

Utjecaj 5G mreže na razvoj usluga inteligentnih transportnih sustava

Pehar, Jelena

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:119:765637>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

[Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 17. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za inteligentne transportne sustave**
Predmet: **Inteligentni transportni sustavi I**

ZAVRŠNI ZADATAK br. 6398

Pristupnik: **Jelena Pehar (0036514143)**
Studij: **Inteligentni transportni sustavi i logistika**
Smjer: **Inteligentni transportni sustavi**

Zadatak: **Utjecaj 5G mreže na razvoj usluga inteligentnih transportnih sustava**

Opis zadatka:

Planovi i prve implementacije 5G mobilne mreže ukazuju na potencijalno značajnija unaprjeđenja ITS usluga. Niska latencija i propusnost u 5G mobilnoj mreži, ključni su pokazatelji daljnjeg razvoja ITS usluga. U ovom završnom radu potrebno je opisati moguće utjecaje 5G mreže na razvoj ITS usluga. Također, potrebno je opisati razvoj pokretnih mobilnih mreža, ključne karakteristike 5G mreže za rad ITS sustava te mogućnosti razvoja i unaprjeđena ITS usluga u 5G okruženju.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

doc. dr. sc. Pero Škorput

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Jelena Pehar

UTJECAJ 5G MREŽE NA RAZVOJ USLUGA ITS SUSTAVA

**THE IMPACT OF 5G NETWORK ON EVOLUTION OF INTELLIGENT
TRANSPORTATION SYSTEM SERVICES**

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2021.

SAŽETAK:

Ovaj završni rad daje uvid u utjecaj razvoja 5G mrežne tehnologije na inteligentni transportni sustav u koji je implementirana. Rad prikazuje povijest mrežnih tehnologija i ITS-a, njihovu arhitekturu i međusobno prepletanje. Na temelju analize mogućnosti koje pruža 5G mrežna tehnologija jasno je da ona pruža višestruke mogućnosti za razvoj ITS-a.

Kroz studije slučaja prikazani su uspješni primjeri implementacije 5G mrežne tehnologije u prometni sustav.

KLJUČNE RIJEČI: 5G, ITS, pametni grad, V2X

SUMMARY:

This project gives insight into development of 5G network technologies and its impact on intelligent transport system it is embedded in. Project presents history of mobile technologies and ITS, their architecture and interweaving. Based on 5G networks possibility analysis, it becomes clear they provide multiple opportunities for ITS development.

Throughout case studies successful examples of implementations of 5G network technologies into transportation system are shown.

KEY WORDS: 5G, ITS, Smart city, V2X

SADRŽAJ

1. Uvod	1
2. Povijest razvoja	3
2.1. Povijest razvoja mobilnih mrežnih tehnologija	3
2.2. Povijest razvoja inteligentnih transportnih sustava	8
3. Ključne karakteristike 5G mreže za rad ITS sustava.....	11
3.1. Arhitektura i tehnologija 5G sustava	11
3.2. Pregled značajki 5G mreže u okviru ITS sustava	12
4. Razvoj i unaprjeđene ITS usluga u 5G okruženju	14
4.1. Komponente ITS sustava u pametnom gradu	14
4.2. Obrada podataka unutar ITS sustava	18
5. Studija slučaja	20
5.1. Inteligentna kontrola brzine vozila	20
5.2. Inteligentni menadžment prometnog sustava	21
5.3. Pametna kamera za detekciju prometa	22
5.4. Inteligentni sustav parkinga.....	23
5.5. Primjena ITS-a i 5G mreže u vozilima.....	25
6. Zaključak.....	28
POPIS LITERATURE	29
POPIS SLIKA	32
POPIS TABLICA	34

1. Uvod

Unaprjeđenje prometnog sustava je u prošlosti značilo gradnju prometnica i pripadajuće infrastrukture. Međutim danas taj proces sve manje svoje uporište traži u razvoju infrastrukture, a sve više težište prebacuje na informatizaciju i komunikacijske tehnologije.

Komunikacijski dio infrastrukture inteligentnog transportnog sustava je nit koja povezuje sve logičke i fizičke jedinice i zapravo valjani ITS sustav ne postoji bez valjane komunikacije.

Početak upotrebe 5G mreže pruža velike potencijale u daljnjem unaprjeđenju prometnog sustava. Otvaraju se novi horizonti razvoja autonomnih vozila, pametnih cesta i pametnih senzora koji zajedno vode do razvoja pametnog grada budućnosti.

Svrha ovog završnog rada je davanje uvida u 5G mrežne tehnologije te način i rezultate njihove primjene u svrhu razvoja prometnog sustava.

Rad je podijeljen u pet cjelina:

1. Uvod
2. Povijest razvoja
3. Ključne karakteristike 5G mreže za rad ITS sustava
4. Razvoj i unaprjeđene ITS usluga u 5G okruženju
5. Studija slučaja
6. Završetak

Cjelina o povijesti razvoja daje uvid u tijek razvoja mrežnih tehnologija počevši s 1G mrežom pa sve do današnje 5G mreže. Također pruža uvid povijest razvoja ITS-a.

Treća cjelina obrađuje tematiku arhitekture i glavnih značajki 5G mrežnih tehnologija u okviru ITS sustava.

Četvrta cjelina pokazuje karakteristike ITS sustava kao dijela pametnog grada i pokazuje kako se obrađuju podaci unutar ITS sustava povezanog 5G mrežnim tehnologijama.

Peta cjelina pokazuje kako 5G mreža i visoko inteligentni prometni sustav nije stvar daleke budućnosti već ima primjenu već danas. Prikazano je nekoliko slučajeva primjene u realnom sustavu.

Završna cjelina daje pregled napisanog u ovom završnom radu te kratki osvrt na razvoj 5G mreže i suvremenog ITS sustava.

2. Povijest razvoja

2.1. Povijest razvoja mobilnih mrežnih tehnologija

Povijest razvoja mrežnih tehnologija počinje u Japanu 1979. kad je predstavljena 1G tehnologija od strane tvrtke NTT. U Europi je najpoznatija bila NMT(*Nordic Mobile Telephony*) mreža nastala 1981. u Finskoj i Švedskoj.

Takvu mrežu su činili analogni protokoli brzine 2.4 Kbps i omogućavali su prijenos zvuka, primjerice telefonske pozive. Prvotno frekvencijsko područje je bilo na 450 MHz da bi kasnije standard postao 900 MHz.

