEHICLES AND SURROUNDINGS USING 5G INFRASTRUCTURE

SUMMARY

Existing mobile network technologies have capabilites for connectivity and communication between vehicles and its surroundings. Current standardized communication technology for communication between vehicle and surroundings enables communication of a vehicle with its surroundings, but further improvements are needed to reduce latency and enable real-time data transimission. Optimizing the above requirements would enable vehicle communication tehnology such as platoon management or vehicle intercommunication while driving automatically, and other advanced features. This would improve safety and economy in traffic, but also reduce the negative impact of traffic and transport on the environment . In order to realize these advanced traffic capabilities, it is necessary to further develop existing mobile network technologies, on the basis of which, advanced standardized technology for vehicles and surrounding area communication would be developed. Based on that, interoperability with vehicle and surrounding area would be possible.

KEYWORDS: mobile network technologies; communication between vehicles and surrounding; advanced traffic capabilities; standardized technology; interoperability.

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. MOGUĆNOSTI POVEZIVOSTI MOBILNIM MREŽAMA 3
   - 2.1 Direktna komunikacija i mrežna komunikacija 4
   - 2.2 V2X aplikacije podržane od strane 3GPP-a 5
   - 2.3 Primjeri upotrebe V2X 9
     - 2.3.1 Upravljanje konvojem 10
     - 2.3.2 Podrška za daljinsku vožnju 12
     - 2.3.3 Automatizirana kooperativna vožnja za kratko-sežno grupiranje 13
     - 2.3.4 Kolektivna percepcija okoline 17
     - 2.3.5 Dinamičko dijeljenje vožnje 18
     - 2.3.6 Informacije o sigurnosti raskrižja za gradsku vožnju 19
3. 3GPP STANDARDIZACIJA C-V2X TEHNOLOGIJE 21
   - 3.1 Standardizacija LTE – V2X 21
   - 3.2 Frekvencijski spektar 23
   - 3.3 Standardizacija NR – V2X 23
4. NAČIN POVEZIVANJA VOZILA I OKRUŽJA UPORABOM 5G INFRASTRUKTURE 26
   - 4.1 Postojeća arhitektura i njen razvoj 28
     - 4.1.1 Razvoj i arhitektura LTE mreže i E-UTRAN-a 28
     - 4.1.2 Non-Stand Alone (NSA) arhitektura i Stand-Alone (SA) arhitektura 32
     - 4.1.3 5G jezgrena mreža (5G Core netowork) 33
     - 4.1.4 MR-DC sa 5GC 35
     - 4.1.5 Prijenos konfiguracije između NG-RAN-a i E-UTRAN-a 36
     - 4.1.6 Pregled sveukupne arhitekture 37

4.2 Komunikacija među vozilima na različitim 3GPP RAT-ovima 39
4.3 Slučaj izvan 5G pokrivenosti 41
4.4 Scenarij rada povezivanja putem NR i LTE mreže 41
5. PREDNOSTI C-V2X TEHNOLOGIJE 43
6. REALIZIRANI SUSTAVI KOMUNIKACIJE VOZILA I INFRASTRUKTURE 45
7. ZAKLJUČAK 47
LITERATURA 49
POPIS KRATICA 51
POPIS TABLICA 56
POPIS SLIKA 56

1. UVOD

Mobilna mrežna tehnologija je od svog prvog uvođenja nastojala pružiti mogućnost da razmjenjujemo informacije u što kraćem roku, na što većim udaljenostima. Od trenutka uvođenja prve mobilne mrežne tehnologije, neprestano se radi na njihovom razvoju, od glasovnog dijela, ka mogućnostima gdje možemo slati i primati velike količine podatkovnog prometa iz bilo kojeg dijela svijeta. U današnjem vremenu, gdje smo došli do granica mogućnosti postojeće mobilne mreže i postojećeg radiofrekvencijskog spektra, korisnici zahtjevaju veću raspoloživost, te bržu i stabilniju vezu sa većim kapacitetom za nadolazeće uređaje i sustave koji će imati mogućnosti od međusobnog komuniciranja do izvršavanja zadataka udaljenim putem. Cilj ovog završnog rada je objasniti mogućnosti povezivanja sadašnje mobilne mreže, ali i mreže u razvoju sa njezinom okolinom, točnije sa vozilima. Mogućnosti međusobno povezanih vozila, način njihovog funkcioniranja, izvedbe, prednosti i ostale mogućnosti povezivanja vozila sa okolinom. Rad je podijeljen u sedam cjelina:

1. Uvod
2. Mogućnosti povezivosti mobilnim mrežama
3. 3GPP standardizacija C-V2X tehnologije
4. Način povezivanja vozila i okružja uporabom 5G infrastrukture
5. Prednosti C-V2X tehnologije
6. Realizirani sustavi komunikacije vozila i infrastrukture
7. Zaključak.

U drugom su poglavlju opisane mogućnosti povezivanja ćelijskog vozila-ka-svemu (Cellular Vehicle-to-everything – C-V2X) načina komunikacije sa okolinom, mogućnosti V2X aplikacija, primjeri primjene navedene tehnologije i neke od nužnih zahtjeva za realizaciju navedenih usluga.

Da bi navedeni zahtjevi bili mogući, nužno je oslobađanje dodatnog radijskog spektra, omogućavanje većih brzina sa većim kapacitetom za nadolazeće uređaje i sustave. Zbog toga je 3GPP (3rd Generation Partnership Project), koja je radila na razvoju prijašnjih mobilnih mrežnih tehnologija, pokrenula standardizaciju 5G Novog Radija (5G New Radio – 5G NR) i C-V2X-a koji nam je nužan za međusobnu interoperabilnost vozila i mreže. Navedenu tematiku obuhvaća treće poglavlje pod nazivom 3GPP standardizacija C-V2X tehnologije.

Nova bi tehnologija 5G-a omogućila veće kapacitete mobilne mreže, veće mogućnosti za sve korisnike mobilnih usluga, te omogućila dodatan prostor u frekvencijskom spektru za ostale tehnologije, uređaje i sustave. Nnužno je definirati način povezivanja i migracija sa trenutačnih, na suvremene mobilne tehnologije, za izvršavanje pouzdane, precizne i stvarnovremenske usluge, bez narušavanja postojeće usluge. Navedena tematika podrobnije je definirana u četvrtom poglavlju u kojem su obuhvaćeni načini povezivanja vozila i okruženja uporabom 5G infrastrukture.

U petom poglavlju navedene su prednosti u odnosu na glavne ključne sudionike u navedenoj C-V2X tehnologiji.

Šesto poglavlje daje definiciju ostalih sustava koji su realizirali komunikaciju s vozilom i infrastrukturom. Tu je naveden primjer bežične tehnologije koja je već implementirana, testirana i standardizirana, te se smatra prvom V2X tehnologijom.

U zaključku su navedeni razlozi implementacije V2X tehnologije, njezin utjecaj na našu svakodnevnu interakciju s prometnim entitetima, zajedno s dodatnim mogućnostima poboljšanja i razvoja autonomnog prometa koje je moguće ostvariti.

2. MOGUĆNOSTI POVEZIVOSTI MOBILNIM MREŽAMA

U razdoblju dok se još razvija mobilna mreža 5G tehnologije, koristi se pristupačna tehnologija dugoročne evolucije (Long Term Evolution – LTE), od koje su se razvile još LTE-Advanced i LTE Advanced Pro za testiranje povezivosti vozila s postojećom mrežom na kojima će se bazirati infrastruktura 5G mreže. LTE Advanced Pro bit će osnova za implementaciju 5G mreže, dok se trenutačno za testiranje i povezivanje C-V2X-a koristi postojeća LTE mreža, jer 5G mreža nije u potpunosti implementirana, te će za punu implementaciju i razvoj trebati određeni period. Radi jednostavnijeg razumijevanja za sve iznad navedene inačice tehnologije LTE-a, koristit će se pojam 4G tehnologije. 5G mreža se definirala unutar izvješća 14 (Release 14 – Rel-14) i dalje nastavlja sa poboljšanjima unutar izvješća 15 (Release 15 – Rel-15), s nazivom „faza 1“ i detaljnije i egzaktnije će se definirati u izvješću 16 (Release 16 – Rel-16), ili prepoznatljivoj kao „faza 2“. C-V2X može podržati širi doseg sposobnosti od prijašnjih mogućnosti povezivanja vozila, kao što je WLAN tehnologija ili standard poznatiji kao IEEE 802.11p isključivo za inteligentne transportne sustave (ITS). Dvije standardizirane C-ITS tehnologije su 3GPP LTE-V2X PC5 (poznat kao i LTE sidelink) i IEEE 802.11p, poznatije kao posvećene kratko-dosežne komunikacije (Dedicated Short Range Communications – DSRC) ili ITS-G5, standard od strane Europskog instituta za telekomunikacijske standarde (European Telecommunications Standards Institute – ETSI). Oba djeluju u takozvanom „5,9 GHz“ pojasu koji je harmoniziran u tehnološko neutralnom smislu iz sigurnosno-povezanih aplikacija ITS-a u Europi, i za pružanje direktne komunikacije između prometnih korisnika. 3GPP će u svojim narednim izvještajima, od kojih je u Rel-16, već naveden spektar radiofrekvencija koji bi se mogao koristiti za nadolazeću novu tehnologiju, te će raditi na oslobađanju dodatnog pojasa za 5G, istovremeno i za C-V2X tehnologiju, gdje se teži prema milimetarskom dijelu i do 100 GHz. [1], - [3]

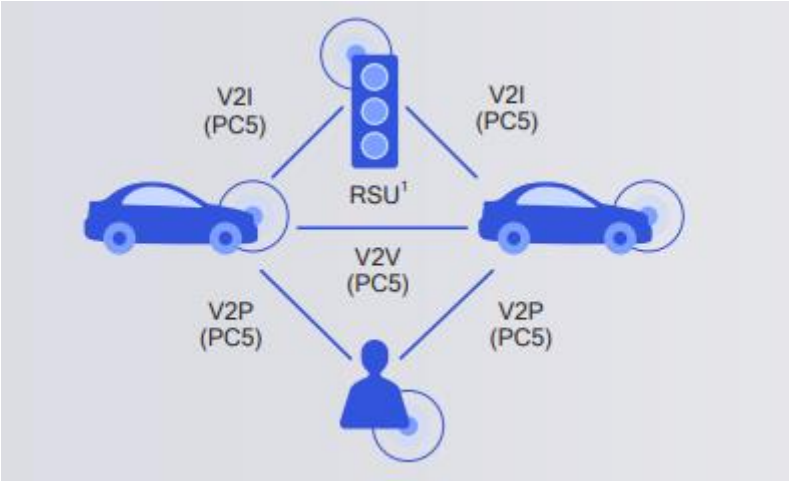
C-V2X koristi dva komplementarna načina prijenosa (moda) kako bi omogućio široki spektar sigurnosnih značajki u vožnji. Ti modovi su:

1. **Direktna komunikacija** između vozila (Vehicle-to-Vehicle – V2V), između vozila i infrastrukture (Vehicle-to-Infrastructure – V2I), vozila i ostalih sudionika u prometu, poput biciklista i pješaka (Vehicle to Pedestrians – V2P). U navedenom modu, C-V2X djeluje u 5,9 GHz frekvencijskom pojasu – ITS spektru, koji je identificiran i harmoniziran internacionalno zbog sigurnosnih razloga. U navedenom modu C-V2X djeluje neovisno o mobilnoj mreži.

2. **Mrežna komunikacija,** u kojem C-V2X implementira konvencionalnu mobilnu mrežu da bi omogućio vozilima da prime informaciju o stanju na cestama te o situaciji u prometu. U navedenom modu, C-V2X djeluje u spektru koji su odobreni mobilnim operatorima da bi omogućili povezanost svojim korisnicima. [1]

2.1 Direktna komunikacija i mrežna komunikacija

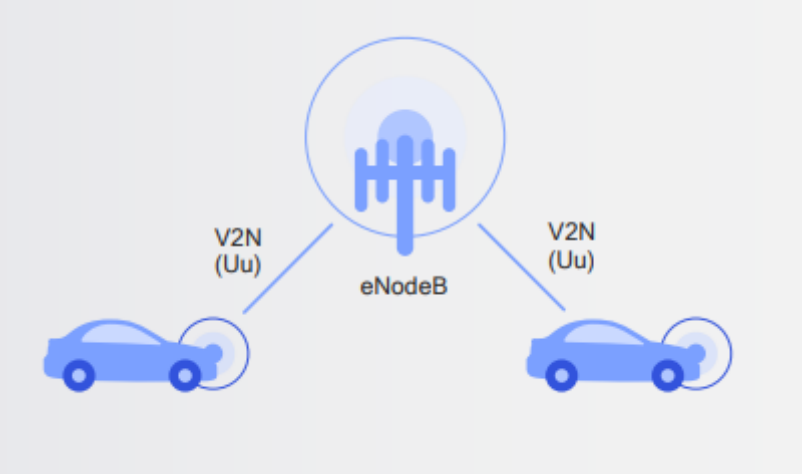
Kao što 802.11p, i C-V2X koristi globalni navigacijski satelitski sustav (Global Navigation Satellite System – GNSS) da bi odredio lokaciju vozila i da bi sinkronizirao komunikaciju između vozila i cestovne infrastrukture. U ovom modu, nema potrebe za SIM karticom, jer vozilo ne treba biti povezano na mobilnu mrežu. Vozilo i njegov vozač ostaju anonimni, pošto ne postoji nikakva potreba za pretplatom za direktnu, sigurnu komunikaciju. C-V2X i 802.11p mogu koegzistirati u ITS spektru koristeći različite kanale unutar 5,9 GHz pojasa. Samo 10 MHz spektra je potrebno unutar 5,9 GHz pojasa da bi se osigurale osnovne sigurnosne usluge, dok 70 MHz može podržavati napredne sigurnosne usluge, kao što je dijeljenje velike količine podataka prikupljenih senzorima sa vozila [1].



Slika 1. Direktna komunikacija V2X-a, [4]

C-V2X isto podržava vozilo-ka-mreži (Vehicle-to-Network – V2N) aplikacije dostavljene putem komercijalno-licenciranih ćelijskih spektara. Ovaj mod se može isto koristiti da bi pružio mrežnu podršku za sigurnosno-povezane značajke, kao i za komercijalne usluge, gdje je potrebno učešće mobilnog operatera koji će pružiti pristup podacima ili informacija temeljenih na oblaku. Navedeni mod omogućuje C-V2X da iskoristi sigurnost podataka i privatnost od mobilne mreže, dok implementacija računalnih servera i analitike podataka mogu bitno pomoći pri uštedi vremena kod pružanja vremensko – kritičnih usluga.[1]

Razvijena da bude implementirano u bliskoj budućnosti, C-V2X tehnologija je dovoljno prilagodljiva da bi podržala današnje uvjete, ali i one koji tek dolaze. Kompatibilna s 4G-om, ali i s 5G budućom mobilnom mrežom, namijenjena je da bude skalabilna i interoperabilna. U nadolazećim izvještajima od strane 3GPP-a, razvijat će se način povezivanja C-V2X sa naprednim sustavom za pomoć vozaču (Advanced Driver-Assistance Systems – ADAS), gdje će vozilima biti omogućena međusobna komunikacija, koordinacija i razmjena informacija prikupljenih senzorima, i ultimativno, umrežena automatska vožnja. [1]

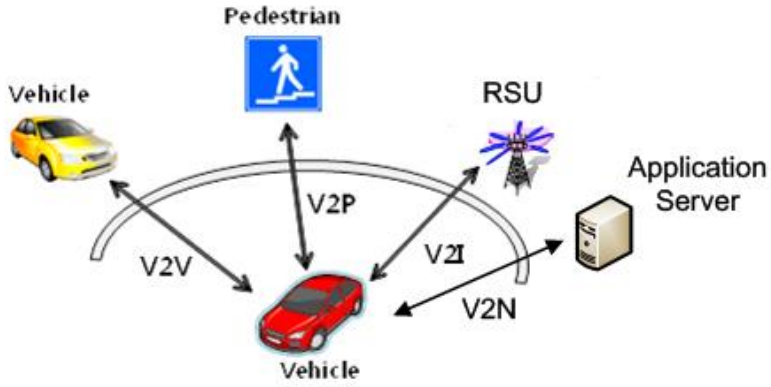


Slika 2. User-to-user putem V2N, [4]

2.2 V2X aplikacije podržane od strane 3GPP-a

Vozilo ka svemu (Vehicle-to-Everything – V2X) aplikacije u trenutnim specifikacijama, sadrže četiri navedena tipa:

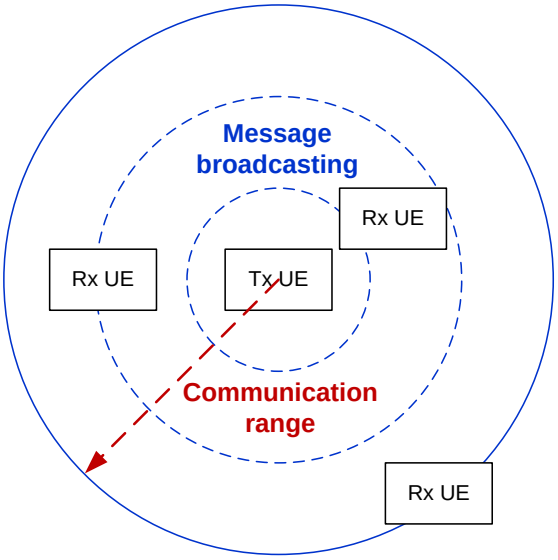
- Vehicle-to-Vehicle (V2V)
- Vehicle-to-Infrastructure (V2I)
- Vehicle-to-Network (V2N)
- Vehicle to Pedestrian (V2P). [5]



Slika 3. Tipovi V2X aplikacija (V2V, V2P, V2N i V2I), [5]

Ove četiri vrste V2X aplikacija mogu upotrebljavati „suradnju svijesti“ za pružanje inteligentnijih usluga krajnjim korisnicima. To znači da subjekti, poput vozila, cestovne infrastrukture, poslužitelja aplikacija i pješaka, mogu prikupljati znanje o svom lokalnom okruženju (npr. informacije primljene od drugih vozila ili senzorske opreme u blizini), da bi to znanje obrađivali i dijelili u svrhu pružanja inteligentnije usluge, poput kooperativnog upozorenja o sudaru ili autonomne vožnje. Ove inteligentne usluge prijevoza i pridruženi skupovi poruka definirani su u automobilskim organizacijama za razvoj standarda (Standards Developing Organizations – SDO) izvan 3GPP-a. Tri su osnovne klase aplikacija za pružanje ITS usluga: sigurnost na cestama, prometna učinkovitost i druge aplikacije. [5], [17]

- **V2V aplikacija** očekuje korisničku opremu (User equipment – UE) koja se nalazi u blizini za razmjenu podataka putem V2V aplikacije. 3GPP prijenos poruka koje sadrže informacije o aplikacijama V2V zahtijeva da UE ima valjanu pretplatu i autorizaciju od mrežnog operatora. Usluga je osigurana za valjanog pretplatnika na UE-u putem standarda za radio pristupnu mrežu, LTE-u (Evolved Universal Terrestrial Radio Access – E-UTRAN), a poslije i putem 5G mreže. UE koji podržava V2V aplikacije odašilje poruke koje sadrže informacije o V2V aplikacijama (npr. mjesto, dinamika i atributi). Opterećenje slanja poruke može biti fleksibilno kako bi se prilagodilo različitim količinama informacija. 3GPP prijenos poruke koji sadrži informacije o V2V aplikaciji uglavnom se temelji na emitiranju kao što je prikazano na slici 4. Takav 3GPP prijenos uključuje prijenos između UE-a izravno i/ili, zbog ograničenog raspona izravne komunikacije, putem infrastrukture koja podržava V2X komunikaciju, npr. jedinica uz cestu (Road Side Unit – RSU), aplikacijski poslužitelj, itd. [5]