Princip rada 1G tehnologije je korištenje frekvencijske modulacije FM, a uređaji su se koristili tehnikom višestrukog pristupa s frekvencijskom raspodjelom kanala. Tako je uređaju za vrijeme trajanja poziva dodjeljivano nekoliko frekvencijskih kanala.

Iako je 1G predstavio veliku revoluciju, sadržavao je mane: mali kapacitet, nepouzdanost i slab glas. Podrazumijevao je telefonske uređaje koji su bili masivni i velikih dimenzija.



Slika 1. Uređaj koji se služi 1G mrežom

Početakom 1990ih predstavljene su prve digitalne 2G mreže. Digitalni standardi zamijenivši analogne omogućile su znatno veću brzinu prijenosa podataka od 64 Kbps, prijenos tekstualnih SMS poruka. Bolja iskoristivost frekvencijskog spektra je ostvarena koristeći vremensku raspodjelu kanala TDMA(engl. Time Division Multiple Access) u kojoj jednu frekvenciju koristi

nekoliko korisnika i svaki od njih ima dodijeljeno vrijeme. Bolje performanse mreže su objedinjene pod GSM(engl. *Global System for Mobile Communications*) sustavom. Dolazi do pojave digitalne enkripcije podataka te samim tim i bolje zaštite i sigurnosti podataka. Baterije uređaja su zbog manje potrošnje dulje trajale, bilo je manje šumova u prijenosu zvuka.



Slika 2. Uređaj koji se služi 2G mrežom

Treća generacija bežičnih veza predstavljena 1998. 3G je označila veliki skok u brzini prijenosa podataka digitalnom mrežom. 2 Mbps su omogućila preuzimanja informacija s Interneta, slanje videozapisa.

Korištenje paketnog moda prijenosa podataka je omogućila novi spektar mogućnosti korištenja. Ključni dio infrastrukture 3G mreže je mreža mobilnih tornjeva koji šalju signale.

Sredina 2000ih godina je donijela unprijeđenje 3G mreže u 3.5G, 3G+ i turbo 3G, utemeljene na UTMS(Universal Mobile Telecommunications System) koje su značile još veće brzine i kapacitet mreže.

Slika 3 prikazuje uređaj koji se koristi 3G mobilnom mrežnom tehnologijom. Naziv uređaja je Blackberry 9720.



Slika 3. Uređaj koji se služi 3G mrežom

Dolazak 4G tehnologije donosi rast širokopoljasne mobilne mreže. Rast broja korisnika i potreba za pokrićem dovela je do standarda dugoročne evolucije LTE(engl. Long Term Evolution). Mreža prenosi velike količine podataka brzinom do 100 Mbps na temelju IP(engl. Internet protocol) protokola. Podaci se procesiraju, multimedijски sadržaji procesiraju i šalju, a zatim i preuzimaju velikim brzinama koristeći 4G bežičnu mrežu.

Koristi se tehnika višestrukog pristupa ortogonalnim frekvencijskim razdvajanjem (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access - OFDMA*) te ortogonalno multipleksiranje frekvencijskim odvajanjem (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM*) .

Slika 4 prikazuje uređaj Iphone 5 kompanije Apple koji se koristi 4G mrežnom tehnologijom. Uređaj na slici, kao i 4G mrežna tehnologija, je još uvijek u frekventnoj uporabi u 2021. godini.



Slika 4. Uređaj koji se služi 4G mrežom

Prednosti 4G mreže se očituju kroz mala kašnjenja, visoku učinkovitost, veliku i varijabilnu pojasnu širinu, broadcast i multicast prijenos. LTE evoluirala u LTE-A(engl. LTE_Advanced) koji kroz veće omjere podataka u silaznoj vezi, mobilnost pri velikim brzinama, poboljšanje propusnosti i promjene u ćelijama označava postupni prijelaz na 5G tehnologiju.



Slika 5. Uređaj koji se koristi 5G mrežom

Naziv mobilna mreža ne opisuje u potpunosti 5G tehnologiju jer je njezin cilj i domena šira-
obuhvatiti i druge uređaje u pametno okruženje u oblaku. Brzine od 1 do 10 Gbps unutar mobilnih
i ostalih pametnih uređaja označavaju cjelovito umreženje tehnoloških ostvarenja u cjelinu
razmjene podataka.

Tablica 1. Evolucija mobilnih mrežnih tehnologija

VRSTA MOBILNE MREŽNE TEHNOLOGIJE	GODINA NASTANKA	ODLIKE
1G	1979.	Analogna telekomunikacija
2G	1991.	Tekstualne poruke
3G	1998.	Bežična Internet komunikacija
4G	2008.	Oblak, IP adresa uređaja
5G	2019.	Neograničen prijenos podataka

Tablica 1 prikazuje evoluciju mobilnih mrežnih tehnologija kroz vrijeme počevši od osamdesetih
godina dvadesetog stoljeća pa sve do dvadesetih godina dvadeset i prvog stoljeća. Na desnoj strani
tablice su prikazane glavne odlike pojedinih mobilnih mrežnih tehnologija.

2.2. Povijest razvoja inteligentnih transportnih sustava

Rana povijest razvoja inteligentnih transportnih sustava veže se uz početak dvadesetog stoljeća kad se pojavljuju prvi uređaji koji unaprjeđuju tadašnje prometnice. 1920ih godina dolazi do velikog porasta broja osobnih vozila, tako se u SAD-u tad broj vozila skoro utrostručio- s 8 na 23 milijuna[0]. To razdoblje je obilježio izum semafora 1914. godine. Porastom broja vozila raste i svijest o sigurnosti u prometu pa se počinju koristiti sigurnosni pojasevi, dual sustav kočenja, standardizirane visine branika, zračni jastuci.

1960ih godina izumljen je DAIR(engl. Driver Aided Routing System) pomoću kojeg vozači dojavljaju trenutno stanje prometnice i eventualne incidentne situacije. Sustav je temeljen na magnetima postavljenim na cesti, testiran je u Detroitu 1966., međutim nikada nije zaživio u primjeni.[1]

Veću revoluciju donose primjene sustava kao što su

- **ARCS**(engl. Automatic Route Control System) za mapiranje
- **Loop Detectors**-prvi senzori prisutnosti vozila
- **DMS**(engl. Dynamic Message Signs)- elektronski poruka
- **Menadžment Rampe**-koristi se u željezničkom prometu
- **Centri za upravljenje prometom**

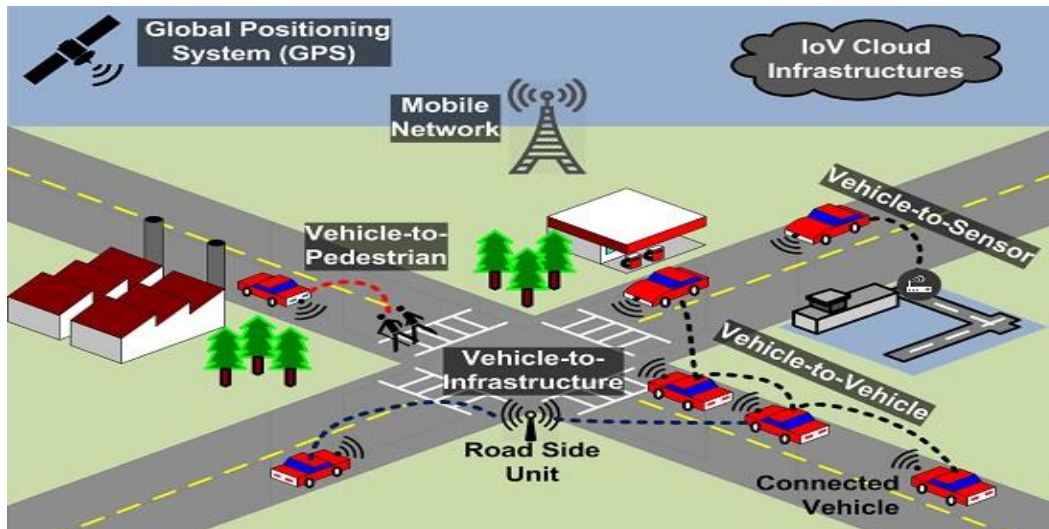
Drugu fazu razvoja ITS-a **1980ih** godina je obilježio razvoj GPS sustav. Razvijaju se prvi mikroprocesori. U željezničkom prometu razvija se IVHS(engl. Intelligent vehicle highway system), a u cestovnom prometu pridaje se pažnja onečišćenju okoliša te optimizaciji i upravljanju semaforima. O naprednosti tehnologije već tada najbolje govori primjer uspješnog rada na autonomnom vozilu ALV(engl. Autonomus Land Vehicle) od kompanije DARPA. Vozilo je bilo opremljeno sa šest računala i kamerom koja je nadzirala i omogućavala sigurno kretanje bez vozača brzinom 3 km/h na 1km ravne ceste.[2]



Slika 6. Vozilo naziva ALV kompanije DARPA

1990e godine donose promjene u svjetskoj politici padom Berlinskog zida i okončanjem Hladnog rata, a razbijanje barijera se događa i u tehnološkom svijetu izumom World Wide Web-a. ITS sustavi također napreduju i počinju se koristiti tehnologije kao što su:

- FAST TRACK- mali prometni kontrolni sustav s ugrađenim naprednim sustavima upravljanja prometom i obavještanja putnika
- TravTek- susutav za informiranje i navigiranje vozača
- DSRC (engl. Dedicated Short Range Communications)- sustavi za obostranu komunikaciju na male udaljenosti
- ETC(engl. Electronic Toll Collection)- elektronski sustav naplate cestarine



Slika 7. Skica inteligentnog transportnog sustava

2000ih godina počinje se koristiti WiFi mreža brzine 600 Mbit/s na frekvenciji od 2.4 GHz ili 5 GHz. Javljuju se mobilne aplikacije za informiranje putnika, a radi se na autonomnim vozilima pa je 2004. godine organizirana i utrka takvih vozila u Kaliforniji pod nazivom DARPA.[0000]

Nakon 2010. godine zbiva se nova faza napretka ITS tehnologija. Svijet transporta postaje umrežen, povezan komunikacijom vozila međusobno V2V, s infrastrukturom V2I te ostatkom okoline V2X. Težnja je na razvoju autonomnih, sigurnih vozila opremljenim geolokacijskim uređajima.

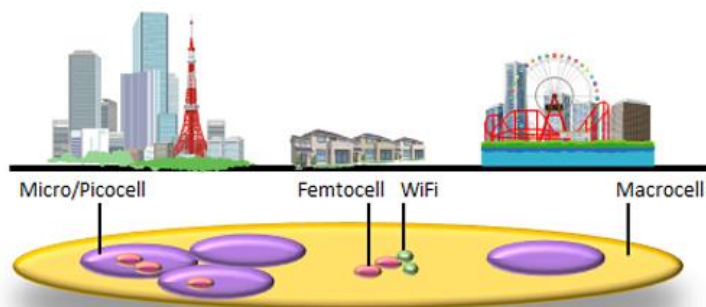
3. Ključne karakteristike 5G mreže za rad ITS sustava

3.1. Arhitektura i tehnologija 5G sustava

Težnja 5G mreže za prijenosom velikog broja podataka s približavanjem kašnjenja nuli zahtijeva velike brzine prijenosa. To je moguće ostvariti prijenosom podataka na znatno višim frekvencijama nego što su korištene u prijašnjim generacijama. Tim zahtjevima je bilo potrebno prilagoditi arhitekturu 5G mreže.

Ključni dio arhitekture čine MIMO(engl. Multiple Input Multiple Output) antene koje se stavljaju na bazne stanice i odašilju valove visokih frekvencija od 30 do 300 GHz i širokog pojasa transmisije. Tim valovima je moguće postići velike brzine prijenosa podataka od 1 do 10 Gbps. Budući da su valovi visokih frekvencija istodobno i kratkog dometa- do jednog kilometra, potreban je velik broj takvih antena što predstavlja implementacijski otežavajući faktor. Princip rada antena zasnovan je na razvoju manjih ćelija velike gustoće(engl. Hyperdense small-cell development) koje se nadalje dijele na mikro ćelije, piko ćelije i fempto ćelije.

Implementacijom antena koje sadrže takve ćelije postiže se zadovoljavajuća brzina prijenosa podataka sa znatnim povećanjem kapaciteta mreže za čak 1000 puta u odnosu na prijašnje 4G LTE tehnologije.[3]



Slika 8. Veličine ćelija na antenama baznih stanica

Ključni problem u odgovoru mreže na zahtjev korisnika se provlači kroz sve generacije razvoja mrežnih tehnologija i definirano je kroz pojam latencija.