Slika 4. Emitiranje bazirano na V2V komunikaciji; [5]

- **V2I (Vehicle-To-Infrastructure)** aplikacija putem UE-a koji podržava navedenu aplikaciju, šalje poruke koje sadrže informacije o V2I aplikaciji na RSU ili lokalno relevantnom aplikacijskom poslužitelju. RSU i/ili lokalno relevantni aplikacijski poslužitelj prenose poruke koje sadrže informacije o V2I aplikacijama na jedan ili više UE-a koji podržavaju V2I aplikacije. Lokalno relevantni aplikacijski poslužitelj služi određeno zemljopisno područje, a i može biti više poslužitelja aplikacija koji poslužuju područja koja se preklapaju, pružajući iste ili različite aplikacije. [5]
- **V2N (Vehicle to Network)** aplikacija putem podržavajućeg UE-a komunicira s aplikacijskim poslužiteljem koji podržava V2N programe. Obje strane međusobno komuniciraju putem razvijenog paketnog sustava (Evolved Packet System – EPS) [5]
- **V2P (Vehicle-To-Pedestrian)** očekuje UE-e koji su u blizini za razmjenu podataka o V2P aplikaciji. 3GPP prijenos poruka koje sadrže informacije o aplikaciji V2P zahtijeva da UE ima valjanu pretplatu i autorizaciju od mrežnog operatora. UE koji podržava V2P aplikacije odašilje poruke koje sadrže informacije o V2P aplikaciji. Očekuje se da informacije o V2P aplikaciji mogu prenijeti ili UE koji podržava V2X aplikaciju u vozilu (npr. upozorenje pješaku) ili UE koji podržava V2X aplikaciju povezanu s ranjivim korisnikom ceste (npr. upozorenje vozilu). [5]

Glavna razlika između 3GPP prijenosa poruka s V2P i V2V aplikacijskim podacima je zbog svojstava UE-a. UE koji podržava V2P aplikacije koje koristi pješak može imati, na primjer, niži kapacitet baterije, osjetljivost radija, može biti ograničena, npr. zbog dizajna

antene, pa možda neće moći slati poruke iste periodičnosti kao UE-i koji podržavaju V2V aplikaciju. [5]

Tablica 1. Zahtjevi za scenarije velikih brzina podataka i gustoće prometa

	Scenarij	Izmjerena brzina podataka (DL)	Izmjerena brzina podataka (DL)	Kapacitet prometnog područja (DL)	Kapacitet prometnog područja (UL)	Ukupna gustoća korisnika	Faktor aktivnosti	UE brzina	Pokrivenost
1	Urbani makro	50 Mbit/s	25 Mbit/s	100 Gbit/s/km^2 (ZAPIS 4)	50 Gbit/s/km^2 (ZAPIS 4)	10 000/km^2	20%	Pješaci i korisnici u vozilima (do 120 km / h)	Puna mreža (ZAPIS 1)
2	Ruralni makro	50 Mbit/s	25 Mbit/s	1 Gbit/s/km^2 (ZAPIS 4)	500 Mbit/s/km^2 (ZAPIS 4)	100/km^2	20%	Pješaci i korisnici u vozilima (do 120 km / h)	Puna mreža (ZAPIS 1)
3	Unutrašnji *hotspot*	1 Gbit/s	500 Mbit/s	15 Tbit/s/km^2	2 Tbit/s/km^2	250 000/km^2	ZAPIS 2	Pješaci	Uredski I stambeni (Zapis 2 I 3)
4	Širokopojasni pristup u masi	25 Mbit/s	50 Mbit/s	[3,75] Tbit/s/km^2	[7,5] Tbit/s/km^2	[500 000]/km^2	30%	Pješaci	Zatvoreno područje
5	Gusti urbani promet	300 Mbit/s	50 Mbit/s	750 Gbit/s/km^2 (ZAPIS 4)	125 Gbit/s/km^2 (ZAPIS 4)	25 000/km^2	10%	Pješaci i korisnici u vozilima (do 60 km / h)	Centar Grada(ZAPIS 1)
6	Usluge emitiranja	Maksimum 200 Mbit/s (po TV kanalu)	N/A ili skromno (e.g., 500 kbit/s po korisniku)	N/A	N/A	[15] TV kanali od [20 Mbit/s] na jednom nosaču	N/A	Stacionarni korisnici, pješaci i korisnici u vozilima (do 500 km / h)	Puna mreža (ZAPIS 1)
7	Brzi vlak	50 Mbit/s	25 Mbit/s	15 Gbit/s/vlak	7,5 Gbit/s/vlak	1 000/train	30%	Korisnici u vlakovima (do 500 km / h)	Uz željeznice (ZAPIS 1)
8	Vozilo velike brzine	50 Mbit/s	25 Mbit/s	[100] Gbit/s/km^2	[50] Gbit/s/km^2	4 000/km^2	50%	Korisnici u vozilima (do 250 km / h)	Uz ceste (ZAPIS 1)
9	Povezivanje zrakoplova	15 Mbit/s	7,5 Mbit/s	1,2 Gbit/s/zrakoplov	600 Mbit/s/zrakoplov	400/plane	20%	Korisnici u zrakoplovima (do 1000 km / h)	(ZAPIS 1)

ZAPIS 1: Za korisnike u vozilima, UE se može izravno povezati s mrežom ili preko bazne stanice koja se kreće.
ZAPIS 2: Pretpostavlja se određena mješavina prometa; samo neki korisnici koriste usluge koje zahtijevaju najviše brzine podataka.
ZAPIS 3: Za interaktivne audio I video usluge, primjerice, virtualne sastanke, potrebna je dvosmjerna krajnja latencija (UL and DL) je 2-4, dok je odgovarajuća testirana brzina prijenosa podataka mora biti do 8k 3D video [300 Mbit/s] *uplink* I *downlink*
ZAPIS 4: Te se vrijednosti dobivaju na temelju ukupne gustoće korisnika na nekom području.
ZAPIS 5: Sve vrijednosti u ovoj tablici ciljane su vrijednosti a ne strogi zahtjevi.

[6]

2.3 Primjeri upotrebe V2X

V2X je predviđen za upotrebu za različite načine, ali osim navedenog standardiziranog V2X gdje je navedena većina primjena, imamo poboljšani vozilo-ka-svemu (enhanced Vehicle-to-Everything – eV2X), u kojem su navedeni dodatni primjeri, ali i poboljšanja postojećih. Navedeni eV2X je u Rel-16, te nudi poboljšanja po pitanju različitih primjera upotrebe V2X kao što su:

- Vožnja u konvojima (Vehicle platooning)
- Razmjena podataka unutar konvoja (Information exhange within platoon)
- Dijeljenje podataka sa senzora i stanja na kartama među automobilima (Sensor and State Map Sharing – SSMS)
- eV2X podrška za udaljenu vožnju (eV2X support for remote driving)
- Automatizirana kooperativna vožnja za kratko-udaljeno grupiranje
- Kolektivna percepcija okoline (Collective Perception of Environment – CPE)
- Zajedničko izbjegavanje sudara (Cooperative collision avoidance – CoCA) povezanih automatiziranih vozila
- Dijeljenje informacija za djelomičnu/uvjetnu ili visoku/potpunu automatsku vožnju
- Dijeljenje informacija za djelomične/uvjetne ili visoko/potpune automatizirane konvoje
- Dinamično dijeljenje vožnje
- Dijeljenje video podataka za potpomognutu i poboljšanu automatsku vožnju (VaD)
- Promjena načina vožnje
- Usklađivanje putanje u nuždi (EtrA)
- Teleoperativna podrška (Teleoperated support – TeSo)
- Informacije o sigurnosti raskrižja za gradsku vožnju
- Kooperativna promjena traka (Cooperative Lane Change – CLC) automatiziranih vozila
- Prijedlog sigurnog ažuriranja softvera za elektroničku upravljačku jedinicu (Electronic Control Unit – ECU)
- Kvaliteta usluge (Quality of service – QoS) aspekata konvoja vozila
- QoS aspekti napredne vožnje
- QoS aspekti daljinske vožnje
- QoS aspekti za proširene senzore
- Različite QoS procjene za različite V2X aplikacije. [7]

Mjerodavan aspekt naprednih V2X aplikacija je razina automatizacije (Level of Automation – LoA), koja odražava funkcionalne aspekte tehnologije i utječe na zahtjeve za

radom sustava. Razine LoA su: 0 – automatizacije, 1 – pomoć vozaču, 2 – djelomična automatizacija, 3 – uvjetna automatizacija, 4 – visoka automatizacija, 5 – potpuna automatizacija. Izdvaja se razlika između nižih i viših razina temeljenih na tome je li za nadgledanje voznog okruženja prvenstveno odgovoran ljudski operater ili automatizirani sustav. [6]

2.3.1 Upravljanje konvojem

Upravljanje konvojem funkcionira na način da upravlja s vozilima u usko povezanom načinu tako da se vozila kreću poput vlaka s virtualnim žicama pričvršćenim između vozila. Da bi održali udaljenost između vozila, vozila trebaju dijeliti informacije o statusu kao što su brzina, skretanje i namjere kao što su kočenje, ubrzanje, itd. Korištenjem konvoja može se smanjiti udaljenost između vozila, smanjiti ukupna potrošnja goriva, ali i broj potrebnih vozača

Sljedeći aspekti moraju biti podržani za oblikovanje konvoja:

- Pridruži/Ostavi

  Da bi formirali konvoj, vozila trebaju razmjenjivati namjere poput interesa za formiranje konvoja, namjera da neki od vozila bude vođa konvoja, a ostali sljedbenici. Kad vozilo stigne na odredište ili mora napustiti konvoj, ovu namjeru također treba razmijeniti među vozilima konvoja, te se takve vrste razmjene namjera mogu dogoditi u bilo kojem trenutku dok je konvoj aktivan.
- Obavijest/Upozorenje

  Kada je konvoj formiran i u funkciji, vozilo koje ne pripada njemu treba biti svjesno postojanja konvoja. U suprotnom, vozilo se može kretati u blizini konvoja i ometati rad konvoja, stoga bi konvoj trebao biti poznat i drugim vozilima izvan raspona komunikacije među vozilima istog konvoja.
- Grupna komunikacija

  Postoji nekoliko poruka koje se razmjenjuju za upravljanje konvojom. Na primjer, vozila konvoja trebaju razmjenjivati informacije u vezi s tim kada treba krenuti cestom, kočiti ili ubrzavati i kada, itd. Treba podržati najmanje 30 poruka svijesti o suradnji (Cooperative Awareness Messages – CAM)/sekundi. Pored toga, vozilo koje vodi konvoj troši više goriva od ostalih vozila, te će ponekad to vozilo zatražiti da sljedeće vozilo bude predvodnik. Ova vrsta komunikacije može se obaviti između dva vozila bez sudjelovanja drugih vozila. Da bi se spriječile potencijalne sigurnosne prijetnje, poput otkrivanja rute, ove bi poruke trebale biti nepristupačne ostalim sudionicima, tako da ih

mogu dešifrirati samo vozila unutar konvoja. Pored toga, zbog privatnosti poruka, raspon komunikacija ovih poruka kreće se od vodećeg vozila do posljednjeg vozila konvoja, a može se dogoditi i unutar vidljivog dijela vožnje. Budući da se veličina konvoja može razlikovati čak i u pokretu, treba podržavati distribuciju poruka kojima je namijenjena unutar konvoja i dinamičke kontrole područja distribucije poruka koje su učinkovite. [7]

- Podržana su dva skupa zahtjeva za izvedbu upravljanja konvojem
    - Skup 1: Udaljenost između vozila za ugradnju normalne gustoće može biti veća od 2 metra. Kada se konvoj kreće brzinom od 100 km/h, vozila se kreću 1 metar u 36 ms. S obzirom na zaokret i vrijeme obrade treba poduprijeti frekvenciju prijenosa poruke do 40 Hz, vrijeme prijenosa 25 ms u kraj-prema-kraju (End-to-End – E2E) zaostajanja sa porukama veličine od oko 300-400 bajtova trebaju biti podržani.
    - Skup 2: Udaljenost vozila za upravljanjem konvojem u području visoku gustoće je 1 metar. Kada se konvoj kreće brzinom od 100 km/h, vozila se kreću 1 metar u 36 ms. Uzimajući u obzir vrijeme povratne informacije i latenciju obrade, frekvencija za prijenos poruke je do 100 Hz, a vrijeme prijenosa u najmanje 10ms zaostajanja s veličinom poruke od oko 50-1200 bajtova. [7]

Ako je konvoj predug, ponekad će se prekinuti rad ostalih vozila i tijela za upravljanjem prometom. Dakle, trebalo bi ograničiti koliko vozila može biti uključeno u konvoj. To je izrazit slučaj kao na primjer kod kamiona, koji mogu biti dugi i do 15 m. [7]

Kada vozila putuju cestom, mogu dinamički formirati konvoj. Tvorac konvoja je odgovoran za upravljanje konvojem. Upravitelj treba u stvarnom vremenu ažurirati okolne podatke o prometu koje su izvijestili članovi grupe, i prijaviti ih cestovnoj jedinici (Road Side Unit - RSU-u). Istovremeno, voditelj konvoja bi trebao u stvarnom vremenu primati RSU poruke koje uključuju stanje na cestama i informacije o prometu i dijeliti ih s članovima konvoja. Svi članovi konvoja također mogu putem V2V razmjenjivati informacije unutar grupe i mogu dobiti informacije na dva načina. Jedan od načina je unutar konvoja kroz V2V, a drugi je iz RSU-a, koji se temelji na emisiji podataka voditelja konvoja. Sve dobivene informacije upotrijebit će se za izradu vrlo preciznih dinamičnih karata vožnje [7].

Tablica 2. Zahtjevi za performanse za vozila konvojima

Opis scenarija komunikacije		Korisna nosivost (Bajtovi)	Tx stopa (poruka/ Sek)	Max end-to-end latencija (ms)	Pouzdanost (%) (ZAPIS 5)	Brzina prijenosa podataka (Mbit/s)	Minimalna potrebni domet komunikacije (metri) (ZAPIS 6)
Scenarij	**Stupanj**						
Kooperativna vožnja za vozila u konvoju, razmjena informacija između skupine UE koji podržavaju V2X aplikaciju	Najniži stupanj automatizacije	300-400 (ZAPIS 2)	30	25	90		
	Nizak stupanj automatizacije	6500 (ZAPIS 3)	50	20			350
	Najviši stupanj automatizacije	50-1200 (ZAPIS 4)	30	10	99.99		80
	Visok stupanj automatizacije			20		65 (ZAPIS 3)	180
Potrebne povratne informacije za upravljanje konvojem između UE-a koji podržavaju V2X aplikaciju i UE-a koji podržavaju V2X i RSU	N/A	50-1200	2	500			
Razmjena informacija za upravljanje konvojem između UE-a koji podržava V2X aplikaciju I RSU	Niži stupanj automatizacije	6000 (ZAPIS 3)	50	20			350
	Viši stupanj automatizacije			20		50 (ZAPIS 3)	180

ZAPIS 2: Ova je vrijednost primjenjiva i na aktivirani i povremeni prijenos paketa podataka
ZAPIS 3: Podaci koji su uzeti u obzir u ovom V2X scenariju uključuju i kooperativne manevre i podatke kooperativne percepcije koji bi se mogli razmijeniti korištenjem dvije odvojene poruke u istom razdoblju (npr., Potrebna latencija 20ms)
ZAPIS 4: Ova vrijednost ne uključuje komponentu poruka vezanih za sigurnost
ZAPIS 5: U ovoj tablici treba osigurati dovoljno pouzdanosti čak I za stanice koje nemaju vrijednost
ZAPIS 6: Ovo se zaprima s obzirom na brzinu UE-a od 130 km/h. Sva vozila u konvoju voze se u istom smjeru

[6]

2.3.2 Podrška za daljinsku vožnju

Daljinska vožnja je koncept u kojem vozilom na daljinu upravlja ljudski operator ili računalo u oblaku. Iako je za autonomnu vožnju potrebno puno senzora i sofisticiranih algoritama poput identifikacije objekata, daljinska vožnja s ljudskim operatorima može se ostvariti koristeći manje navedenih zahtjeva. Na primjer, ako kamera u vozilu prikazuje video zapis uživo prema ljudskom operateru, ljudski operater može lako razumjeti potencijalnu opasnost vozila bez pomoći bilo kakvog sofisticiranog računanja. Na temelju tog videozapisa,

udaljeni operater šalje naredbe vozilu. Udaljena vožnja može imati drugačiji slučaj uporabe od autonomne vožnje. Autobusi slijede unaprijed definirane statičke rute i određenu traku i zaustavljaju se na unaprijed definiranim autobusnim stajalištima. Stoga su karakteristike upravljanja tim autobusima nešto drugačije od onih koje su potrebne za rad s autonomnim vozilima. Za ove autobuse video prijenos uživo uključuje ne samo sliku vanjskog prometnog traka, već i sliku unutar autobusa, tako da udaljeni operatori dodatno trebaju reagirati na različite situacije, poput putnika koji konstantno izlaze i ulaze u prijevozno sredstvo. [7]

Također, kada računalo u oblaku zamjenjuje ljudske operatore, može se postići koordinacija između vozila. Na primjer, ako sva vozila isupnjavaju svoj raspored i odredište, putem oblaka se može koordinirati put kojim će svako vozilo krenuti. Ta koordinacija smanjit će potencijalne gužve u prometu, ukupno vrijeme putovanja, što će dovesti do veće učinkovitosti i manje potrošnje goriva. [7]

3GPP navodi da će C-V2X sustav podržavati korisničku brzinu do 1 Mbit/s pri DL-u i 20 Mbit/s na UL-u za UE koji podržava V2X aplikaciju za apsolutnu brzinu do 250 km/h. Osim toga trebao bi podržavati E2E latenciju do 5 ms između V2X aplikacijskog servera i UE-a koji podržava sigurnosno-povezane V2X aplikacije za apsolutnu brzinu do 250 km/h. [7]

2.3.3 Automatizirana kooperativna vožnja za kratko-sežno grupiranje

Kooperativna vožnja omogućuje skupini vozila da automatski komuniciraju kako bi se omogućila promjena, kretanje i prolazak između vozila u grupi i uključivanja/uklanjanja vozila u grupi radi poboljšanja sigurnosti i uštede goriva. [7]

Automobilska industrija je navela ovaj slučaj upotrebe kao vrlo bitan, jer bi smanjeno aerodinamično povlačenje dovelo do veće ekonomičnosti goriva i smanjenja emisije stakleničkih plinova. Za sve klase vozila, blisko praćenje od V2V komunikacije i koordinacije, omogućava učinkovitiju uporabu kolnika, ublažavajući zagušenja i povećavajući sigurnost. Predviđeno je da međuprostor između vozila bude znatno manji, što premašuje sposobnost reakcije vozača, istovremeno poboljšavajući potrošnju benzina i još više poboljšavajući iskoristivost cesta. Automatizirana vožnja u suradnji zahtijeva daleko više automatizacije od kolaborativnog prilagodljivog tempomata (Cooperative Adaptive Cruise Control – CACC) opisanog u Rel-14 V2X. CACC osigurava uzdužnu kontrolu pokreta vozila, dok vozač ostaje odgovoran za upravljanje upravljačem. CACC je instancija automatizacije razine 1, ljestvice automatizirane vožnje definirane od strane Društva automobilskih inženjera (Society of Automotive Engineers – SAE) i Državne uprave za sigurnost cestovnog prometa (The National

Highway Traffic Safety Administration – NHTSA). Alternativno je nazvano „Potpomognuta vožnja“ od strane Njemačkog saveznog instituta za autoceste (German Federal Highway Research Institute – BASt) i slično „Pomoć vozaču“ od strane SAE-a. Automatsko kooperativna vožnja omogućava 'strožu' ili uzdužnu kontrolu niske latencije kako bi omogućila vođi konvoja komunikaciju i koordinaciju s grupom vozila, što omogućava blisko slijeđenje. Nadalje, automatska kooperativna vožnja može dodati bočnu kontrolu ili višu razinu automatizacije. Konceptualni okvir automatske kooperativne vožnje omogućava inovativnu upotrebu komunikacijskog pristupa u rješavanju kompleksnih situacija cestovnog prometa bez intervencije vozača što omogućava SAE Razinu 2 do Razine 5 automatizacije. Emisija osnovne sigurnosne poruke (Basic Safety Message – BSM) i slična upotreba CAM-e za sigurnost V2V-a obično omogućavaja nominalnu latenciju od 100 ms, budući da je upravljačka petlja za upozoravanje ljudi dugačka. Uz to, V2V sigurnosna upozorenja omogućavaju pouzdanost čak i do 20%.

Suprotno tome, automatizirana kooperativna vožnja zahtijeva

- Vrlo nisku latenciju za razmjenu poruka
- Veću pouzdanost razmjene poruka: komunikacijske veze moraju djelovati izuzetno pouzdano kako bi umanjile rizik od sudara vozila
- Veću gustoću odašiljanja UE-a
- Razmjena većih poruka.

Kooperativno kratkosežno grupiranje (Cooperative Short Distance Grouping – CoSdG) odnosi se na scenarij u kojem je udaljenost između vozila poput kamiona, izuzetno mala – stvarajući poželjan oblik bliske vožnje iza drugog vozila. Iznos razmaka pretvorena u vrijeme je ekvivalentno niska kao 0,3 s ili čak i kraća, što pri brzini od 80 km/h vodi na gotovo 6,7 m udaljenosti između vozila. Tako bliska vožnja omogućena je tehnologijom napredne automatizirane kooperativne vožnje, u kombinaciji s visoko pouzdanim bežičnim komunikacijskim sustavom između vozila koji omogućava prijenos podataka sa niskom latencijom.

CoSdG se razlikuje od trenutačnih implementacija konvoja, gdje ITS-G5 uspješno koristi pri širokom rasponu brzina prijenosa (10 Hz - 50 Hz). CoSdG predviđa bliže razmake i nižu latenciju od onoga što se pouzdano može postići alternativnim tehnologijama. Stoga bi CoSdG omogućio značajno poboljšanje stabilnosti, učinkovitosti i konačno sigurnosti. [7]

- Potrebna je pouzdana bežična komunikacija među vozilima u kooperativnoj grupi. Poruke se razmjenuju između vodećih vozila i svih surađujućih vozila kako bi se istovremeno izvršile kontrolne radnje. CoSdG se ne mora upravljati samo V2V komunikacijom, već može biti i V2I, te komunikacija vozila prema sigurnosnom sustavu kako bi se osigurala najučinkovitija upotreba raspoloživih sredstava i potrebna pouzdanost.
- CoSdG se može koristiti zajedno s video prijenosom. Ploča zaslona u bilo kojem vozilu dijeli podatke usmjerene prema naprijed, dok vozači druge skupine koji međusobno komuniciraju mogu prikazati videozapis prikupljen kamerom postavljene na drugim vozilima.
- CoSdG omogućava izravnu kontrolu intervencija u zadacima sa kritičnim scenarijima. Gubitak podataka može dovesti do sudara vozila. Poruke se moraju pouzdano prenijeti i isporučiti s vrlo niskom latencijom. Treperenje mora biti vrlo malo, jer elektronička upravljačka jedinica obično koristi podatke dobivene periodično. Više vozila mora biti povezano s vodećim vozilom bežičnom antenom. Kada se razmatra kombinacija vozila na cesti, broj vozila može premašiti 10000 vozila u scenarijima s više traka, više razina i vrsta ceste. [7]

Faze za CoSdG:

- U fazi I predlaže se osnovna linija sa skupinom vozila koja voze zajedno s glavnim vozilom, od strane obučenih profesionalnih vozača i nekoliko vozila koja slijede u potpunosti automatski od strane sustava. Informacije se razmjenjuju između vođe konvoja i ostalih automobila omogućavajući malu udaljenost (uzdužne praznine) između njih. Tipična potrebna frekvencija prijenosa među vozilima je do 40 Hz, što znači 25 ms E2E latenciju. Početno razmatranje razmjene poruka između vozila u konvojima temelji se na CAM proširenju, koje iznosi oko 300 – 400 bajtova.
- U fazi II, sva vozila, vozila koja vode, kao i slijedeća vozila pokreću se i voze u potpunosti automatski od strane sustava. To će, u usporedbi s Fazom I, omogućiti manju udaljenost (uzdužne praznine) između njih, što će dovesti do daljnjeg smanjenja potrošnje goriva. To zahtijeva u fazi II višu frekvenciju prijenosa u odnosu na fazu I. Frekvencija prijenosa je 100 Hz za koordiniranje manevra vožnje. E2E latencija je 1 ms. [7]

Uz to, mobilna mreža bi trebala podržavati tehnike preciznog pozicioniranja kako bi se osiguralo da se V2X informacije mogu koristiti čak i kada GPS nije dostupan, npr. u vrlo gustim urbanim sredinama [7].

Tablica 3. Zahtjevi performansi za naprednu vožnju

Opis scenarija komunikacije		**Korisna nosivost (Bajti)**	**Tx stopa (poruka/ sek)**	**Max end-to-end latencija (ms)**	**Pouzdanost (%) (ZAPIS 3)**	**Brzina prijenosa podataka (Mbit/s)**	**Min potreban raspon komunikacije(metri) (ZAPIS 4)**
Scenarij	**Stupanj**						
Kooperativno izbjegavanje sudara između UE-a koji podržavaju V2X aplikacije.		2000 (ZAPIS 5)	100 (ZAPIS 5)	10	99.99	10 (ZAPIS 1)	
Dijeljenje informacija za automatsku vožnju između UE-a koji podržavaju V2X aplikaciju.	Niži stupanj automatizacije	6500 (ZAPIS 1)	10	100			700
	Viši stupanj automatizacije			100		53 (ZAPIS 1)	360
Dijeljenje informacija za automatsku vožnju između UE-a koji podržava V2X aplikaciju i RSU-a	Niži stupanj automatizacije	6000 (ZAPIS 1)	10	100			700
	Viši stupanj automatizacije			100		50 (ZAPIS 1)	360
Usklađivanje putanje u nuždi između UE-a koji podržavaju V2X aplikaciju.		2000 (ZAPIS 5)		3	99.999	30	500
Podaci o sigurnosti raskrižja između RSU-a i UE-a koji podržavaju V2X aplikaciju.		UL: 450	UL: 50			UL: 0. 25 DL: 50 (ZAPIS 2)	
Kooperativna promjena trake između UE-ova koji podržavaju V2X aplikacije	Niži stupanj automatizacije	300-400		25	90		
	Viši stupanj automatizacije	12000		10	99.99		
Dijeljenje videa između UE-a koji podržava V2X aplikaciju i V2X aplikacijskog poslužitelja.						UL: 10	

[6]

ZAPIS1: To uključuje i kooperativne manevre i kooperativne percepije podataka koji se mogu razmijeniti korištenjem dvije odvojene poruke u istom razdoblju (Potrebna latencija 100 ms)

ZAPIS 2: Ova vrijednost odnosi se na maksimalni broj od 200 UE-a. Vrijednost 50 Mbit/s DL primjenjiva je na emitiranje ili je najveća skupna brzina svih UE za *unicast*.

ZAPIS 3: Treba osigurati dovoljno pouzdanosti čak i za ćelije koje u ovoj tablici nemaju vrijednosti

ZAPIS 4: Ovo se dobiva s obzirom na brzinu UE od 130 km / h. Vozila se mogu kretati u različitim smjerovima.

ZAPIS 5: Te se vrijednosti temelje na izračunima samo za kooperativni manevar.

2.3.4 Kolektivna percepcija okoline

Vozila mogu međusobno razmjenjivati informacije (temeljene na podacima senzora vozila ili podacima senzora iz sposobnog UE-ovog RSU-a) međusobno u susjednom području. Ova vrsta razmjene informacija dovodi do kolektivne percepcije okoliša (Collective Perception of Environment – CPE), što može poboljšati percepciju okoline vozila kako bi se izbjegle nezgode. 9.840 automobila po kilometru smatra se scenarijom s velikom gustoćom vozila povezanom sa zagušenom prometnicom na američkoj autocesti s 5 traka u svakom smjeru (ili 10 traka ukupno po autocesti) i do 3 autoceste koje se presijecaju. [7]

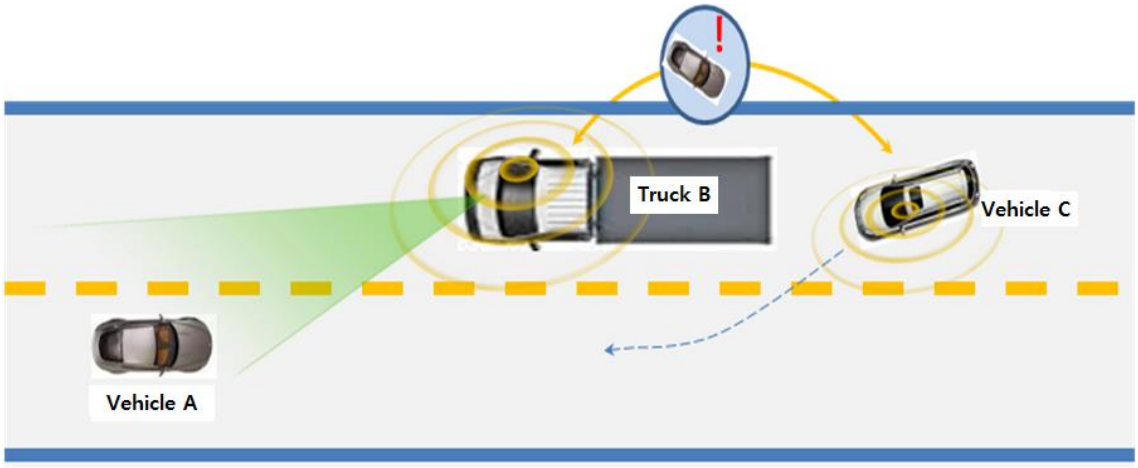
Razmjena podataka ima sljedeće karakteristike:

- Informacijski promet trebao bi se sastojati od najmanje 1600 bajta korisnog opterećenja kako bi se omogućio prijenos infromacija povezanih s 10 detektiranih objekata u svrhu pružanja informacija iz percepcije lokalne okoline i informacija povezanih sa stvarnim stanjem vozila.
- Informacije mogu biti u stanju pratiti promjene u okruženju mnogih drugih automobila, pri čemu brzina ponavljanja iznosi najmanje 5-10 Hz. Brzina ažuriranja odabrana je dovoljno frekventno da se vektor brzine vozila ne mijenja previše između ažuriranja. Podaci koje generira svako vozilo moraju se dostaviti svim susjednim vozilima unutar određenog raspona (gradska 50 m, ruralna 500 m, autocesta 1000 m). Obje vrste prometa (povremeno i usmjereno na događaje) mogu postojati istodobno. [7]

Bit će dvije faze CPE-a, možemo imati dva seta ključnih pokazatelja performansi (Key performance indicator – KPI) za dvije faze, 1. skup KPI-ova za I. fazu i 2. skup KPI-ova za II. fazu:

- Faza I: CPE obrađuje slučaj upotrebe u kojem korisnici ceste koji nisu u mogućnosti periodično prenijeti poruke za ITS usluge detektiraju i klasificiraju drugi korisnici ceste koji su već opremljeni 3GPP tehnologijom za ITS. Navedeni cestovni korisnici povremeno prenose informacije poput klasifikacije predmeta brzine, smjera itd. otkrivenog s lokalnim senzorima. Prethodno obrađene informacije senzora koriste se za poboljšanje percepcije okoline s općim ciljem povećanja koristi od 3GPP tehnologije za ITS čak i na nepotpunom razvijenom tržištu. Zahtjevi za 3GPP: Veličina paketa 1600 bajta, E2E latencija 100 ms, 99% pouzdanost.
- Faza II: CPE postavlja osnovnu liniju za niz slučajeva kooperativne automatske vožnje (automatizirano izbjegavanje prednjeg sudara, preticanje i promjena prometne trake).

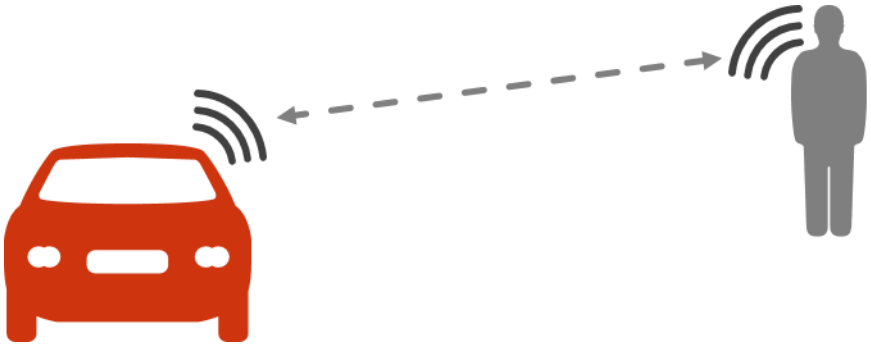
Faza II nadilazi otkrivanje i klasificiranje sudionika u prometu, cilj je postizanje sveobuhvatnog prikaza. Informacije o senzorima se dijele kako bi se povećao ograničeni horizont senzora za otkrivanje objekata i prepreka na područjima koja nisu vidljiva lokalnim senzorima, npr. iza pukotina, zavoja ili predmeta iza ugla zgrada. Ti se senzorski podaci koriste za upravljanje vozilom bez ljudskog vozača. Podaci senzora moraju se slati ili u niskoj razlučivosti kao prethodno obrađeni podaci ili u visokoj razlučivosti kao neobrađeni podaci, ovisno o scenariju. Sirovi podaci potrebni su iz razloga odgovornosti u slučaju nesreće, za raspodijeljenu provjeru podataka lokalnog i daljinskog senzora, te nadalje za postizanje preciznog spajanja karata kao i lokalizacije objekata. Performanse mobilne komunikacije značajno utječu na precizno modeliranje okruženja. Zahtjevi za 3GPP: prethodno obrađeni podaci 50 Mbit/s, obrađeni podaci 1 Gbit/s, veličina paketa 1600 bajta, E2E latencija 3 ms, pouzdanost (hitnost 99,999%), inače 99,99%.



Slika 5. Kolektivna percepcija okoline, [7]

2.3.5 Dinamičko dijeljenje vožnje

Ovaj slučaj upotrebe omogućuje vozilu da izrazi spremnost za dijeljenje kapaciteta s drugim korisnikom ceste, a pješaku da naznači namjeru putovanja u dionici vožnje. Vozilo može dijeliti informacije o sebi kao što su trenutačno zauzeće, raspoloživi kapacitet, odredište, predviđeno vrijeme dolaska itd. Pješak može dijeliti informacije o sebi kao što su odredište, neke osobne podatke i vjerodajnice, itd. [7]



Slika 6. Dinamičko dijeljenje vožnje, [7]

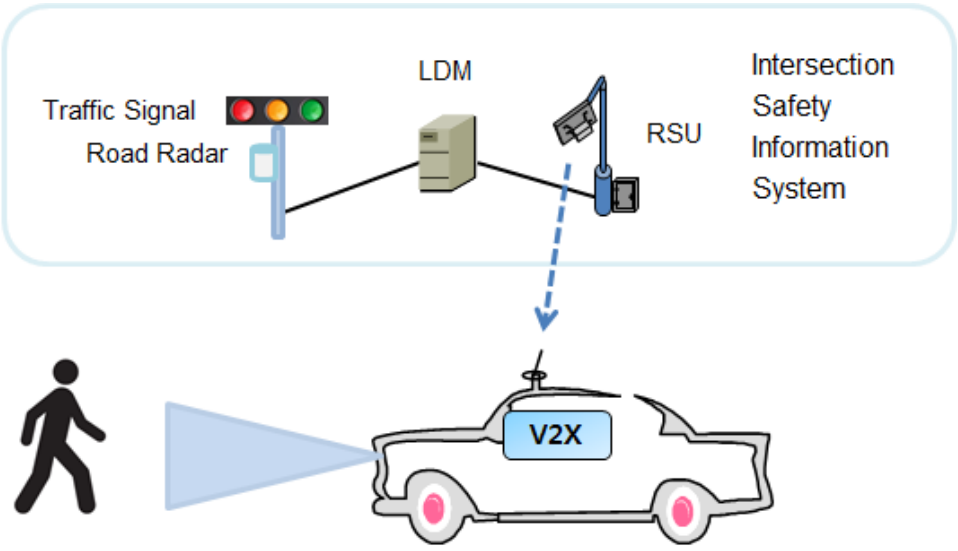
Dva sudionika zajedno mogu donijeti odluku o prikladnosti za dinamičko dijeljenje vožnje i iznijeti bilo kakve pozitivne informacije pješaku i/ili vozaču. Ovaj se scenarij može temeljiti na vozilu koje je u privatnom vlasništvu, udruženom vozilu, privatnom najmu, taksiju, javnom prijevozu, prijevozu u kampusu i drugim oblicima dinamike dijeljenja vožnje. [7]

2.3.6 Informacije o sigurnosti raskrižja za gradsku vožnju

Prometne nesreće se obično događaju na raskrižju gdje je velika koncentracija vozila i pješaka. Vozilima se pružaju informacije o okolini putem sigurnosnih informacija u svrhu sprečavanja prometnih nesreća i podrške prema kooperativnim funkcijama automatizirane vožnje kada vozila prolaze kroz raskrižje. Informacije o sigurnosti na raskrižju uključuju precizne digitalne karte, informacije o prometnom signalu, informacije o stanju pješaka i vozila koja se kreću te podatke o lokaciji, uglavnom izražene u lokalnoj dinamičkoj mapi (Local Dynamic Map – LDM). Podaci o LDM-u preuzimaju se u vozila povremeno ili na zahtjev. Ove informacije bit će potrebne za poznavanje stanja raskrižja i upravljanje automatiziranim vozilima. [7]

Ovu uslugu provodi sigurnosno informacijski sustav raskrižja koji se sastoji od cestovnog radara, prometne signalizacije, LDM servera i RSU-a. LDM poslužitelj nadzire situaciju na cesti, s radara na cestama i prometnim signalom, te generira LDM informaciju i isporučuje je UE-u preko RSU-a.

Mogućnost sustava za podršku pružanja podataka o sigurnosti raskrižja može se procijeniti analizom veličine LDM poruke, broja aktiviranih vozila i automatizirane brzine vozila za prometni model raskrižja. [7]



Slika 7. Primjer sigurnosnog informacijskog sustava raskrižja, [7]

1. Prometni model raskrižja

   Raskrižje ima 4 smjera i 2 trake za svaki smjer. Komunikacijska pokrivenost je 250 m, a 50 vozila pridružuje se komunikaciji za svaki smjer. Najveći broj vozila iznosit će 200, a automatizirana vozila mogu voziti prosječnom brzinom od 60 km/h.