Upravo smanjenje latencije je jedna od glavnih odrednica nove 5G Tehnologije u kojoj je to postignuto koristeći ultraširoki pojas UWB(engl. Ultra Wide Band) mreže na niskim razinama utroška energije što ujedno i smanjuje potrošnju baterije uređaja. Širina mreže obuhvaća 4000 Mbps što je povećanje za četiri puta u odnosu na 4G bežičnu mrežu.

Zahvaljujući takvim performansama latencija iznosi vrlo niskih 1ms.

3.2. Pregled značajki 5G mreže u okviru ITS sustava

Informatizacija prometnog sustava čini ga SDN(engl. Software Defined Network) odnosno softverski definiranom mrežom[4]

Prema Međunarodnoj Telekomunikacijskoj Uniji-ITU(engl. International Telecommunication Union), budući 5G sustavi će imati 3 glavna scenarija:

1.scenarij je eMBB(engl. enhanced Mobile Broadband) čiji je cilj osigurati ekstremno brzi prijenos podataka koji se ponajprije odnosi na prijenos UHD(engl. ultra-high-definition) video sadržaja i aplikacija virtualne stvarnosti VR(engl. Virtual Reality). Gledajući iz konteksta ITS-a takve specifikacije mreže omogućile bi prijenos važnih video informacija u stvarnom vremenu što je ključan element detekcije na incidentnu ili neku novu situaciju u prometnoj mreži te brzi i adekvatni odgovor na istu.

2.scenarij mMTC(engl. massive Machine Type Communications) koji osigurava veliku gustoću povezanih uređaja (do 200 000 uređaja/km²) i nisku potrošnju energije senzora koji upotpunjuju pametne gradove i IoT(Internet of Things) tehnologije. S ITS gledišta velika gustoća ekonomičnih senzora je ključna za dobivanje što veće količine podataka kojom će se sustav nadzirati. Važno je reći da 5G mreža ujedno i omogućava spremanje i obradu velike količine podataka, tako da primljene podatke može adekvatno usmjeriti i iskoristiti.

3.scenarij URLLC (ultra-reliable low-latency communication) cilja omogućiti ekstremno visoku pouzdanost mreže od 99.999% uz minimalnu latenciju <1 ms. Ovaj scenarij je na poseban način

važan za rad pametnih metara, kontrolu brzih vlakova, kontrolu sigurnosti prometnog sustava i robotskih uređaja.

Uz navedene scenarije, važne značajke 5G mreže za funkcionalan ITS sustav su:

- o D2D(engl. Device-to-device) komunikacija odnosno direktna međusobna komunikacija vozila i drugih uređaja koristeći linkove kratkog doseg a i malu energiju prijenosa informacija između vozila koja su na maloj udaljenosti. Još jedna prednost ovakvog oblika komunikacije je mala latencija zbog direktnog prijenosa informacija bez posrednika.
- o MIMO(engl. Multiple-input Multiple-output) podrazumijeva korištenje velikih antena na baznim stanicama koje omogućuju prijenos velikog broja informacija simultano na istom radio kanalu. Ova tehnologija je od posebne važnosti za ITS budući da je količina informacija velika, a u urbanim gradskim zonama količina spojenih uređaja znatno povećana.
- o mm-Valovi koji se odašilju na frekvencijama između 30 i 300 GHz što predstavlja znatan skok u odnosu na prijašnje tehnologije koje su koristile pojas ispod 6 GHz. U tradicionalnim tehnologijama visoke frekvencije su bile problematične zbog ometala poput kiše ili visokih zgrada, ali u 5G mreži ovaj problem je riješen koristeći male stanice- Small Cells.[5]
- o Male stanice su zapravo minijature verzije baznih stanica koje zahtijevaju malu količinu energije za funkcioniranje. Dije se prema snazi na piko stanice, mikro stanice te femto stanice. Usporedo s prijenosom milimetarskih valova, i veličina potrebnih antena je znatno manja, a to doprinosi lakšoj implementaciji malih stanica na mjestima poput vrhova zgrada. Plan je u pametnim gradovima instalirati tisuće ovakvih stanica, a posebno gusto na mjestima s „gustim tokom informacija“ kao što su trgovački centri, sportska događanja, zračne luke, autobusni i željeznički kolodvori.[6]. Ipak, postoje otegotne okolnosti kao što je financijski trošak implementacije enormnog broja malih baznih stanica, a i njihovog održavanja. Kroz taj koncept najizglednija je implementacija tih tehnologija u gradskim središtima, dok će u prigradskim i seoskim naseljima i dalje primat imati tradicionalne bazne stanice.[7]

4. Razvoj i unaprjeđene ITS usluga u 5G okruženju

Prema studiji Qualcomm iz 2017., 5G mreža će ostvariti prihode veće od 2.4 trilijuna američkih dolara što znači da će prometni sektor predstavljati oko 20% cjelokupnog globalnog utjecaja 5G mreže. Svjetski Ekonomski Forum je 2015. objavio pretpostavke da će digitalizacija automobilske industrije generirati 67 trilijuna američkih dolara u periodu od 2015. do 2025. godine. Te brojke ukazuju na važnost i prosperitetnost ulaganja u evoluciju prometnog sustava.

ITS usluge u definiciji imaju svrhu razvoja i unaprjeđenja prometa, a značajke 5G mreže pružaju potpuno nove mogućnosti razvoja istih. Moderan način života utjecao je i na zahtjeve transportnih entiteta, stoga putnicima više nije cilj samo stići s mjesta A na mjesto B, nego to učiniti što brže i efikasnije a istovremeno i sigurno.

Razvoj ITS usluga u 5G okruženju čini dio cjeline pametnih gradova(engl. Smart City) budućnosti, u kojima će naglasak biti na cjelovitoj povezanosti i razmjeni informacija. Tehnologije koje se koriste temelj imaju u softveru umjetne inteligencije s mogućnostima strojnog učenja.

4.1. Komponente ITS sustava u pametnom gradu

Cjelina pametnog grada obuhvaća više sustava, a jedan od njih je ITS sustav pametnog prijevoza. Nadalje, sami ITS sustav se sastoji od ključnih komponenata koji se temelje na razmjeni informacija putem 5G mreže, a neke od tih komponenata su:

Pametne kamere- nadzor prometa kamerama je već dugo u primjeni, a nedostatak je nužnost ljudskog nadzora tih kamera. Kao rješenje su nastale pametne kamere koje automatski detektiraju anomalije u funkcioniranju prometnog sustava, a koriste se i u drugim dijelovima prometnog sustava kao što su parking sustavi i naplata. Dodatne mogućnosti pametnih kamera se postižu povezivanjem s navigacijskim sensorima i sensorima intenziteta prometa. Time se postiže cjelovita slika i omogućuje pružanje informacija putnicima o promjenama u rasporedu vožnje JGP-a, nastanku prometnih nesreća i zastoja.