2. Veličina LDM poruke i brzina prijenosa

   LDM poruka sastoji se od podataka o statičkoj karti, informacija o fazi prometnog signala, informacija o pokretnim objektima (pješaka ili vozila). Veličina LDM poruke procjenjuje se na 400-500 bajtova. Automatizirana vozila se kreću 16 m/s. Brzina prijenosa LDM poruka mora biti najmanje 10 poruka/s za sigurnosne primjene, a to znači da će LDM poruka biti primljena na svakih prijeđenih 1,6 m. Brzina prijenosa LDM poruka bit će veća od 50 poruka/s za automatizirane aplikacije upravljanja vozilom, a to znači da će se korak upravljanja vozilom izvesti na udaljenosti od 32 cm.

3. Brzina i pouzdanost paketa podataka

   Na temelju zadanog uvjeta da postoji 200 vozila, veličina LDM poruke je 450 bajtova, a brzina prijenosa poruke 100, potrebna brzina podataka izračunava se:

   450 bajtova * 8 bita * 200 vozila * 50 poruka u sekundi = otprilike 36 Mbit/s

   Treba razmotriti učinkovitost prijenosa paketa za 60-70%. Stoga će brzina paketa podataka biti 50 Mbit/s. Također se LDM poruke koriste i za sigurnosne i kontrolne programe. [7]

3. 3GPP STANDARDIZACIJA C-V2X TEHNOLOGIJE

U zadnjih se dva desetljeća teži ka efikasnim Inteligentnim transportnim sustavima i eventualno za sigurnijim, ekološkijim i pametnijim cestama, što je dovelo do predstavljanja rezerviranih kratkosežnih komunikacija (DRSC) temeljenih na IEEE 802.11p standardu. Unatoč činjenici da se DRSC može smatrati kao trenutnu primarnu soluciju za komunikaciju među vozilima mnogi doprinositelji, proizvođači automobila, dobavljači i regulatori, pokazali su interes prema LTE tehnologiji kao alternativnoj soluciji za prometnu ad-hoc mrežu, ali i prema budućoj 5G NR tehnologiji, što bi omogućilo vozilima da dijele podatke o svojoj lokaciji, unaprijed definiranoj ruti i kretnjama [8].

3.1 Standardizacija LTE – V2X

V2X komunikacija omogućava vozilima, ranjivim skupinama sudionika u prometu i infrastrukturnim objektima međusobnu komunikaciju. C-V2X ili Cellular V2X je predstavljen unutar 3GPP-ovog izvješća 14 gdje je započela standardizacija navedene tehnologije 2014. godine. Fundamentalna tehnologija C-V2X jest LTE, a specifikacije su objavljene još 2016. godine. Pošto je C-V2X je baziran na LTE tehnologiji unutar izvješća 14, često se naziva LTE-V2X, gdje podržava direktnu komunikaciju, ali i komunikaciju prema mreži kao što smo već naveli. U izvješću broj 15, 3GPP proširuje funkcionalnosti C-V2X koja bi bila zasnovana na 5G-u, ali ona je i dalje u razvoju i tek se treba testirati. [2]

3GPP objavio je 2016. godine u izvješću 14 standard u kojem je predstavio četiri komunikacijska moda. Mod – 1 i Mod – 2, na koje se obično odnosi kao uređaj-ka-uređaju (Device to Device – D2D) vrsti komunikacije ili usluga neposredne blizine (Proximity Service – ProSe). Navedene tehnologije nasljeđene su od prijašnjeg 3GPP-ovog izvješća 12 i definirano je novo komunikacijsko sučelje poznato kao „bočna veza“ (sidelink – SL*)* ili PC5 sučelje [8]. Sidelink komunikacija omogućuje UE-u da zaobiđe centralnu LTE baznu stanicu ili poznatiju kao eNodeB i da komunicira na način korisnik-ka-korisniku (Peer-to-Peer – P2P) što može biti korišteno od strane mnogih aplikacija, kao i za dijeljenje sadržaja unutar zatvorenog prostora, dijeljenje mreže i korištenje mreža sa niskom razinom potrošnje. Navedena komunikacija uređaj-ka-uređaju (Device-to-Device – D2D) ne može zadovoljiti stroge sigurnosne zahtjeve za vozila, posebno u svrhu pouzdanosti i latencije komunikacija [8].

Osim navedenih, 3GPP je u Rel-14 naveo Mod – 3 i Mod – 4 vrste komunikacije. Širok spektar konfiguracijskih parametara i značajki definirani su u navedenom izvješću, što

omogućava poboljšanje i optimiziranje mrežne preformanse sukladno sa specifičnim situacijama. Navedena su poboljšanja u slučaju izbjegavanja sudara, pristupima kanalu, te hibridnom automatskom ponovljenom zahtjevu (Hybrid Automatic Repeat reQuest – HARQ) koja su napravljena da bi ublažila degradaciju preformansi i pružila poboljšanu skalabilnost, koje je od izuzetne važnosti kod vožnje u sredinama visoke gustoće prometa.

UE radi u Modu – 3 kada je mrežna pokrivenost dostupna, a eNodeB ima zadaću za zakazivanjem i raspoređivanjem resura, suprotno tome Mod – 4 je definiran kao podrška za komunikacije koje su izvan pokrivenosti ili imaju djelomičnu pokrivenost. U kontrastu sa slučajnom alokacijom podataka u Modu – 2, koji pati od ozbiljnih poteškoća i čestim sudarom paketa informacija, Mod – 4 posjeduje poboljšani sustav sa mehanizmom koji umanjuje broj sudara paketa koji iskorištava zastupljenost kanala da bi smanjio vjerojatnost sudara. Mod – 4 sidelink komunikacija je zapravo C-V2X ili kako je znaju navesti u znanstvenoj literaturi LTE-V ili LTEV2V.

Novo sučelje koje je predstavljeno za ProSe aplikaciju u 3GGPU izvještaju broj 12 koristi se od strane C-V2X. Preuređena mrežna arhitektura uključuje popriličan broj dodataka gdje su Uu i PC5 veze korištene unutar C-V2X. PC5 je jedna prema mnogim komunikacijsko sučelje koje omogućuje UE-ovima da odašilju svoje poruke. U Modu – 4, podaci i kontrolne informacije komuniciraju kroz PC5 vezu, dok Uu veže UE prema LTE zračnom mediju poznatom kao E-UTRAN [8].

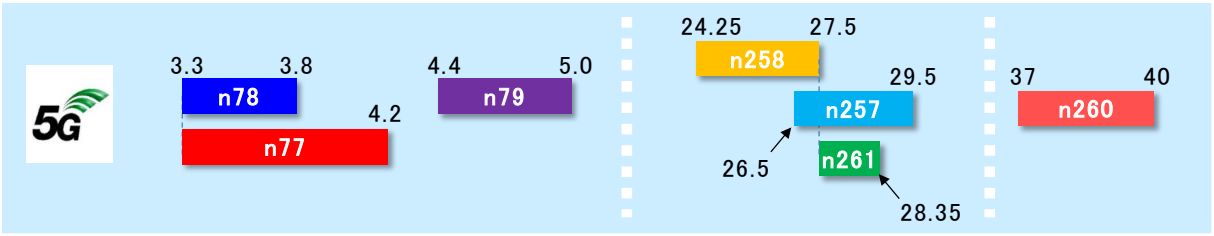
V2X con-current configuration	Operating Band	Interface	Uplink (UL) operating band BS receive UE transmit	Downlink (DL) operating band BS transmit UE receive	Duplex Mode
			F_{UL_low} – F_{UL_high}	F_{DL_low} – F_{DL_high}	
V2X_3-47	3	Uu	1710 MHz – 1785 MHz	1805 MHz – 1880 MHz	FDD
	47	PC5	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz 5925 MHz	TDD
V2X_7-47	7	Uu	2500 MHz – 2570 MHz	2620 MHz – 2690 MHz	FDD
	47	PC5	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz 5925 MHz	TDD
V2X_8-47	8	Uu	880 MHz – 915 MHz	925 MHz – 960 MHz	FDD
	47	PC5	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz 5925 MHz	TDD
V2X_39-47	39	Uu	1880 MHz – 1920 MHz	1880 MHz – 1920 MHz	TDD
	47	PC5	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz 5925 MHz	TDD
V2X_41-47	41	Uu	2496 MHz – 2690 MHz	2496 MHz 2690 MHz	TDD
	47	PC5	5855 MHz – 5925 MHz	5855 MHz 5925 MHz	TDD

Slika 8. V2X pojasi u kojima djeluje, [9]

3.2 Frekvencijski spektar

Navedena su dva frekvencijska područja za NR tehnologiju (Frequency range – FR) koji su: FR1 ispod 6 GHz pojasa (450- 6000 MHz) i FR2, milimetarsko područje vala (24250-52600 MHz). Oba pojasa su identificirana u Rel -15 NR SI. Zahtjevi za radijskom frekvencijom (Radio Frequency – RF) i upravljanjem spektralnim resursima (Radio resource management – RRM) razvijeni su za odgovarajući raspon frekvencija. NR pojasevi su određeni s obzirom na zahtjeve tržišta i razvrstani u sljedeće četiri vrste. Svi NR rasponi su definirani s prefiksom „n“ da bi ih razlikovali od frekvencijskih područja za ostale RAT-ove. [10]

1. LTE „*refarming*“ područje: Pojasi imaju odgovarajuće LTE pojase. Na primjer, NR pojas n7 odgovara LTE pojasu 7. Stoga je vjerojatnije da će se pojasi koristiti „preoblikovanjem“ postojećih LTE pojasa.
2. NR novi pojasevi u FR1: Potpuno novi frekvencijski pojasevi za NR i FR1 čiji odgovarajući LTE pojasevi ne postoje.
3. NR novi pojasevi u FR2: Ovo je novi frekvencijski pojas za NR u FR2. Nema LTE pojaseva specificiranih u FR2-u.
4. Dopunski UL (Supplemental Uplink – SUL) / dopunski downlink (Supplemental Downlink – SDL) pojas. SUL/SDL pojas ima samo uplink/downlink frekvenciju, i može se koristiti s drugim vrstama NR pojasa kao što je opisano ispod. [10]



Slika 9. Novi NR pojasevi u FR1 i FR2 u Rel.15 NR, [10]

3.3 Standardizacija NR – V2X

Uz rad na Rel-14, kako bi podržao V2X usluge temeljene na LTE-u, Rel-15 rad na eV2X nadalje specificira servisne zahtjeve za poboljšanje 3GPP podrške za V2X scenarije. 5G tehnologija nije u potpunosti implementirana, ali će biti temeljena na modovima iz LTE-V2X standardizacije. Taj osnovni skup zahtjeva za EPS, za podržavanje V2X aplikacija naveden je u [5].

Ovi zahtjevi smatraju se dovoljnima da vozila (tj. UE-i koji podržavaju V2X aplikacije) razmjenjuju vlastite podatke o statusu, poput položaja, brzine i smjera vožnje, s drugim obližnjim vozilima infrastrukturnim čvorovima i/ili pješacima. Također, ovi zahtjevi ispunjavaju potrebu za pravovremenim širenjem neposrednih poruka upozorenja obližnjim entitetima. Sposobnost EPS-a da podrži ove zahtjeve ubrzat će usvajanje 3GPP-ovog načina povezivanja od strane proizvođača vozila. Budući da su automobilske industrije počele shvaćati V2X aplikacije izvan jednosmjerne distribucije informacija o statusu vozila, sustav 3GPP-a mora pružiti više naprednih mogućnosti da zadovolji KPI-ove koji zahtijevaju nove V2X aplikacije. Kako napreduju V2X aplikacije, prijenos kratkih poruka o vlastitim podacima o stanju vozila nadopunit će se prijenosom većih poruka koje sadrže neobrađene podatke senzora, podatke o namjerama vozila, koordinaciju i potvrdu budućih manevara i tako dalje. Očekivani zahtjevi za postizanje potrebne brzine podataka, pouzdanosti, latencije, raspona komunikacije i brzine za ove napredne aplikacije postaju stroži. Mjerodavan aspekt naprednih V2X aplikacija je razina automatizacije (LoA), koja odražava funkcionalne aspekte tehnologije i utječe na zahtjeve za radom sustava. [7]

RAN dizajn za NR V2X osigurat će komunikaciju putem infrastrukture, uključujući podršku za multimedijski prijenos višesmjerne usluge (Multimedia Broadcast Multicast Service – MBMS) za V2X usluge (navedene u 3GPP-u TS 22.185 [5]) i napredne V2X usluge (navedene u 3GPP-u TS 22.886 [7]). [11]

RAN dizajn za NR V2X osigurat će komunikaciju putem Sidelinka za V2X usluge (navedene u 3GPP-u TS 22.185 [5]) i napredne V2X usluge (navedene u 3GPP-u TS 22.886 [7]). [11]

NR V2X nije namijenjen da zamijeni usluge koje nudi LTE V2X. Umjesto toga, NR V2X će upotpuniti LTE V2X za napredne V2X usluge (eV2X) i podržati interakciju s LTE V2X-om. [11]

Izvedivo je podržati napredne V2X usluge putem NR PC5 sučelja i NR Uu sučelja. Osobito je izvedivo za PC5 sučelje, za podržavanje jednostranog, grupnog prijenosa i emitiranja u SL-u, a koegzistencija među njima u prijenosu je izvediva, kao i suživot između sidelinka i ostalih ćelijskih prijenosa u nosaču. Pokrivanje, djelomična pokrivenost i operacije izvan pokrivenosti su izvedivi. Osim toga izvedivo je podržavanje NR sidelinka u oba frekvencijska područja FR1-a i FR2-a

Preporučuje se odrediti NR Uu sučelje, na temelju opisa u navedenom izvoru, podršku za višestruko istovremeno aktivne ulazne veze konfigurirane potpore, i izvješćivanje podataka o pomoći UE-a gNB-u. Također je potrebno upravljanje QoS-om za ove usluge. Izvedivo je isporučiti napredne slučajeve upotrebe V2X u nekim scenarijima preko LTE Uu sučelja. Proučena su neka moguća poboljšanja, ali nijedno se ne preporučuje. Izvedivo je podržati LTE Uu koji upravlja NR SL-om u načinima raspodjele resursa Moda – 1 i Moda – 2, te NR Uu koji upravlja LTE SL-om u Modu – 3 i Modu – 4. Preporučuje se specifikacija poboljšanja opisanih za odgovarajuća Uu sučelja. Dodatna su poboljšana identificirana za mrežno sučelje za podršku V2X autorizacije usluge, UE SL zbirne maksimalne brzine i F1 signalizacije za podršku NR V2X Moda 1 i 2. [11]

4. NAČIN POVEZIVANJA VOZILA I OKRUŽJA UPORABOM 5G INFRASTRUKTURE

5G sustav je glavna tema Rel-15 od strane 3GPP-a, dok je sljedeća faza 5G-a definirana u Rel-16. Postoje 5G zahtjevi koji bi se trebali moći realizirati pri implementaciji 5G mreže. Specifikacije unutar faze 1 su: daljnja poboljšanja na Kritičnoj komunikaciji u što spada Izuzetno pouzdana komunikacija sa niskom latencijom (Ultra Reliable Low Latency Communication – URLLC) i Visoko pouzdana komunikacija s niskom latencijom (High-Reliable Low Latency Communication – HRLLC), Tip strojne komunikacije (Machine Type Communication – MTC) i Internet stvari (Internet of Things – IoT), Komunikacija u vezi s vozilima (V2X), i ostale značajke vezane uz WLAN i nelicencirani spektar. Zahtjevi za 5G su deifinirani od strane novih usluga i zahtjeva tržišta pod akronimom „SMARTER“ kao radnim zadatkom gdje se opisuju različiti tipovi zahtjeva za različite upotrebe 5G sistema, to su:

- **Poboljšana mobilna propusnost (enhanced Mobile Broadband – eMBB):** Zahtjevi su definirani na velikim brzinama podataka, podržavanju veće gustoće prometa ili veze, velikoj mobilnosti korisnika i zahtjevima koji se odnose na različite scenarije uvođenja i pokrivanja. Scenariji se bave različitim uslužnim područjima (npr. unutarnja/vanjska, urbana i ruralna područja, ured i kuća, povezanost lokalnih i širokih područja) i posebna raspoređivanja (npr. masovna okupljanja, emisije, stambena i brza vozila). Na primjer, za silaznu vezu očekuje se testirana brzina podataka do 50 Mbit/s na otvorenom i unutarnja do 1 Gbit/s, a polovica ovih vrijednosti za uzlaznu vezu.
- **Kritična komunikacija (Critical Communication – CC) i Izuzetno pouzdana komunikacija sa niskom latencijom (*URLLC*):** Nekoliko scenarija zahtijeva podršku vrlo niske latencije i vrlo visoke dostupnosti komunikacijskih usluga. Ukupna latencija usluge ovisi o kašnjenju na radijskom sučelju, prijenosu unutar 5G sustava i prijenosu na poslužitelja koji može biti izvan 5G sustava i obrade podataka. Neki od ovih čimbenika izravno ovise o samom 5G sustavu, dok se za druge utjecaj može smanjiti prikladnim međusobnim povezivanjem, na primjer, 5G sustava i usluga ili poslužitelja izvan sustava 5G, kako bi se omogućila *hosting* usluga lokalno. Na primjer, u kontekstu daljinskog upravljanja za automatizaciju procesa, očekuje se pouzdanost od 99,9999%, s korisničkim iskustvom brzine podataka do 100 Mbit/s i s krajnjom latencijom od 50 ms.
- **Masovni Internet stvari (Massive Internet of Things - mIoT):** Nekoliko scenarija zahtijeva 5G sustav za podršku vrlo velike gustoće prometa. Zahtjevi za mIoT uključuje

operativne aspekte koji se primjenjuju na širok raspon IoT uređaja i usluga predviđenih u vremenskom okviru za 5G.

- **Fleksibilne mrežne operacije:** To su skup specifičnosti koje nudi 5G sustav, detaljno opisanih u sljedećim odjeljcima. Obuhvaća aspekte poput rezanja mreže, izloženosti mrežnim mogućnostima, skalabilnosti, različite mobilnosti, sigurnosti, učinkovite isporuke sadržaja te migracije i međusobnog umrežavanja. [10]

Ova raznolikost zahtjeva, povezana s gore opisanim različitim kategorijama upotrebe, omogućuje upotrebu 5GS-a u različitim sektorima industrije, nazvanim „vertikale“.