Slika 9 pokazuje kako pametna kamera postavljena unutar križanja detektira pješake, vozila, međusobne udaljenosti i detektira prijetnje.



Slika 9. Detekcija situacije u prometu pomoću pametne kamere

Pametne ceste- predstavljaju potpuno novu viziju ceste, ona prestaje biti samo statična podloga za kretanje prometnih entiteta, dobiva informatičke značajke i adaptivne karakteristike. Princip funkcioniranja pametnih cesta obuhvaća uporabu fluorescentnih boja koje se pune danju da bi noću slala svjetlosne signale, upozorenja, informacije o idealnoj putanji vozilu. U konceptu potpuno autonomnih vozila pametnim cestama se predviđa značajna uloga u komunikaciji i razmjeni informacija direktno s vozilom koji se kreće njenom površinom. Solarni paneli ugrađeni u ovakvu tehnologiju omogućuju održivo funkcioniranje. Materijali koji su predviđeni za implementaciju u infrastrukturu pametnih cesta su termoplastika za oznake na cesti, premazi protiv proklizavanja...[8]

Slika 10 prikazuje testni model pametne ceste u Georgiji u SAD-u, projekt kompanije Qualcomm. Temelj prikazanog sustava je V2X komunikacija koja se odvija na ITS spektru od 5.9GHz.. Implementirane su kamere, radar, lidarski senzori za asistiranje vozaču. Sustav je uspješno testiran da dionici od 1.5 milje gdje su se pomoću dobivenih informacija kretala autonomna vozila. Iz Qualcomm-a poručuju kako ovaj projekt može služiti kao nit vodilja za daljnju implementaciju i veće projekte unutar pametnih gradova.

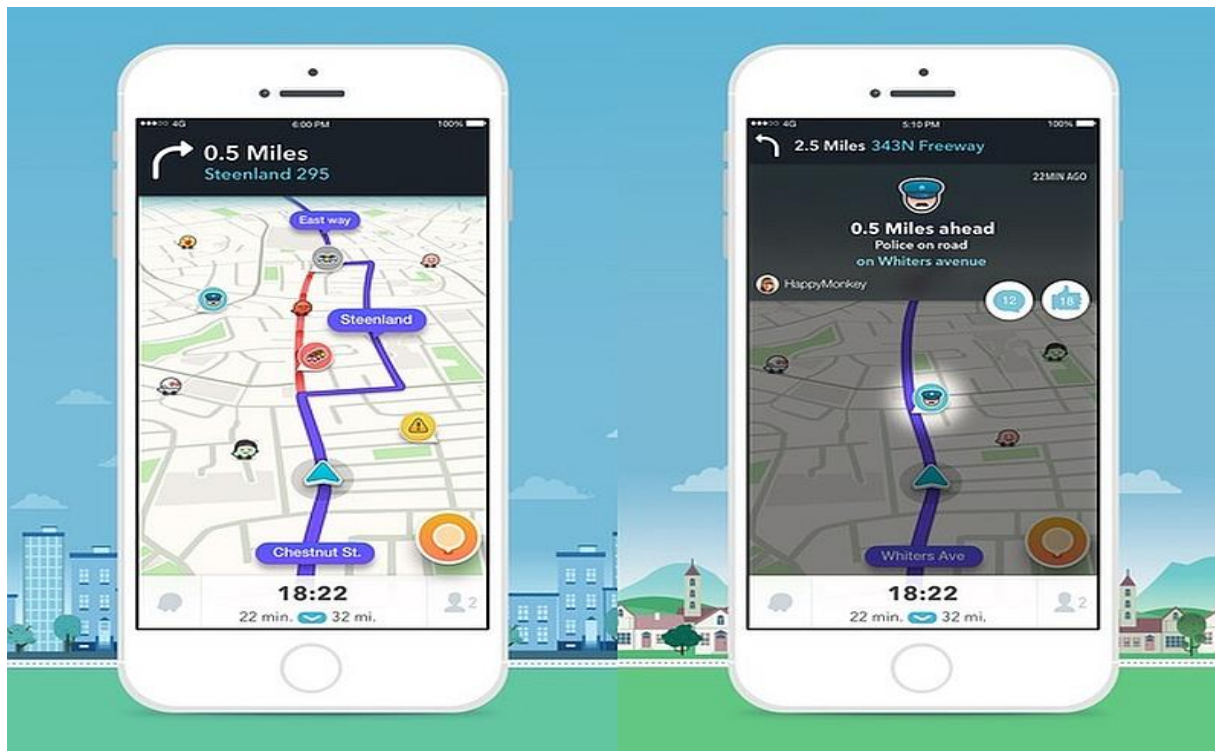


Slika 10. Projekt pametne ceste tvrtke Qualcomm

Pametna navigacija- označava sustav usmjeravanja vozača na mjesto odredišta personaliziranom rutom koristeći digitalne mape i geo-pozicioniranje. Ideja sustava je pružiti vozaču informacije idealnoj ruti ovisno trenutnom stanju u prometu, mjestima interesa i vremenskim uvjetima. Slični sustavi su već danas u primjeni- Google Maps, Sygic, Waze, Maps.Me.

Slika 11 pokazuje navigacijsku aplikaciju Waze koja je često korištena u gradovima. Na Waze web stranici navode da imaju preko 140 milijuna aktivnih korisnika diljem svijeta. Sustav se zasniva na GPS sustavu navigacije, a unutar sučelja vozači jedni drugima šalju podatke o prisutnosti policije, radova na cesti, radarske kontrole, prometnog incidenta ili slično. Na slici se vidi kako aplikacija

pokazuje i podatke o predviđenom vremenu dolaska na odredište i prisutnosti prometnog zagušenja označenog crvenom bojom prometnice.



Slika 11. Waze navigacijska mobilna aplikacija

Komunikacija vozila- označava međusobnu razmjenu informacija između vozila-V2V(engl. Vehicle to Vehicle), a kao unaprjeđenje se javlja komunikacija vozila s cjelokupnim sustavom V2X(Vehicle to Everything). Služeći se 5G mrežom i spremanjem informacija u oblaku, komunikacija u realnom vremenu i razmjena ključnih informacija predstavlja krajnji cilj razvoja ITS usluga u pametnom gradu.

Slika 12 prikazuje križanje u gradu gdje autonomna vozila, pješaci i infrastruktura međusobno šalju informacije i ostvaruju optimalno funkcioniranje prometnog sustava. Ključnu ulogu imaju senzorski sustavi ugrađeni na kamere (daju informaciju o trenutnom stanju na prometnici, posebnu važnost imaju pri detekciji incidenta), na vozila (informacije o brzini, o putanji i razmaku vozila), na samu prometnicu(informacije o skliskosti, vlažnosti, temperaturi kolnika). Pomoću svih tih informacija cilj je harmoničan i organiziran prometni sustav pametnog grada, baš kao što je prikazan na slici.



Slika 12. Križanje s V2X komunikacijom putem 5G mreže

4.2. Obrada podataka unutar ITS sustava

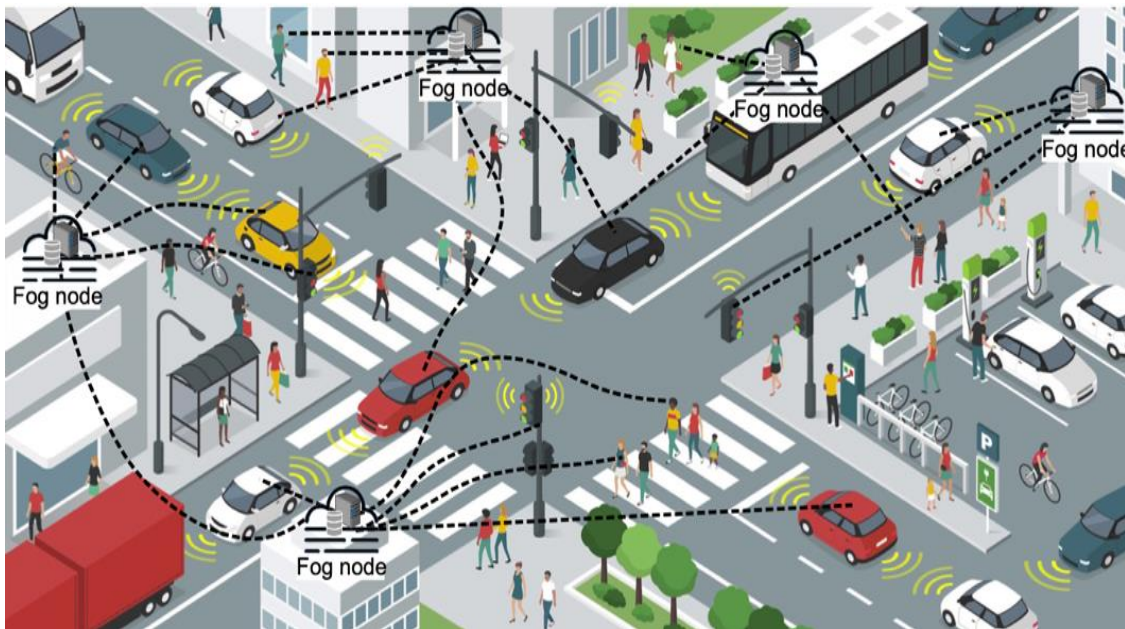
Razvoj pametnih gradova svoje uporište ima u Big Data konceptu koji označava enormne količine podataka dobivenih stalnim prikupljanjem, slanjem, komunikacijom između vozila, infrastrukture, senzora. Te podatke prikupljene u senzorima unutar i izvan vozila, GPS sustavom, mobilnim telefonima treba nekako strukturirati i obraditi. Također, problem se javlja i u pohrani istih.

Jedan od obećavajućih odgovora na navedenu problematiku koncept **Računalstva u oblaku**(engl. Fog Computing).

Prema NIST-u (engl. national institute of standards and technology), arhitektura takvog sustava obuhvaća nekoliko vrsta „čvorova u oblaku“(engl. Fog Clusters or Nodes) [9]

Tako prema domeni, doseg i dostupnosti razlikujemo privatne čvorove u oblaku, čvorove zajednice, javne i hibridne čvorove u oblaku. Svaki od njih prikupljene podatke sprema u oblak i time izbjegava „usko grlo“(engl. Bottleneck) pohrane podataka na već pomalo zastarjele hard disk tehnologije.

Slika 13 prikazuje čvorove unutar ITS sustava na križanju. Predstavlja dublji uvid u sliku br. 4. Odnosno način na koji su senzori povezani u čvorove. Vozila primaju informacije o trenutnoj situaciji u prometu, incidentnim događajima, alternativnim rutama i mjestima za parking. Semafori su adaptivni na trenutnu situaciju i interveniraju na prisutnost vozila žurnih službi. Pješaci dobivaju informacije o ruti i situaciji na pješačkim prijelazima,



Slika 13. Čvorovi u oblaku unutar 5G križanja

Novi oblik pohrane podataka u oblak zahtijeva i veće brzine prijenosa podataka. Dosadašnje tehnologije poput FTP(engl.File Transfer Protocol) i HTTP(Hypertext Transfer Protocol) bivaju zamjenjivane novim tehnologijama. Jako dobrom se pokazala tehnologija tvrtke IBM pod nazivom Aspera FASP(engl. Aspera's high-speed file transfer technology), a njezinu kvalitetu su prepoznale kompanije poput BT Sports-a koji je korist za prijenos velikog broja datoteka.

Primjer rješenja problema parkinga navodi Tang i sur. On predlaže parking uslugu čija je baza u oblaku, gdje se generiraju podaci o broju slobodnih parkirnih mjesta i broju vozila koji traže to mjesto. Svi ti podaci se prikupljaju pomoću lokalnih čvorova u oblaku. Slična tehnologija je primjenjiva u stvarnovremenskom pružanju informacija o dolasku i odlasku prometnih entiteta kao što su tramvaji ili autobusi na stanice. [10]

5. Studija slučaja

Primjena 5G mreže i ITS sustava u gradu se donedavno činila kao vizija budućnosti, međutim to je danas stvarnost i nužnost kako bi suvremeni gradovi održivo kontrolirali prometni tok.

ITS kroz 5G tehnologiju svakim danom sve više ulazi u sve grane prometa kroz realnu primjenu.