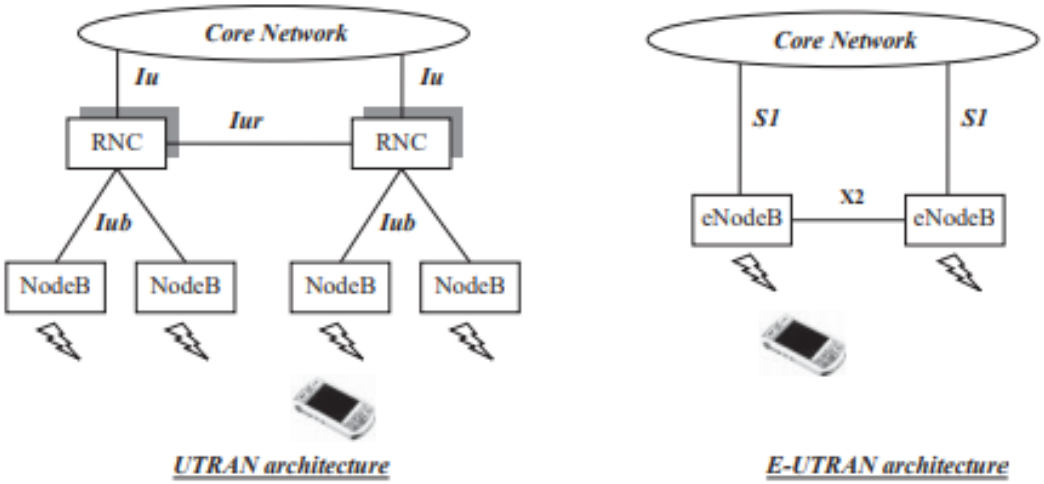
- Automobilski i drugi prijevoz (vlakovi, pomorske komunikacije)
- Transport, logistika, IoT
- Diskretna automatizacija
- Javna sigurnost
- Zdravlje i dobrobit
- Pametni gradovi
- Mediji i zabava. [10]

4.1 Postojeća arhitektura i njen razvoj

Da bi mogli sve navedene zahtjeve zadovoljiti potrebna nam je funckionalna arhitektura. Imamo dvije implementacije: Ne-samostalno izdvajanje (Non-Stand Alone – NSA), gdje se 5G radijska pristupna mreža (Access Network – AN), koja se naziva i novi radio (New Radio – NR), kombinira sa postojećom LTE i evoluiranom paketnom jezgrom (Evolved Packet Core – EPC), infrastrukturnom jezgrom (odnosno 4G radio i 4G jezgra), čime je novozasnovana 5G radijska tehnologija dostupna bez zamjene mreže. U ovoj konfiguraciji podržana su samo 4G usluge, ali podržavaju kapacitete pružene od strane 5G radija (smanjenjo vrijeme kašnjenja). NSA je također poznat kao E-UTRA-NR dualna povezanost (E-UTRA-NR Dual Connectivity – EN-DC). Osim NSA imamo i Samostalno izdvajanje (Stand Alone – SA), koja je zapravo nova generacija radijske pristupne mreže (New Generation Radio Access Network – NG-RAN). SA arhitektura je koncipirana da se povezuje na 5G jezgrenu mrežu (5G Core Network – 5GC) koristeći NG sučelje [10]

4.1.1 Razvoj i arhitektura LTE mreže i E-UTRAN-a

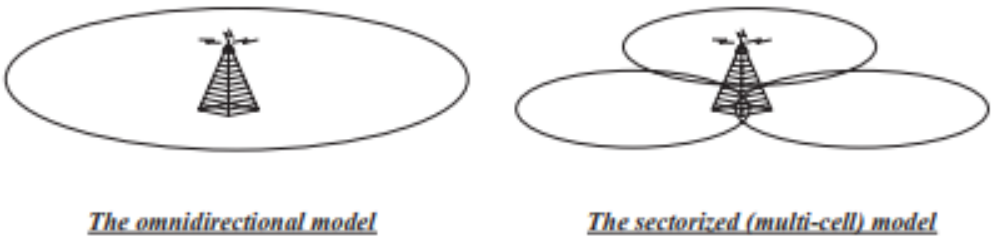
E-UTRAN je zračno sučelje 3GPP-a za nadogradnju postojeće LTE mreže, a ono nam je bitno jer se sva standardizacija V2X tehnologije obavlja putem E-UTRAN pristupa, koji je poslužio kao zamjena za Univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem (Universal Mobile Telecommunications Systems – UMTS) i pristup paketu velike brzine DL/UL (High Speed Downlink/Uplink Packet Access – HSDPA/HSUPA). LTE ili E-UTRAN predstavljeni su u izvješću 8 od strane 3GPP-a, a pri tome su i pristupni dio EPS-u. Kada je pušten UMTS standard, UMTS zemaljska radio pristupna mreža (UMTS Terrestrial Radio Access Network – UTRAN) arhitektura je bila u skladu sa 2G/GSM pristupnim mrežnim konceptom. UTRAN mreža je komponirana od radio opreme (poznate kao NodeB) koja je upravljala prijenosom i primitkom putem radio sučelja, i specifične točke – kontrolora radio mreže RNC (Radio Network Controller – RNC) – zadužene za NodeB konfiguraciju i resurse radio relokacije. U trenutku implementacije E-UTRAN-a, 3G RNC je nestao iz E-UTRAN-a i eNodeB je direktno povezana s jezgrenom mrežom. Posljedica je da su značajke RNC-a distribuirane među eNodeB-ovima i jezgrenom mrežom. [12], [13]



Slika 10. Prikaz UTRAN i E-UTRAN arhitekture, [12]

EPS predstavlja evoluciju UMTS standarda. EPS je poznat i po drugim skraćenicama vezanim za predmete tehničkih studija na kojima radi 3GPP odbor za standarde: LTE (Long Term Evolution), koji je zadužen za evoluciju radijskog sučelja i evolucijski sustav arhitekture (System Architecture Evolution – SAE) koji je zadužen za evoluciju arhitekture jezgrene mreže. Iako je i dalje standard koji se odnosi na 3G, EPS je značajan korak poboljšanja, uz potpuno novo radijsko sučelje i razvijenu arhitekturu za pristup i za mrežne dijelove. Uz to vjeruje se da su tehničke i arhitektonske evolucije donijele prefigure EPS-a, u tadašnje vrijeme za buduću 4G mrežu. [12], [21]

Naziv termina *„Node“* dolazi od činjenice da bazna stanica može biti implementirana kao oprema jedne ćelije koja pruža pokrivenost i uslugu, ili kao više-ćelijska stanica, gdje svaka ćelija pokriva svoj geografski sektor.

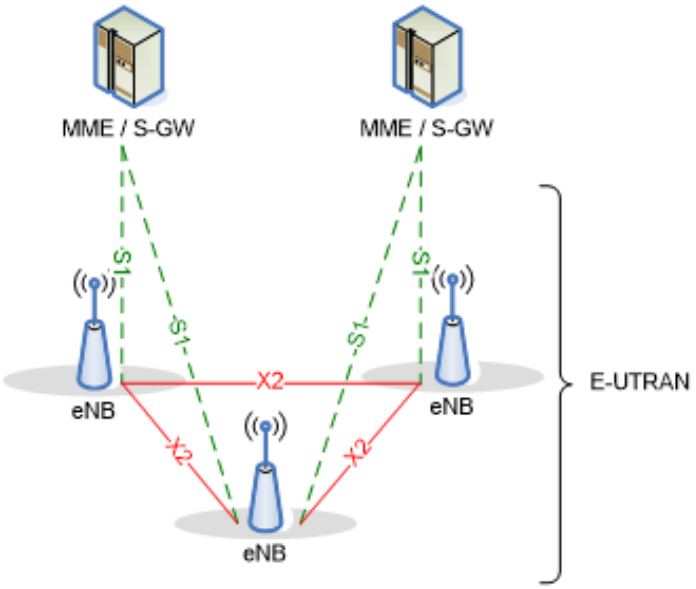


Slika 11. Prikaz ćelijskih modela, [12]

Nova vrsta sučelja (X2) je definirana između eNodeB-a, radeći na mrežni način (što znači da svi eNodeB-ovi mogu biti međusobno povezani). Glavna značajka navedenog sučelja da se

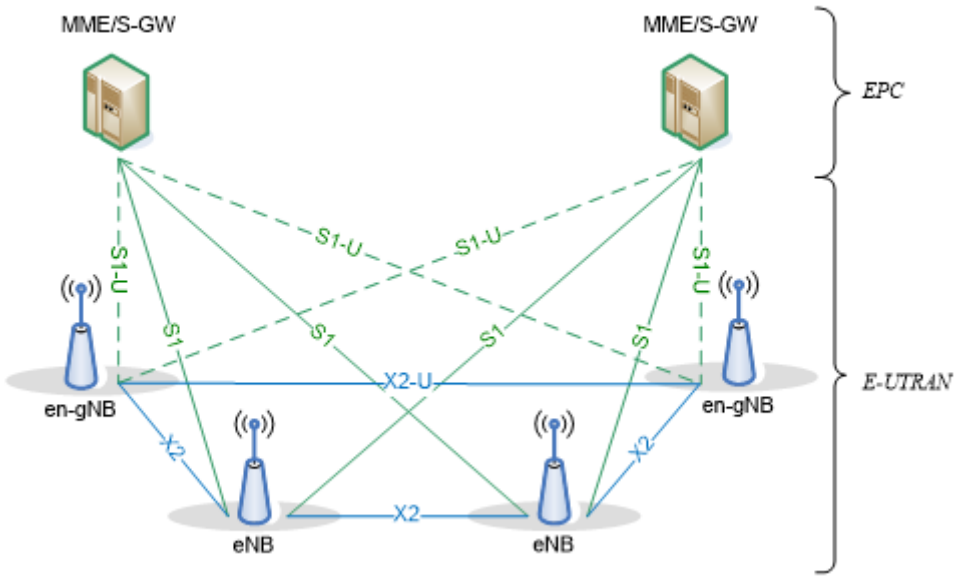
smanji broj izgubljenih paketa zbog mogućnosti mobilnosti navedenog korisnika. Kako se terminal kreće kroz pristupnu mrežu, paketi koji nisu prihvaćeni ili nisu poslani, spremljeni su unutar prijašnjeg eNodeB reda i mogu se prosljediti sljedećem eNodeB-u zahvaljujući X2 sučelju. [14]

E-UTRAN se sastoji od eNB-a koji pružaju završetke protokola korisničke ravnine E-UTRA (PDCP / RLC / MAC / PHY) i upravljačke ravnine (RRC) prema UE-u. eNB-ovi su međusobno povezani pomoću X2 sučelja i putem S1 sučelja s EPC-om, točnije s entitetom za upravljanje mobilnošću (Mobility Management Entity – MME) pomoću sučelja S1-MME i sa servisnim prolazom (Service GateWay – S-GW) putem sučelja S1-U. S1 sučelje podržava vezu mnogi-ka-mnogi (Many-to-Many) do MME-a / posluživanja i eNB-a. [14]



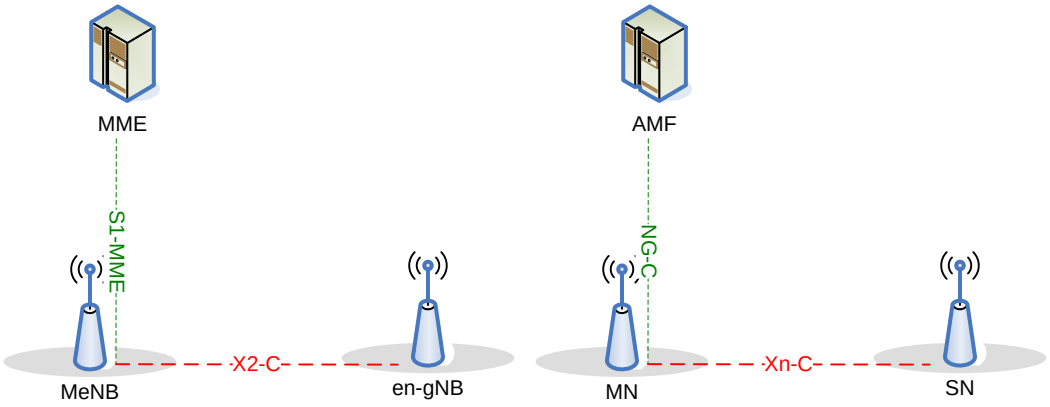
Slika 12. E-UTRAN Arhitektura, [14]

E-UTRAN podržava dualnu vezu s više radija (Multi-Radio Dual Connectivity – MR-DC) putem dvostruke povezanosti E-UTRA-NR (EN-DC), u kojoj je UE spojen na jednu eNB i koja djeluje kao glavni čvor (Master Node – MN) i jednu en-gNB koja djeluje kao sporedni čvor (Slave Node – SN). eNB je spojen na EPC preko sučelja S1, a na en-gNB putem X2 sučelja. En-gNB se također može povezati s EPC-om putem sučelja S1-u, a drugi en-gNB-ovi putem X2-U sučelja. [15]



Slika 13. Sveukupna arhitektura sa MR-DC i E-UTRAN-om, [15]

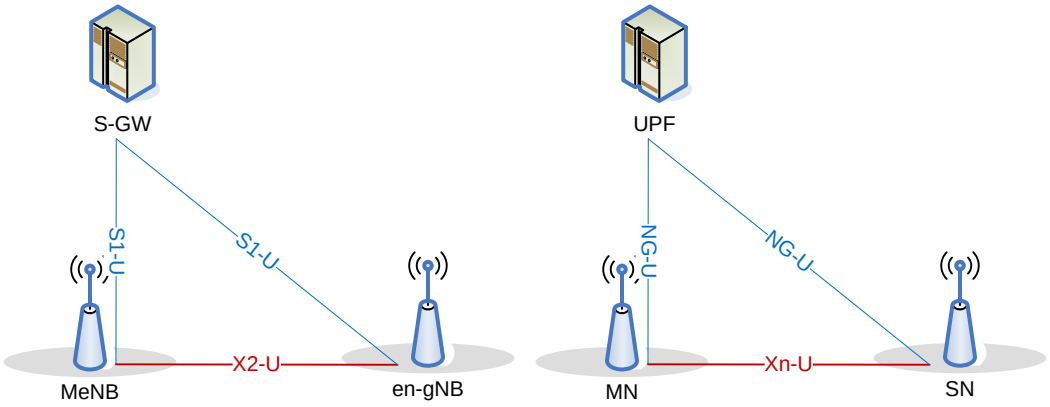
MR-DC je vrsta dualnog povezivanja (DC), pri čemu više prijamnika/odašiljača (Receiver/Transmiter – Rx/Tx) UE-a može biti konfigurirano za korištenje resursa pruženih od dva različita čvora povezana putem neidealnih mreža za podupiranje, jedan pruža NR pristup, a drugi pruža E-UTRA ili NR pristup. Jedan čvor djeluje kao MN, a drugi kao SN. MN i SN povezani su putem mrežnog sučelja, a najmanje je MN povezan sa osnovnom mrežom. MR-DC je dizajniran na temelju pretpostavke o ne-idealnom preusmjeravanju između različitih čovorova, ali se može koristiti i u slučaju idealne mreže za podupiranje. [15]



Slika 14. C-Plane povezanost za EN-DC (lijevo) i MR-DC sa 5GC-om(desno), [15]

- MR-DC s EPC-om: u MR-DC-u s EPC-om (EN-DC), uključeni je subjekt jezgrene mreže MME. S1-MME završava u MN, a MN i SN međusobno su povezani putem X2-C sučelja.

- MR-DC sa 5GC-om: u MR-DC-u s 5GC (NGEN-DC, NE-DC i NR-DC) uključeni je entitet jezgrene funkcije upravljanja pristupom i mobilnošću (Access and Mobility management Function – AMF. NG-C se prekida u MN-u, a MN i SN su međusobno povezani putem Xn-C.



Slika 15. U-Plane povezanost za EN-DC (lijevo) i MR-DC s 5GC-om (desno), [15]

- MR-DC s EPC-om

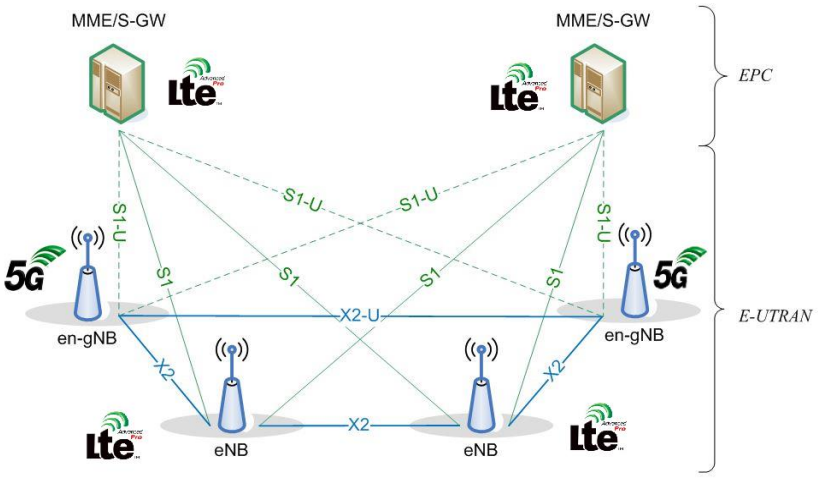
  Za MR-DC s EPC-om (EN-DC), sučelje X2-U je korisničko sučelje između MN i SN, a S1-U je sučelje korisničke ravnine između MN-a, SN-a ili oba, i S-GW-a.

- MR-DC sa 5GC

  Za MR-DC s 5GC (NGEN-DC, NE-DC i inter-gNB NR-DC), Xn-U sučelje je sučelje korisničke ravnine između MN-a i SN-a, a NG-U je sučelje korisničke ravnine između MN-a, SN-a ili oboje i funkcije korisničke ravnine (User plane function – UPF) [15].

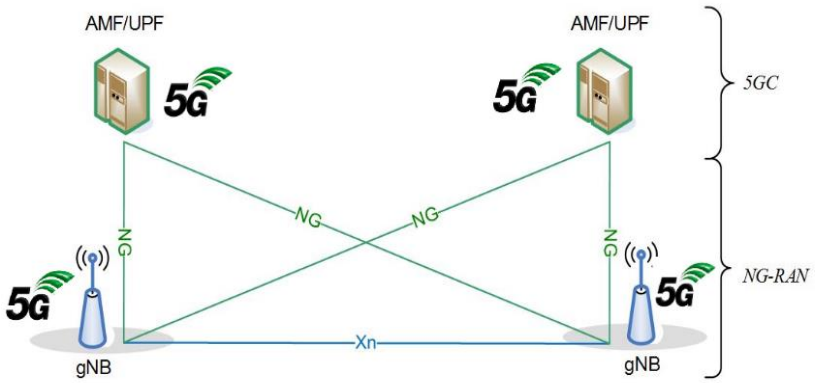
4.1.2 Non-Stand Alone (NSA) arhitektura i Stand-Alone (SA) arhitektura

NSA arhitektura se može smatrati privremenim korakom prema implementaciji „potpunog 5G-a“, gdje je pristupna mreža 5G povezana s 4G osnovnom mrežom. U NSA arhitekturi, NR bazna stanica i čvor eNB povezani su putem X2 sučelja. Iako se sučelje do sada koristilo za povezivanje eNB-a, Rel-15 proširuje sučelje i podržava povezivanje eNB-a i en-gNB-a u slučaju rada NSA-e. Pored toga, E-UTRAN za NSA arhitekturu, povezuje se na EPC mrežu koristeći S1 sučelje. Dvostruka povezanost između eNB (kao glavni čvor) i en-gNB (kao sekundarni čvor) naziva se EN-DC. [10]



Slika 16. NSA Arhitektura, [10]

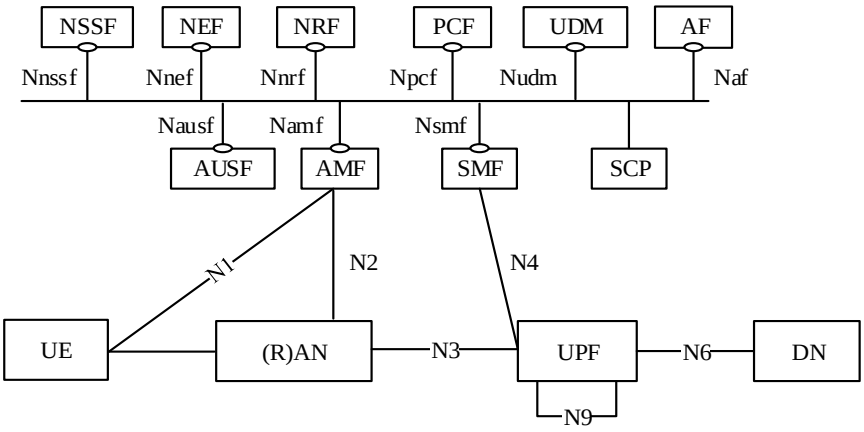
U arhitekturi SA, NR bazna stanica (logički čvor „gNB“) povezuje se međusobno putem Xn sučelja. NG-RAN za SA arhitekturu povezuje se na 5GC mrežu koristeći NG sučelje. [10]



Slika 17. SA arhitektura, [10]

4.1.3 5G jezgrena mreža (5G Core netowork)

U mogućnosti implementacije SA sustava 5G (5G System – 5GS) sastoji se od korisničke opreme (UE), 5G pristupne mreže („Novi radio“ ili NR) i jezgrene mreže (5GC ili 5GCN). Definicija 5GC arhitekture koristi takozvani okvir arhitekture temeljene na uslugama (Service-Based Architecture – SBA), gdje su elementi arhitekture definirani u smislu funkcije mreže (Network Functions – NF), a ne „tradicionalnim“ mrežnim entitetima (Network Entities – NF). Putem sučelja zajedničkog okvira svaki dani NF nudi svoje usluge svim ostalim ovlaštenim NF-ima i/ili bilo kojim „potrošačima“ kojima je dopušteno korištenje ovih pruženih usluga. Takav SBA pristup nudi modularnost i ponovnu uporabu. [10]



Slika 18. Arhitektura 5G sustava(faza 2), [16]

5G Sustav se sastoji od:

- Korisničke opreme (UE)
- (Radio) Pristupne mreže [R(AN)],
- Funkcije korisničke ravnine (User Plane Function – UPF), za rukovanje korisničkim podacima
- Funkcija aplikacije (AF) za rukovanje aplikacijama
- (Vanjska) mreža podataka (Data Network – DN)
- Ostali NF-ovi (Network Slice Selection Function – NSSF, Access and Mobility management Function – AMF itd.) dijela upravljačke ravnine.