5.1. Inteligentna kontrola brzine vozila

Unutar tradicionalnog prometnog sustava ograničenja brzine su prikazana najčešće u sklopu vertikalnih prometnih znakova, međutim problem nastaje pri nepoštivanju istih što dovodi do incidentnih situacija.

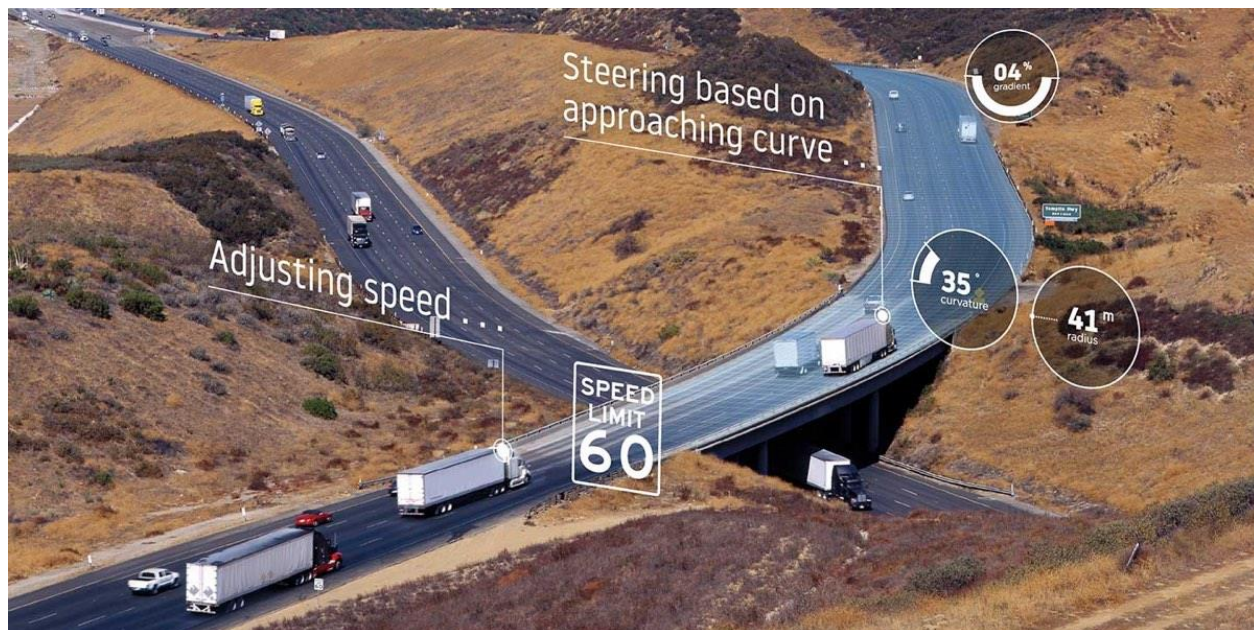
Kao odgovor na te izazove u Europi je predstavljen sustav ISA(engl. Intelligent Speed Adaptation).

ISA sustav predstavlja simbiozu georeferencijskih podataka i naprednih sustava asistencije vozaču ADAS (engl. Advanced Driver-Assistance Systems).

Sustav radi tako da prati trenutnu lokaciju vozila i povezuje ju s ograničenjem brzine na tom području koju vozilo skenira pomoću kamere za prepoznavanje prometnog znaka. Sustav radi na principu ograničenja brzine- smanjuje ili povećava energiju rada motora vozila sukladno optimalnoj brzini kretanja, a vozaču na kontrolnu ploču šalje informacije o brzini putem 5G mreže. Procjene su da ISA će ISA sustav smanjiti prometne nezgode za 30% i smrtne slučajeve u prometu za 20%.

Tako vozač jednostavno nije u mogućnosti voziti velikom brzinom ispred škole ili u naseljenom mjestu jer se sustav ISA pobrinuo za regulaciju energije motora.[11]

Slika 14 prikazuje implementaciju ISA sustava. Osim što sustav koristi podatke o ograničenju brzine, zahvaljujući 5G u ITS mreži gleda se šira slika. Tako će se uzeti u obzir i nagib, trenutno stanje kolnika, vremenski uvjeti i slično. ISA sustav pomoću 5G mreže prikuplja te podatke u stvarnom vremenu.



Slika 14. ISA sustav inteligentne kontrole brzine

5.2. Inteligentni menadžment prometnog sustava

Jedan od glavnih zadataka inženjera prometa jest upravljanje prometnim sustavom u stvarnom vremenu. Ubrzana urbanizacija, porast broja vozila i zagušenja su izazovi koje inženjeri prometa svakodnevno susreću. Kompanija SWARCO je prepoznavši te izazove u travnju 2021. godine predstavila projekt My city smart mobility management.