SBA pristup omogućuje virtualizirano korištenje. Nekoliko instanci mrežne funkcije mogu biti prisutne unutar istog NF skupa. Obrnuto, usluge se mogu pružati s nekoliko lokacija. Uzimajući objedinjeno spremište podataka (Unified Data Repository – UDR) kao primjer: kada se pozivaju UDR usluge (npr. nakon zahtjeva za uslugu UE-a i/ili periodičnog zahtjeva za registraciju), ova virtualizacija omogućuje usmjeravanje UE-ovih poruka na bilo koji UDR unutar skupa UDR-ova. To osigurava otpornost UDR-a: bilo koja posebna instanca UDR-a može npr. biti isključen zbog planiranog održavanja i doći će do automatskog oporavka UDR-a bez ikakvih prekida usluge.

Osnovne Mrežne Funkcije (NF):

- Funkcija mrežnog spremišta (Network Repository spremišta – NRF) pruža podršku za upravljanje NF uslugama, uključujući registraciju, deregistraciju, autorizaciju i otkrivanje.

- Funkcija mrežne izloženosti (Network Exposure Function – NEF) omogućuje eksterno izlaganje mogućnosti mrežnih funkcija. Vanjska izloženost može se kategorizirati kao sposobnost praćenja, sposobnost pružanja, utjecaj aplikacije na usmjeravanje prometa i sposobnost politike prometa.
- Objedinjeno upravljanje podacima (Unified Data Managment – UDM): 5GC podržava arhitekturu pohrane podataka za odvajanje računa i pohrane. Objedinjeni repozitorij podataka (UDR) je glavna baza podataka. Funkcija nestrukturirane pohrane podataka (Unstructured Data Storage Function – i UDSF) uvodi se za spremanje podataka o dinamičkom stanju.
- Ostali NF-ovi posvećeni su određenom aspektu 5GC-a kao npr. Funkcija odabira mrežnog reza (NSSF) ili Funkcija poslužitelja provjere identiteta (Authentication Server Function – AUSF) i Funkcija kontrole politike (Policy Control Function – PCF). [10]

Neke druge mrežne funkcije upravljaju mobilnošću i aktivnostima UE:

- „Funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću“ (Access and Mobility management Function – AMF), zadužena za signalizaciju koja nije specifična za korisničke podatke (mobilnost, sigurnost, itd.) AMF podržava UE s različitim potrebama upravljanja mobilnošću. Kad god je potrebno, mobilnost se može sakriti od sloja aplikacija kako bi se izbjegli prekidi u pružanju usluge.
- „Funkcija upravljanja sesijom“ (Session Management Function – SMF), zadužena za signalizaciju u vezi s prometom korisničkih podataka (uspostava sesije itd.) Zajedno s AMF-om, SMF može podržati prilagođene oblike upravljanja mobilnošću kao štu su „Samo inicirana mobilna veza“ (Mobile Initiated Connection Only – MICO) ili RAN poboljšanja. [10]

4.1.4 MR-DC sa 5GC

MR-DC pristupne tehnologije (Radio Access Technologies – RAT) mogu se dalje podijeliti u sljedeće dvije kategorije na temelju povezanih vrsta jezgrene mreže.

1) MR-DC s EPC-om putem EN-DC-a, NR čvor u EN-DC-u se zove en-gNB
2) MR-DC sa 5GC-om putem NG-RAN E-UTRA-NR Dualne povezanosti (NGEN-DC) ili NR-E-UTRA dualne povezanosti (NE-DC). [17]

Vrste Dualne povezanosti:

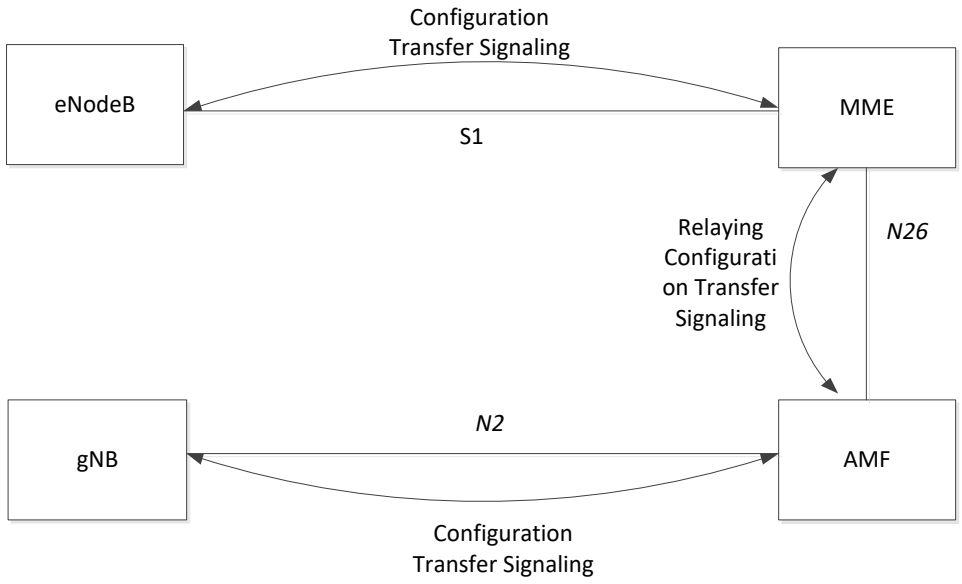
- E-UTRA-NR dualna povezanost

NG-RAN podržava NG-RAN E-UTRA-NR Dualnu povezanost (NGEN-DC), u kojoj je UE spojen na jedan ng-eNB koji djeluje kao MN i jedan gNB koji djeluje kao SN. NG-eNB je spojen na 5GC, a gNB je povezan s ng-eNB putem Xn sučelja [15].

- NR-E-UTRA dualna povezanost
  NG-RAN podržava NR-E-UTRA dualnu povezanost (NE-DC), u kojoj je UE spojen na jedan gNB koji djeluje kao MN i jedan ng-eNB koji djeluje kao SN. Čvor gNB je spojen na 5GC, a ng-eNB je povezan s gNB putem Xn sučelja
- NR-NR dualna povezanost
  NG-RAN podržava NR-NR dualnu povezanost (NR-DC), u kojoj je UE spojen na jedan gNB koji djeluje kao MN, a drugi gNB koji djeluje kao SN. Glavni gNB povezan je s 5GC putem NG sučelja, a na sekundarni gNB preko Xn sučelja. Sekundarni gNB također se može povezati na 5GC putem NG-U sučelja. Pored toga, NR-DC se također može koristiti kada je UE spojen na dva gNB-DU, jedan služi MCG, a drugi koji služi SCG, spojen je na isti gNB-CU, djelujući i kao MN i kao SN [15].

4.1.5 Prijenos konfiguracije između NG-RAN-a i E-UTRAN-a

Svrha prijenosa konfiguracije između NG-RAN i E-UTRAN-a je omogućiti prijenos podataka RAN-a slojem mreže za prenošenje (Transport Network Layer – TNL) adrese između gNB-a i eNodeB-a putem MME-a i AMF-a. Da bi informacije bile transparentne za MME i AMF, informacije se uključuju u „prozirni“ spremnik, izvorne i ciljne adrese RAN čvora, što omogućuje čvorovima jezgrene mreže da usmjeravaju poruke. [16]



Slika 19. Prijenos konfiguracije između gNB-a i E-UTRAN-a arhitekture, [16]

S1AP pruža uslugu signalizacije između E-UTRAN-a i evoluirane jezgre paketa (EPC) koja je potrebna za ispunjavanje S1AP funkcija kao što su:

- Promjena eNB-a unutar SAE/LTE (Inter MME / posluživanje SAE-GW predaje) putem sučelja S1 uz sudjelovanje EPC-a.
- Promjena RAN čvorova između različitih RAT-ova.
- Funkcije UE-a za radijske sposobnosti podudaranja.
- Izvješćivanje o lokaciji.

S1AP usluge su podijeljene u dvije skupine:

- Usluge koje nisu povezane sa UE-om. Povezane su za čitavu instancu S1 sučelja između eNB-a i MME-a koristeći signalnu vezu koja nije povezana sa UE-om.
- Usluge povezane s UE-om: Povezane su s jednim UE-om. S1AP funkcije koje pružaju ove usluge povezane su s UE-signalnom vezom koja se održava za predmetni UE.

„Prozirni“ spremnici NG-RAN-a prenose se s izvornog NG-RAN čvora na odredišni čvor E-UTRAN-a i obrnuto pomoću poruka „konfiguracijskog prijenosa“. Poruka o prijenosu konfiguracije eNB-a koriste se iz čvora E-UTRAN-a u MME preko S1 sučelja. Odredišni RAN čvor uključuje en-gNB identifikator i može uključivati identitet područja praćenja (Tracking Area identity – TAI) povezan s en-gNB-om. Ako je MME svjestan da en-gNB opslužuje stanice koje pružaju pristup 5GC-u, MME usmjerava zahtjev prema prikladnom AMF-u putem inter-sustavske signalizacije na temelju emitiranog 5G IMEI Unosa koda dodjele (IMEI Type Allocation Code – TAC). AMF konfiguracijska poruka o prijenosu koristi se od AMF-a do NG-RAN-a preko N2 sučelja. Poruka o prijenosu konfiguracije koristi gNB čvor na sučelju AMF-a preko N2 za odgovor, a poruka za prijenos konfiguracije koristi se za prosljeđivanje „prozirnog“ spremnika iz AMF u MME preko sučelja N26. MME šalje odgovor na ciljni eNB koristeći poruku MME CONFIGURATION TRANSFER.[16]

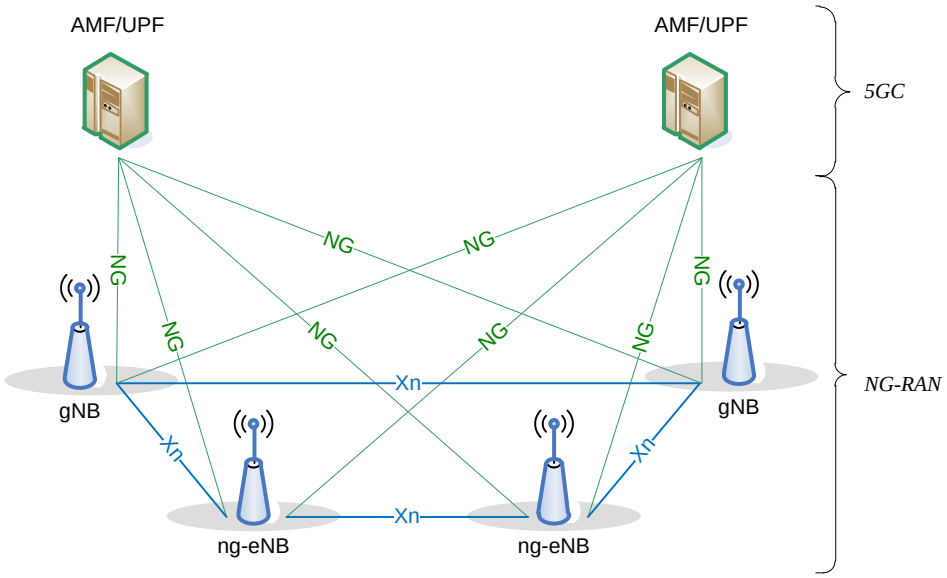
4.1.6 Pregled sveukupne arhitekture

Za dodatno razumijevanje navedene terminologije nužno je razumijeti neke od ispod navedenih termina kao što su:

- gNB, pružajući NR korisničku ravninu i završetke protokola upravljačke ravnine prema UE-u, povezan je putem NG sučelja na 5GC.
- Ng-eNB, pružajući E-UTRA korisničku ravninu i završetke protokola upravljačke ravnine prema UE-u, povezan je putem NG sučelja na 5GC.
- NG-C: sučelje upravljačke ravnine između NG-RAN-a i 5GC-a.

- NG-U: korisničko sučelje između NG-RAN-a i 5GC-a.
- NG-RAN čvor: gNB ili ng-eNB.
- En-gNB: čvor koji pruža korisničku ravninu i završetke protokola upravljačke ravnine prema UE-u i djeluje kao sekundarni čvor u EN-DC-u.
- NG-RAN: radio pristupna mreža koja podržava jednu ili više sljedećih opcija s uobičajenim karakteristikama koje povezuju s 5GC-om.
- Xn: mrežno sučelje koje omoućuje povezivanje NG čvorova
  1) SA NG
  2) NG je osnova sa E-UTRA ekstenzijama
  3) SA E-UTRA
  4) E-UTRA je osnova sa NR ekstenzijama.

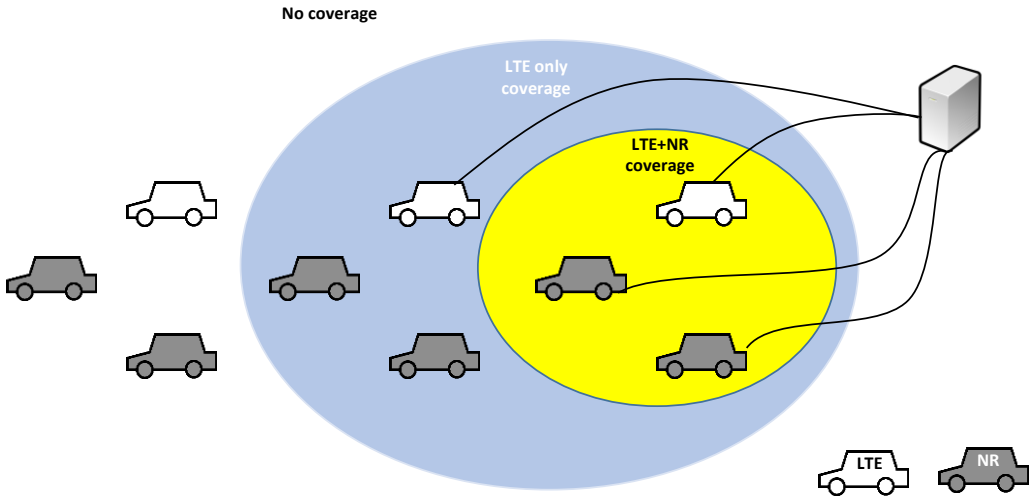
gNB i ng-eNB su međusobno povezani putem Xn sučelja, oni su također povezani putem NG sučelja na 5GC, točnije na AMF pomoću NG-C sučelja i na UPF pomoću NG-U sučelja. [15], [16], [18]



Slika 20. Sveukupna arhitektura, [18]

4.2 Komunikacija među vozilima na različitim 3GPP RAT-ovima

Ovisno o izboru originalnih proizvođača (Original Equipment Manufacturer – OEM), neka su vozila opremljena modulima koji podržavaju samo LTE, druga vozila mogu biti opremljena modulima koji podržavaju NR (New Radio). Ako vozilo NR ne može razgovarati s vozilom koje podržava LTE, to vozilo se može smatrati vozilom bez V2X-a. Slika 21. prikazuje različite scenarije. [7]



Slika 21. Primjer situacija miješanja 3GPP RAT-ova, [7]

Nema pokrivenosti

Na ovom području nije pronađena ni pristupna mreža E-UTRAN-a niti NR-a. Budući da ne postoji mrežna podrška za komunikaciju među vozilima, izravna ProSe komunikacija temeljena na LTE-u i/ili NR-u je jedina opcija dostupna za komunikaciju među vozilima.

Za komunikaciju prema vozilu koji se temelji na NR-u, čini se da je logično da vozilo koje je temeljeno na NR-u koristi ProSe komunikaciju zasnovanu na NR-u- Izvedba ProSe izravne komunikacije temeljene na NR-u nadmašit će onu direktne ProSe komunikacije temeljene na LTE-u.

Međutim, s obzirom da je prosjećni životni vijek vozila duži od 10 godina, vjerojatno je da vozilo na bazi LTE-a postoji u blizini vozila na bazi NR-a. Budući da vozilo temeljeno na LTE-u ne može razumjeti ProSe izravnu komunikaciju utemeljenu na NR-u, jedan je izbor da vozilo zasnovano na NR-u može komunicirati s LTE temeljenim vozilom koristeći LTE komunikaciju. Usput, to ne znači nužno da je unaprijeđenje ProSe izravne komunikacije temeljene na NR-u

ograničeno na ono što ProSe izravna komunikacija na temelju LTE-a može pružiti. LTE kompatibilna ProSe izravna komunikacija se koristi za osnovnu sigurnosnu uslugu, a izravna optimizirana NR komunikacija može se upotrijebiti za naprednu V2X uslugu, poput upravljanja konvojima. [7]

LTE pokrivenost

Budući da ne postoji pristupna mreža utemeljena na NR-u, vozilo koje se temelji na NR-u nema mrežnu podršku i jedini izbor za vozilo zasnovano na NR-u je korištenje ProSe izravne komunikacije. S druge strane, unutar pokrivenosti LTE-om, vozilo temeljeno na LTE-u može se upravljati mrežom. Na temelju odluke mreže, promet vezan za V2X generiran od strane vozila temeljenog na LTE-u, može se preusmjeriti putem V2X aplikacijskog poslužitelja. U ovom slučaju, vozilo temeljeno na LTE-u, ne koristi izravnu komunikaciju Prose, a izravna komunikacija između vozila temeljenih na LTE-u i NR-u nije moguća. Međutim, u ovom području, ako vozilo bazirano na NR-u reagira na isti način kao u području bez LTE/NR-a pokrića, prijenos s vozila temeljenog na NR-u može generirati interferencije E-UTRAN-u. Stoga se utjecaj na E-UTRAN može smanjiti na bazi NR vozila. [7]

LTE/NR pokrivenost

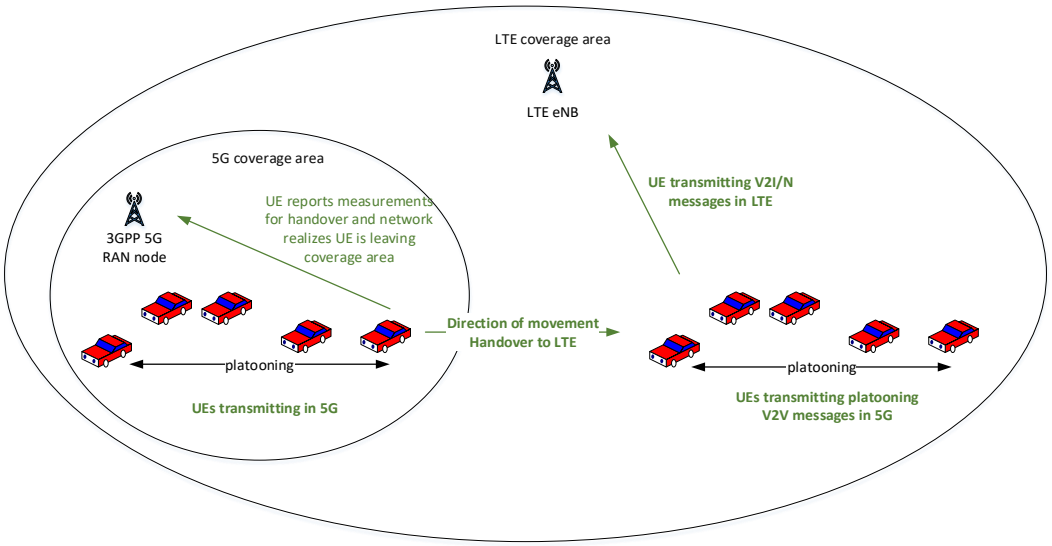
Budući da su i LTE vozilo i vozilo temeljeno na NR-u unutar pokrivenosti mreže, komunikacija između vozila moguća je neizravno putem mreže, bez obzira mogu li vozila koristiti izravnu komunikaciju ProSe ili ne. Ne moraju se nužno istovremeno služiti istom tehnologijom radijskog pristupa. [7]

Slučajevi korištenja kod multi-RAT-a

Korisnik pokreće V2X aplikaciju, a poruka s te aplikacije mora se proslijediti drugim automobilima u blizini. V2X UE podržava više tehnologija radijskog pristupa (Radio Access Tehnology – RAT), uključujući LTE i 5G New RAT (NR). V2X UE bi trebao odabrati najbolju tehnologiju za podršku datoj aplikaciji od interesa. V2X UE odabire prenijeti poruku za određenu aplikaciju preko najboljeg RAT-a. Najbolji RAT odabire se na temelju podataka koje je konfigurirala mreža (npr. Mapiranje između ID-a aplikacija i RAT-a ili Identifikatora usluge pružatelja usluga / Provider Service Identifer – PSID) / identifikator aplikacije ITS-a (ITS application identifiers – ITS AID-a) i RAT-a) ili QoS vezanih zahtjeva koje pruža aplikacija prilikom uspostavljanja usluge. Ostali čimbenici mogu se uzeti u obzir tijekom odabira RAT-a poput broja V2X UE korištenja određene tehnologije i prisutnosti RSU-a. [7]

4.3 Slučaj izvan 5G pokrivenosti

UE koji podržava V2X aplikaciju opremljen je više-RAT-nim modemom (5G, LTE). UE je postavljen na 5G ćeliji. UE se pridružuje konvoju. Poruke vezane uz konvoj prenose se između UE-a u konvoju pomoću 5G tehnologije, jer je latencija zahtjeva za aplikaciju, vrlo niska. Konvoj doseže granicu ćelije, pa mreža pokreće primopredaju UE-a do ciljane ćelije. Ciljna ćelija je samo LTE ćelija, a LTE nije optimiziran za podršku zahtjevima latencije u toj aplikaciji. Dakle, V2V poruke potrebne za podršku upravljanja konvojem razmjenjuju se između UE-a u ciljnoj ćeliji koristeći komunikaciju između uređaja u 5G novom RAT-u (NR), iako u ciljnoj ćeliji nema pokrivenosti od 5G. Ostali promet šalje se putem LTE-a, uključujući ostali V2X promet [7].



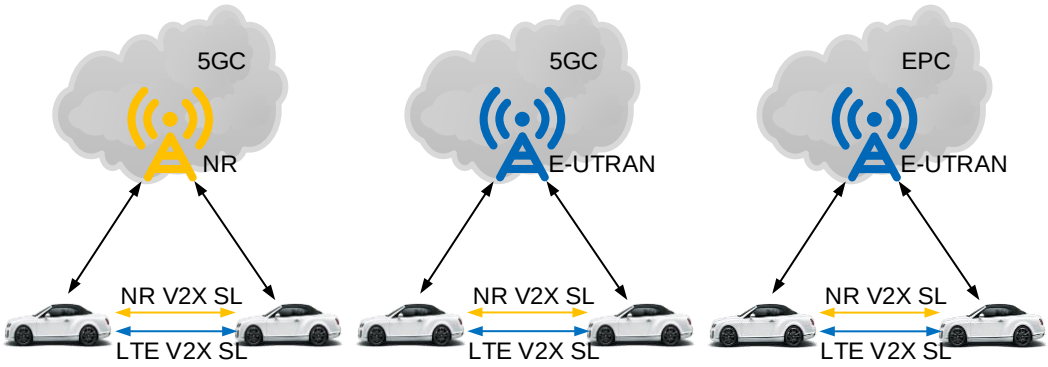
Slika 22. Slučaj izvan 5G pokrivenosti, [7]

4.4 Scenarij rada povezivanja putem NR i LTE mreže

Scenariji razmatrani u studiji prikazani su na sljedećim slikama. Scenariji se mogu kategorizirati u „Bočne veze“ (Sidelink – SL) i MR-DC scenarije u pogledu arhitekture. Studija je dala prioritet scenarijima 1, 2 i 3 i MN kontroliranje/konfiguriranje i NR SL-a i LTE SL-a u Scenarijima 4, 5 i 6 koji su obuhvaćeni scenarijima 1, 2 i 3. [19]

1) U scenariju 1, gNB pruža kontrolu/konfiguraciju za UE-ovu V2X komunikaciju u LTE SL-u i NR SL-u.
2) U scenariju 2. ng-eNB pruža kontrolu/konfiguraciju za UE-ovu V2X komunikaciju u LTE SL-u i NR SL-u

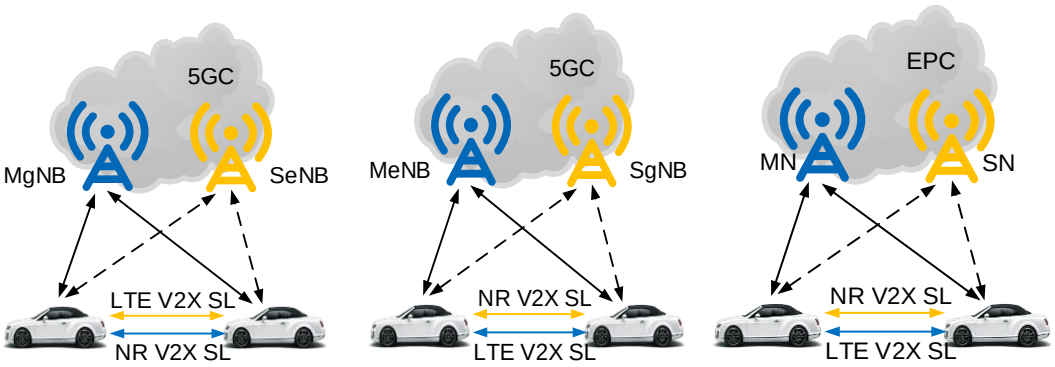
3) U scenariju 3, eNB pruža kontrolu/konfiguraciju za UE-ovu V2X komunikaciju i LTE SL i NR SL. [19]



Slika 23. Scenarij 1 (lijevo), Scenarij 2 (sredina), Scenarij 3 (desno), [19]

Slika 24. prikazuje MR-DC scenarije za podršku V2X SL komunikaciji. Posebno:

4) U scenariju 4, UE-ovu V2X komunikaciju u LTE SL i NR SL kontrolira/konfigurira Uu dok je UE konfiguriran s NE-DC;
5) U scenariju 5, UE-ovu V2X komunikaciju u LTE SL-u i NR SL-u kontrolira/konfigurira Uu dok je UE konfiguriran u NGEN-DC-u;
6) U scenariju 6, UE-ovu V2X komunikaciju u LTE SL-u i NR SL-u kontrolira/konfigurira Uu dok je UE konfiguriran u EN-DC. [19]



Slika 24. Scenarij 4 (lijevo), Scenarij 5 (sredina), Scenarij 6 (desno), [19]

5. PREDNOSTI C-V2X TEHNOLOGIJE

C-V2X ima nekoliko značajnih prednosti u odnosu na ostala rješenja za povezivanje vozila, za svaki od ključnih sudionika u ovom sektoru.

- **Za proizvođače automobila:** Kombinacija sigurnog širokog područja kratkog dometa u jednoj tehnologiji C-V2X-a je svestrano i isplativo rješenje za proizvođače automobila koji žele poboljšati sigurnost na cestama. Primjerice, proizvođač automobila koji koristi C-V2X može instalirati modul za povezivanje u vozilu za podršku sigurne veze s Internetom i sustavima temeljenih na oblaku te imati izravnu komunikacija s obližnjim vozilima, infrastrukturom i putnicima. Iskorištavanjem sigurnosnih značajki ugrađenih u mobilne mreže, proizvođač automobila može imati koristi od različitih sudionika u 4G mobilnom ekosustavu, u kojem je velika i raznolika skupina proizvođača čipova, modula i opreme koji su svi u skladu sa 3GPP standardima. Osim toga u budućoj 5G mobilnoj mreži gdje bi imali pristup većem broju uređaja i međusobnom umrežavanju, otvara se mogućnost za uslugama poput IoT-a, gdje bi i C-V2X imao određenu ulogu.
- **Za cestovne operatore:** Kako raspon ITS-a koristi visok frekvencijski spektar (5,9 GHz), u kojem radiosignali imaju manji domet, povezanost je izazovna za cestovne operatore. Međutim, C-V2X omogućuje izravnu komunikaciju u opsegu 5,9 GHz koja će se nadopuniti infrastrukturnim komunikacijama koristeći niže frekvencije u kojima će radio signali putovati dalje. Rezultat toga su kvalitetna usluga, dostupnost i pouzdanost. Štoviše, u budućnosti C-V2X će također omogućiti cestovnim operaterima milimetarske valove koje će koristiti 5G mobilne mreže, kao što se i navodi u 3GPP izvještajima 15 i 16 za standardizaciju 5G mobilne mreže. 5G mreža će koristiti milimetarske valove za prijenos velike količine podataka i niske latencije mrežne podrške širokog područja za pomoć pri vožnji. U suštini, iskorištavanje postojeće infrastrukture mobilnih operatora za implementacije C-V2X tehnologije će smanjiti potrebu za proširenjem postojeće prometne infrastrukture, koju treba izgraditi i održavati od strane općina i agencija, kako u urbanim tako i ruralnim područjima. Drugim riječima smanjilo bi troškove, a oslobodilo bi sredstva za druge svrhe, poput osposobljavanja i usavršavanja osoblja u agencijama za održavanja cesta i autocesta, ili bi se sredstva preusmjerila sredstva u ostale, nužnije opcije.

- **Za telekomunikacijske operatore:** da bi smanjili raspoređivanje troškova, mobilni operatori mogu iskoristiti postojeću mobilnu infrastrukturu za podršku implementacije C-V2X povezanosti. Sinergija između cestovne infrastrukture i konvencionalne mobilne infrastrukture može stvoriti značajnu ekonomsku korist. Prvenstveno, bazna stanica od telekomunikacijskog operatora može komunicirati i raditi s cestovnom infrastrukturom da bi pružila sveobuhvatnu pokrivenost potrebnu za stvaranje kooperativnih inteligentih transportnih sustava (C-ITS). U isto vrijeme operatorova komercijalna mobilna mreža može pružiti uslugu dodatne veze te povezati infrastrukturu na oblak. Pošto je trenutni C-V2X temeljen na varijanti 4G-a, kompatibilan je sa postojećim LTE baznim stanicama, što će omogućiti brzu implementaciju, a suvremenija 5G mobilna tehnologija posjedovat će još veći potencijal od trenutne 4G tehnologije. [1]

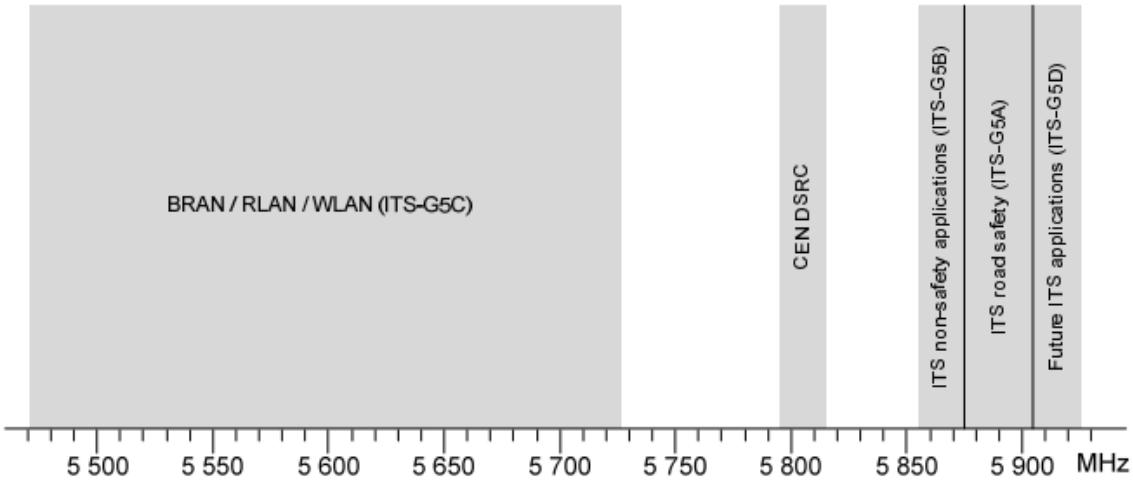
C-V2X ima niz tehničkih prednosti nad alternativama temeljenim na 802.11p. Zajedno, ove prednosti izjednačuju se sa znantno većim proračunom veza i izvođenja sustava, omogućujući veći domet, brzinu i prednosti u vidu pouzdanosti nad 802.11p. C-V2X ima viši spektar učinkovitosti, omogućujući posluživanje više sudionika u prometu u određenom dijelu spektra. C-V2X može pružiti veću razinu sigurnosti za više sudionika u prometu od alternativnih tehnologija. Šire gledano, ad-hoc mreže koje se oslanjanju samo na izravnu komunikaciju između vozila, mogu postati neučinkovite ako se poveća broj paketa „skokova“ kojeg oni mogu u tom trenutku podržati. Osim što nudi vrhunsku izravnu komunikaciju, C-V2X nudi veći stupanj sigurnosti od 802.11p za sve načine rada. Mobilni operateri osiguravaju sav promet koji putuje do i od svojih mreža, što može biti dopunjeno uslugama šifriranja infrastrukture javnih ključeva (Private Key Infrastructure – PKI) [1].

6. REALIZIRANI SUSTAVI KOMUNIKACIJE VOZILA I INFRASTRUKTURE

ITS G5 standard koristi već postojeće standarde za komunikaciju. Sloj podatkovne veze podijeljen je u dva sloja; srednja kontrola pristupa i kontrola logičke veze. ITS-G5 standard također dodaje značajke za decentralizirane metode kontrole zagušenja za kontrolu mrežnog opterećenja i izbjegavanje nestabilnog ponašanja. [20]

Definirat ćemo dva najniža sloja, fizički sloj i sloj podatkovne veze, grupiranih u pristupni sloj ITS stanice referentne arhitekture. Tehnologija pristupnog sloja kolektivno se naziva ITS-G5. Dio komunikacijskog skupa koji podržava razmjenu podataka između mobilne stanice bez prethodnog postavljanja mreže, tj. ad-hoc moda za sljedeće frekvencijske pojaseve u Europi:

- ITS-G5A: Rad ITS-G5 u europskim frekvencijskim pojasevima ITS-a, posvećen ITS-u radi sigurnosti aplikacija u frekvencijskom rasponu od 5,875 GHz do 5,905 GHz.
- ITS-G5B: Rad u europskim frekvencijskim pojasevima ITS-a posvećen ITS-ovim nesigurnim aplikacijama u rasponu frekvencija od 5,855 GHz do 5,875 GHz
- ITS-G5D: Rad ITS aplikacija u frekvencijskom rasponu od 5,905 GHz do 5,925 GHz.



Slika 25. Dodjela kanala za frekvencijsko područje oko 5 GHz, [20]

- ITS-G5C se još naziva širokopojasnim radio pristupnim mrežama (Broadband Radio Access Networks – BRAN), lokalnom radio mrežom (Radio Local Area Network – RLAN) i bežičnom lokalnom mrežom (WLAN). Rad u RLAN pojasu zahtijeva kontrolu snage prijenosa (Transmit Power Control – TPC), postupak za dinamički odabir frekvencije (Dynamic Frequency Selection – DFS) i jednoliko širenje, kako bi se

detektirali singali iz radarskih sustava i izbjegle interferencije na kanalima. Nije moguće koristiti ITS-G5 stanice za komunikaciju u pojasu ITS-G5C izvan kontektsta osnovnog servisnog skupa. [20]

Inteligentni prometni sustavi obuhvaćaju široki spektar aplikacija povezanih sa komunikacijom namijenjenih povećanju sigurnosti putovanja, minimiziranju utjecaja na okoliš, poboljšanju upravljanja prometom i maksimiziranju prednosti prijevoza kako komercijalnim korisnicima, tako i široj javnosti. C-ITS i aplikacije za sigurnost u vožnji ovise o pouzdanim i vjernim podacima koje prenose druga vozila i infrastruktura. U tom kontekstu standardizirana sigurna rješenja koja brinu o privatnosti korisnika su:

- Kooperativni ITS (C-ITS) i njegova evolucija za potpunu autonomnu vožnju, uključujući i bežičnu komunikaciju kratkog dometa (ITS-G5) koja je posvećena automobilskom ITS-u i cestovnom prometu i prometnoj telematici. C-ITS pruža povezanost između sudionika u prometu i infrastrukture
- Samostalna pomoć vozaču (Stand-alone driver assistance) pomaže vozačima u održavanju sigurne brzine i udaljenosti, vožnji unutar vozne trake, izbjegavanju pretjecanja u kritičnim situacijama i sigurnom prolasku raskrižja i na taj način imaju pozitivne učinke na sigurnost i upravljanje prometom
- Namjenska komunikacija kratkog dometa (DSRC) pruža komunikaciju kratkog dometa, između vozila i ceste na određenim mjestima (npr. naplatne postaje). Aplikacije poput elektroničke naplate naknada (Electronic Fee Collection – EFC) djeluje preko DSRC-a. [23]

Osim gore navedenih rješenja ETSI tehnički odbor (Tehnical Committee – TC) ITS, razvija i održava važne usluge koje koriste ITS aplikacije. Neke od tih usluga su:

- Kooperativna svijest (Cooperative Awareness – CA) za stvaranje i održavanje svijesti o samom ITS sustavu i za podršku performansi kooperativnih vozila pomoću cestovne mreže.
- Decentralizirana okolna obavijest (Decentralized Environmental Notification – DEN) za upozorenje korisnika na cesti za otkriveni događaj pomoću ITS komunikacijskih tehnologija.
- Kooperativna percepcija (Cooperative Perception – CP) koja nadopunjuje CA uslugu kako bi odredila kako ITS sustav može obavijestiti druge ITS sustave o položaju, dinamici i atributima otkrivenih korisnika susjednih cesta i drugih objekata. [23]

7. ZAKLJUČAK

Povezanost je u današnje vrijeme dobila novi smisao. Imamo nevjerojatan razvitak tehnologija povezanih s mobilnim mrežama, koje bi trebale omogućiti dosad neviđenu povezanost, a to se odnosi na gotovo svu korisničku opremu koja ima mogućnost međusobne povezanosti, i koja će tek imati. To se u ovom radu posebno podrazumijeva pod tehnologije vezane uz povezanost različitih modova prijevoza, a posebno u cestovnom prijevozu. Stohastički način interakcije sa okolinom, upravljanje vozilima na temelju naših psiho-motornih sposobnosti, te djelovanje vanjskih čimbenika nad kojim nemamo utjecaja, poput vremena ili tuđih odluka je već više od stoljeća definiralo naš način sudjelovanja u prometu.

Mogućnost međusobne komunikacije između vozila, infrastrukture, korisnika, ali i mreže, omogućuje da se dođe do optimalnog načina komunikacije među različitim sudionicima u prometu. Nužna što niža latencija kod slanja velike količine podataka u kratkom razdoblju, pouzdanost sustava, interoperabilnost, te mogućnost pravodobnog odlučivanja u kritičnom trenutku što od strane sustava i/ili vozača. To bi omogućilo različitim aplikacijama, poput V2X-a, da omoguće napredne mogućnosti i postavke u prometu. Neke od tih naprednih mogućnosti bi pomogle u komunikaciji i pravodobnom obavještavanju korisnika, komunikaciji između vozila o uvjetima na cesti ili u svrhu međusobnog umrežavanja za upravljanjem konvojem, i na kraju pri pomoći za automatiziranu vožnju u prometu.

Sve navedene mogućnosti bi trebale biti omogućene od strane NR – V2X zbog omogućenog većeg kapaciteta, brzine prijenosa, veće propusnosti, niske latencije i povećane pouzdanosti u odnosu na LTE – V2X, ali i ITS-G5. Osim navedenih prednosti, mogućnost proširenja spektra omogućava da nove tehnologije, sustavi i uređaji imaju široki spektar na temelju kojeg neće dolaziti do međusobne interferencije od već trenutačnog zbijenog RF spektra. Milimetarski spektar će omogućiti veću propusnost, što će omogućiti i prijenos velikih količina podataka, što je nužno za punu implementaciju eV2X-a, pogotovo u gustim urbanim sredinama.

Za potpunu iskoristivost C-V2X tehnologije trebat će vremena, pošto se 5G mreža tek treba implementirati, a to će se postići uz postepenu „evoluciju“ trenutne 4G mreže, ali i ostalih mobilnih telekomunikacijskih tehnologija, gdje će se nastojati iskoristiti već rezervirani RF spektri. Za potpunu implementacija 5G tehnologije, a samim time NR-V2X-a, bit će nužna kooperacija postojećih tehnologija, koja će donekle imitirati/podupirati 5G mrežu, dok se ona u potpunosti ne uspostavi.

Može se zaključiti kako je realizacija navedene tehnologije neizbježna te je pitanje vremena kada ćemo imati u potpunosti implementiranu tehnologiju. Dokaz tome da idemo prema postepenoj automatizaciji su transportna poduzeća koja već sad koriste komunikaciju vozila i okoline, a pri transportu robe koriste djelomičnu automatizaciju vozila, s još uvijek prisutnim vozačem koji nadgleda/upravlja navedenim vozilom. Za potpunu implementaciju i omogućavanje naprednih mogućnosti vožnje i komunikacije vozila sa okolinom, bit će nužno unaprjeđenje postojećih mobilnih tehnologija ka 5G NR-u, te postepena implementacija navedene suvremenije tehnologije.

LITERATURA

[1] URL:https://www.gsma.com/iot/wp-content/uploads/2017/12/C-2VX-Enabling-Intelligent-Transport_2.pdf (29.07.2019.)

[2] URL:https://5gaa.org/wp-content/uploads/2017/12/5GAA-Road-safety-FINAL2017-12-05.pdf (30.07.2019.)

[3] URL:https://www.qualcomm.com/media/documents/files/accelerating-the-mobile-ecosystem-expansion-in-the-5g-era-with-lte-advanced-pro.pdf (29.07.2019.)

[4] URL:https://www.qualcomm.com/media/documents/files/5g-nr-based-c-v2x-presentation.pdf (23.08.2019.)

[5] 3GPP TS 22.185 V15.0.0 (2018-06), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Service requirements for V2X services; Stage 1 (Release 15) (20.08.2019.)

[6] 3GPP TS 22.186 V16.2.0 (2019-06), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Enhancement of 3GPP support for V2X scenarios; Stage 1(Release 16) (21.08.2019.)

[7] 3GPP TR 22.886 V16.2.0 (2018-12), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects, Study on enhancement of 3GPP Support for 5G V2X Services (Release 16) (19.08.2019.)

[8] URL:https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1809/1809.02678.pdf (30.07.2019.)

[9] ETSI TS 136 101 V14.3.0(2017-04), LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) radio transmission and reception (3GPP TS 36.101 version 14.3.0 (Release 14) (20.08.2019)

[10] 3GPP TR 21.915 V1.0.0 (2019-03), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Release 15 Description; Summary of Rel-15 Work Items (Release 15) (20.08.2019.)

[11] 3GPP TR 38.913 V15.0.0 (2018-06) 3rd Generation Partnership Project; Tehnical Specification Group Radio Access Network; Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies; (Release 15) (01.09.2019)

[12] Pierre Lescuyer, Thierry Lucidarme, *Evolved Packet System (EPS) The LTE and SAE Evolution of 3G UMTS*, West Sussex, Engleska, 2008. (13.08.2019.)

[13] URL: https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/98-lte(02.08.2019.)

[14] 3GPP TS 36.300 V15.6.0 (2019-06), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Evolved Universal Terrestrial

Radio Access (E-UTRA) and NR; Multy-connectivity; Stage 2 (Release 15) (21.08.2019.)

[15] 3GPP TS 37.340 V15.6.0 (2019-06), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2(Release 15) (22.08.2019.)

[16] 3GPP TS 23.501 V16.1.0 (2019-06), 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; System Architecture for the 5G System; Stage 2 (Release 16) (23.08.2019.)

[17] 3GPP TS 28.540 V16.0.0 (2019.06) 3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Services and System Aspects; Management and orchestration; 5G Network Resource Model (NRM); Stage 1 (Release 16) (30.08.2019.)

[18] 3GPP TS 38.300 V15.6.0 (2019.06) 3rd Generation Partnership Project; Tehnical Specification Group Radio Access Network; NR, NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (Release 15) (30.08.2019)

[19] 3GPP TR 38.885 V16.0.0 (2019-03) 3rd Generation Partnership Project; Tehnical Specification Group Radio Access Network; NR; Study on NR Vehicle to Everything (V2X) (Release 16) (29.08.2019.)

[20] Draft ETSI EN 302 663 V1.2.0 (2012-11) Intelligent Transport Systems (ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5GHz frequency band, (01.09.2019.)

[21] 3GPP TR 23.786 V16.1.0 (2019-06) 3rd Generation Partnership Project; Techical Specification Group Services and System Aspects; Study on architecture enhancements for the Evolved Packet System (EPS) and the 5G System (5GS) to support advanced V2X services (Release 16) (29.08.2019.)

[22] 3GPP TR 21.905 V16.0.0 (2019-06) 3rd Generation Partnership Project; Tehnical Specification Group Services and System Aspects; Vocabulary for 3GPP Specifications(Release 16) (01.09.2019)

[23] URL:https://www.etsi.org/technologies/automotive-intelligent-transport (01.09.2019)

POPIS KRATICA

3GPP	(Third Generation Partnership Project) Treća Generacija Partnerskog Projekta, sastoji se od 7 regionalnih telekomunikacijskih asocijacija
4G	Četvrta generacija širokopojasne mobilne mreže
5G	Peta generacija širokopojasne mobilne mreže
5G NR	(5G New Radio) Mobilna mreža pete generacije
5GC	(5G Core Network)
802.11p	Odobreni amandman za WAVE
ADAS	(Advanced Driver-Assistance Systems) Napredni sustavi za pomoć vozaču
ad-hoc	Naprečac, unaprijed
AF	(Application Function) Funkcija aplikacije
AMF	(Access and Mobility management Function) Funkcija upravljanja pristupom i mobilnošću
AN	(Access network) Pristupna mreža
ASTM	(American Society for Testing and Materials)
BASt	(German Federal Highway Research Institute)
BSM	(Basic Safety Message)
CACC	(Cooperative Adaptive Cruise Control)
CAM	(Cooperative Awareness Message)
CC	(Critical Communication) Kritična komunikacija
C-ITS	Kooperativni Inteligentni transportni sustavi
CLC	(Cooperative Lane Change)
CoCA	(Cooperative Collision Avoidance)
CoSdG	(Cooperative Short Distance Grouping)
CPE	(Collective Perception of Environment)
C-PLANE	(Control Plane) Kontrolna ploča
C-V2X	(Cellular Vehicle To Everything) Vozilo ka svemu putem mobilne mreže
D2D	(Device-to-device) uređaj ka uređaju
DL	(Downlink)
DN	(Data Network)

DRSC	(Dedicated Short range communications) Posvećene kratko-sežne komunikacije
ECU	(Electronic Control Unit)
eMBB	(Enhanced Mobile BroadBand) Poboljšana mobilna propusnost
EN-DC	(E-UTRA-NR Dual Connectivity)
En-gNB	(Node in EN-DC)
eNodeB	(Node in E-UTRANU)
EPC	(Evolved Packet Core) Evoluirana paketna jezgra
EPS	(Evolved Packet System) Arthitektura mobilnog LTE standarda
EtrA	(Emergency Trajectory Alignment)
E-UTRAN	(Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network) Standard za Radio pristupnu mrežu putem LTE-a
eV2X	(enhanced Vehicle-To-Everything) Poboljšana verzija V2X-a
Gbit/s, Mbit/s, kbit/s	jedinice za brzinu prijenosa podataka
GHz, MHz, kHz	mjerne jedinica za frekvenciju
gNB-CU	(gNB Central Unit)
gNB-CU-CP	(gNB-CU-Control Plane)
gNB-CU-UP	(gNB-CU-User Plane)
gNB-DU	(gNB Distributed Unit)
gNodeB	(Node in NG-RAN-u)
GNSS	(Global Navigation Satellite System)
GSM	(Global System for Mobile Communications) Standard za mobilnu mrežu druge generaciju, poznatija kao 2G
HARQ	(Hybrid automatic repeat request) ponovno prosljeđivanje obavijesti kod zaprimanja pogrešne poruke
HRLLC	(High-Reliable Low Latency Communication)
HSDPA/HSUPA	(High Speed Downlink/Uplink Packet Access) To su stopljena dva mobilna protokola koja pospješuje postojeću 3G mobilnu telekomunikacijsku mrežu
IEEE	(Institut of Electrical and Electronics Engineers) Institut inženjera elektrotehnike i elektronike
ITS	Inteligentni transportni sustavi
ITS AID	(ITS application identifiers)

KPI	(Key Performance Indicator)
LDM	(Local Dynamic Map)
LoA	(Level of Automation)
LTE	(Long Term Evolution) tehnički gledano 3.5G, marketinški definiran kao mobilna mreža četvrte generacije, poznatija kao 4G
LTE Advanced	(Advanced Long Term Evolution) mobilne mreža 3.9G/3.95G
LTE Advanced Pro	(Long Term Evolution Advanced Pro) mobilna mreža 4.5G Pro, 4.9G
MAC	(Medium Access Control)
MICO	(Mobile Initiated Connection Only) Samo inicirana mobilna veza
mIoT	(Massive Internet of Things) Masivni Internet Stvari
MME	(Mobility Management Entity)
MN	(Master Node)
MR-DC	(Multi-Radio Dual Connectivity) Dualno povezivanje s više radija
MTC	(Machine-Type Communication)
NE-DC	(NR-E-UTRA Dual Connectivity) MR-DC sa 5GC-om putem NR-E-UTRA dualne povezanosti
NEF	(Network Exposure Function) Funkcija mrežne izloženosti
NF	(Network Function) Funkcije Mreže
NG RAN	(Next Generation Radio Access Network)
NG-C	(NG Control Plane) Sučelje upravljačke ravnine između NG-RAN i 5GC
Ng-eNB	(Node via NG on 5GC) povezan je putem NG sučelja na 5GC
NGEN-DC	(NG-RAN E-UTRA-NR Dual Connectivity) MR-DC sa 5GC-om putem NG-RAN E-UTRA-NR Dualne povezanosti
NG-RAN node	(gNB or ng-eNB)
NG-U	(NG User Plane) Korisničko sučelje između NG-RAN i 5GC
NHTSA	(The National Highway Traffic Safety Administration)
Node	U doslovnom prijevodu čvor, naziv za baznu stanicu
NodeB	(Node in UTRAN)
NR	(New Radio) naziv za radio pristupnu mrežu za 5G
NRF	(Network Repository spremišta) Funkcija mrežnog spremišta
NSA	(Non-Stand Alone) 4G/5G vrsta arhitekture

NSSF	(Network Slice Selection Function) funkcija odabira mrežnog reza
OEM	(Original Equipment Manufacturer)
P2P	(Peer-to-Peer) korisnik-ka-korisniku komunikacija
PCF	(Policy Control Function) Funkcija kontrole politike
PDCP	(Packet Data Convergence Protocol)
PHY	(Physical Layer)
PKI	(Private Key Infrastructure) vrste enkripcije
ProSe	(Proximity Service) D2D vrsta tehnologije
PSID	(Provider Service Identifer)
QoS	(Qualitiy of Service) Kvaliteta usluge
RAN	(Radio Access Network) Radio pristupna mreža
RAT	(Radio Access Technologies)
Rel-14 ,Rel-15, Rel-16	(Release 14, 15, 16) Izvješća 14, 15, 16 od strane 3GPP-a
RLC	(Radio Link Control)
RNC	(Radio Network Controller) Upravljački element u UTRAN-u i odgovoran za kontrolu NodeB-a (bazne stanice)
RRC	(Radio Resource Control)
RSU	(Road Side Unit)
Rx/Tx	(Receiver/Transmiter) Prijemnik/odašiljač
SA	(Stand-Alone) 4G/5G vrsta arhitekture
SAE	(System Architecture Evolution)
SBA	(Service-Based Arhitecture)
S-GW	(Serving Gateway)
SL	(Sidelink, UE to UE interface for sidelink communication, V2X sidelink communication and sidelink discovery)
SMF	(Session Management Function) Funkcija upravljanja sesijom
SN	(Slave Node)
SSMS	(Sensor and State Map Sharing)
TAC	(IMEI Type Allocation Code)
TeSo	(Teleoperated support)
TNL	(Transport Network Layer)
UDM	(Unified Data Managment) Objedinjeno upravljanje podacima
UDR	(Unified Data Repository) Objedinjeni repozitorij podataka

UE	(User Equipment) Korisnička oprema
UL	(Uplink)
UMTS	(Universal Mobile Telecommunications Systems) Univerzalni mobilni telekomunikacijski sistem
UPF	(User Plane Function) Funkcija korisničke ravnine
U-PLANE	(User Plane) Korisnička ploča, prenosi korisničke podatke
URLLC	(Ultra Reliable Low Latency Communication) Izuzetno pouzdana komunikacija sa niskom latencijom
USDF	(Unstructured Data Storage Function) Funkcija nestrukturirane pohrane podataka
UTRAN	(UMTS Terrestrial Radio Access Network)
V2I	(Vehicle To Infrastructure) Vozilo ka Infrastrukturi
V2N	(Vehicle To Network) Vozilo ka Mreži
V2P	(Vehicle To Pedestrian) Vozilo ka Pješaku
V2V	(Vehicle To Vehicle) Vozilo ka Vozilu
VaD	(Video data sharing for assisted and improved automated driving)
VANET	(Vehicular ad-hoc networks) drugim riječima V2V
WAVE	(Wireless Access in Vehicular Environments)
WLAN	(Wirelles Local area network)
WMN	(Wireless Mesh Network)
Xn	Način povezivanja gNB-a sa drugim gNB-om

POPIS TABLICA

Tablica 1. Zahtjevi za scenarije velikih brzina podataka i gustoće prometa 8

Tablica 2. Zahtjevi za performanse za vozila konvojima 12

Tablica 3. Zahtjevi performansi za naprednu vožnju 16

POPIS SLIKA

Slika 1. Direktna komunikacija V2X-a, [4] 4

Slika 2. User-to-user putem V2N, [4] 5

Slika 3. Tipovi V2X aplikacija (V2V, V2P, V2N i V2I), [5] 6

Slika 4. Emitiranje bazirano na V2V komunikaciji; [5] 7

Slika 5. Kolektivna percepcija okoline, [7] 18

Slika 6. Dinamičko dijeljenje vožnje, [7] 19

Slika 7. Primjer sigurnosnog informacijskog sustava raskrižja, [7] 20

Slika 8. V2X pojasi u kojima djeluje, [9] 22

Slika 9. Novi NR pojasevi u FR1 i FR2 u Rel.15 NR, [10] 23

Slika 10. Prikaz UTRAN i E-UTRAN arhitekture, [12] 29

Slika 11. Prikaz ćelijskih modela, [12] 29

Slika 12. E-UTRAN Arhitektura, [14] 30

Slika 13. Sveukupna arhitektura sa MR-DC i E-UTRAN-om, [15] 31

Slika 14. C-Plane povezanost za EN-DC (lijevo) i MR-DC sa 5GC-om(desno), [15] 31

Slika 15. U-Plane povezanost za EN-DC (lijevo) i MR-DC s 5GC-om (desno), [15] 32

Slika 16. NSA Arhitektura, [10] 33

Slika 17. SA arhitektura, [10] 33

Slika 18. Arhitektura 5G sustava(faza 2), [16] 34

Slika 19. Prijenos konfiguracije između gNB-a i E-UTRAN-a arhitekture, [16] 36

Slika 20. Sveukupna arhitektura, [18] 38

Slika 21. Primjer situacija miješanja 3GPP RAT-ova, [7] 39

Slika 22. Slučaj izvan 5G pokrivenosti, [7] 41

Slika 23. Scenarij 1 (lijevo), Scenarij 2 (sredina), Scenarij 3 (desno), [19] 42

Slika 24. Scenarij 4 (lijevo), Scenarij 5 (sredina), Scenarij 6 (desno), [19] 42

Slika 25. Dodjela kanala za frekvencijsko područje oko 5 GHz, [20] 45

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

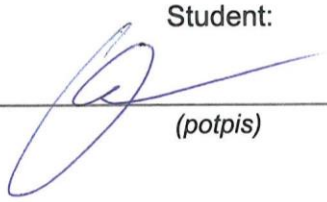
Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **POVEZIVOST VOZILA I OKRUŽENJA UPORABOM 5G INFRASTRUKTURE**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, 5.9.2019

Student:



(potpis)