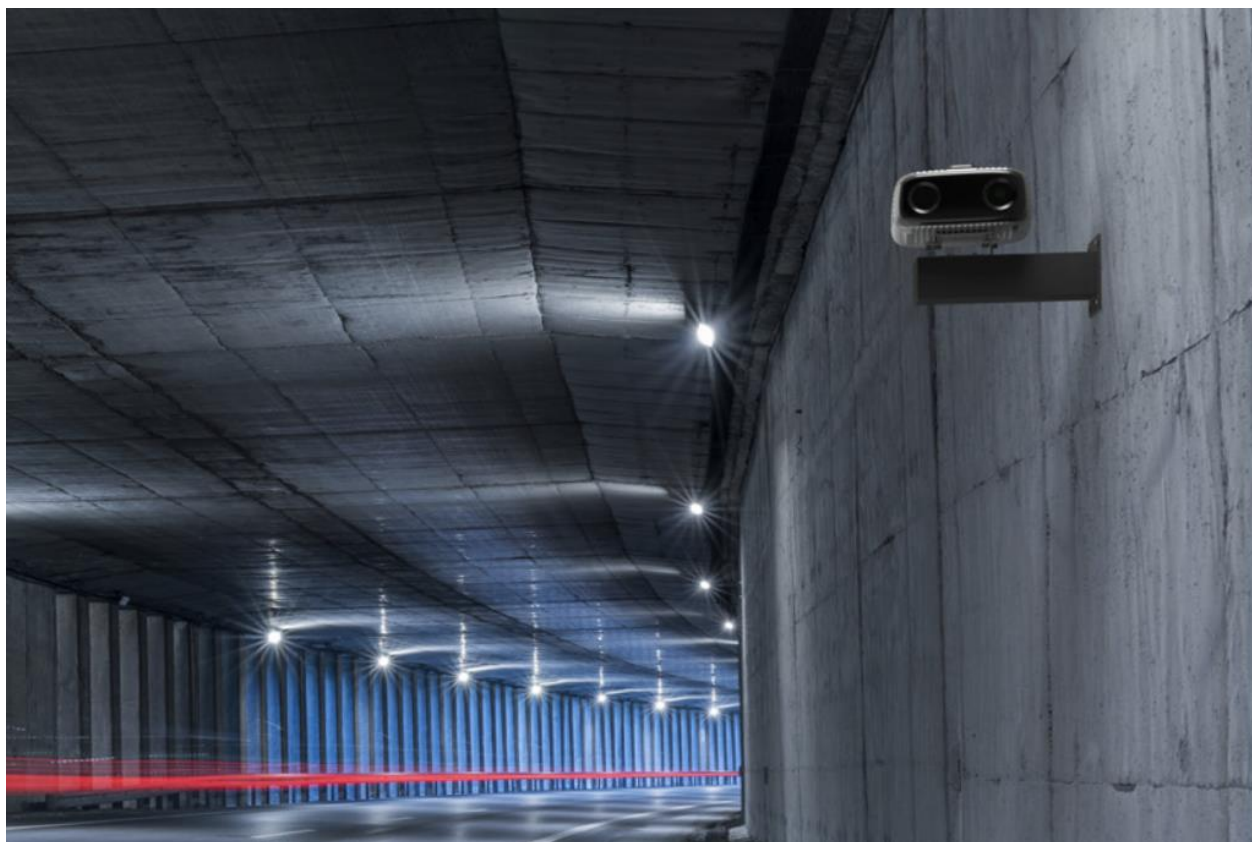
Projekt obuhvaća softver koji prikuplja podatke senzora postavljenih u gradskoj prometnoj mreži: kamera, senzora kontrole zraka, prometne signalizacije. Ti podatci se prenose velikim brzinama pomoću 5G mreže.

Podaci su na sučelju dostupni prometnom inženjeru koji ima mogućnost adaptivnog upravljanja prometnom mrežom iz svog ureda u svakom trenutku. Točni podatci o trenutnom stanju unutar gradske prometne mreže su mu također stalno dostupni. [12]

Slika 15 prikazuje sučelje koje softver My city smart mobility management stavlja ispred prometnog inženjera. Vidljivo je da inženjer ima uvid u točke na kojima su detektirane anomalije.

zagušenja, prosječno vrijeme koje vozilo provede u prometu, kršenje crvenog svjetlosnog signala, prisutnost vozila na zaustavnoj traci, detekciju pješaka na autocesti. [13]

Slika 16 prikazuje kameru Ekin X Spotter postavljenu unutar tunela.



Slika 16. Pametna kamera Ekin X Spotter

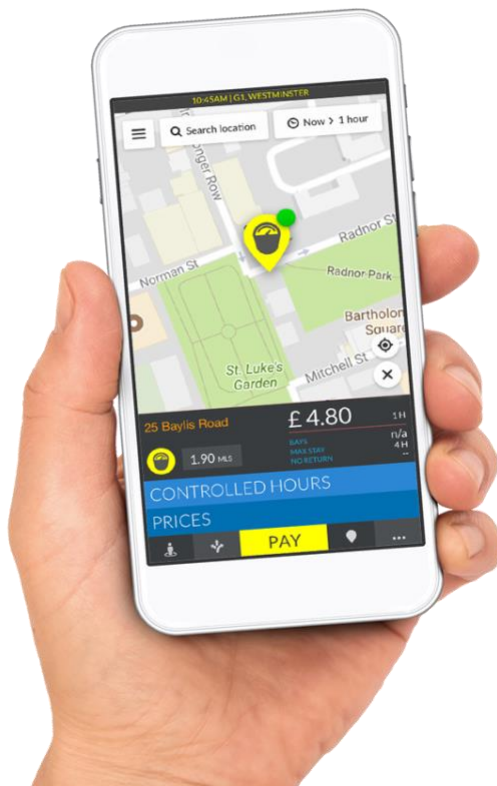
5.4. Inteligentni sustav parkinga

Elementarna zadaća prometnog sustava jest prijevoz od polazišne do odredišne točke. Međutim postavlja se pitanje kamo smjestiti vozilo nakon što je izvršilo tu zadaću?

Pitanje parkinga je svakako aktualno pitanje svakog urbanog prometnog sustava. Oko 30% vozila u središtu grada se vozi ukруг tražeći parkirno mjesto te usporedo s tim trošeći vrijeme, energiju i kapacitet prometnice. ITS pristup u koristeći 5G mrežu donosi nova rješenja.

Vodafone UK i parkirni operater ApplyWay su u gradu West Midlandsu predstavili rješenje parkinga koristeći 5G mrežnu povezanost i kamere visoke rezolucije postavljene na parkirna mjesta. Podaci o slobodnim parkirnim mjestima se pomoću 5G mreže u stvarnom vremenu ažururaju unutar aplikacije ApplyParking koja je dostupna vozačima na pametnom telefonu. Tako vozač izravno dobiva podatke o slobodnom parkirnom mjestu i smanjuje nepotrebne troškove.[14]

Slika 17 prikazuje sučelje ApplyParking aplikacije dostupne korisniku na pametnom mobilnom uređaju.



Slika 17. ApplyParking mobilna aplikacija

5.5. Primjena ITS-a i 5G mreže u vozilima

Globalni trend rasta gradova je neupitan, a pitanje je jesu li gradovi spremni prilagoditi se i odgovoriti na novonastale uvjeta. Pozitivan odgovor daje dobitnik nagrade za Najbolji pametni grad, Stockholm u Švedskoj.

Krajem 2020. godine kompanija Telenor je uspješno implementirala 5G sustav s brzinom prijenosa od 1Gbps, na frekvenciji 3.7 Ghz. Cilj je do 2023. godine omogućiti 5G signal 99% švedskog stanovništva. [15]

Rast populacije u gradu od 6% godišnje doprinosi sve većem broju korisnika javnog gradskog prijevoza.

Kompanija T-engineering je prepoznala to područje kao priliku za razvoj. U listopadu 2020. godine je lansirala projekt 5G Ride na jednom od atraktivnijih mjesta u Stockholmu, ulici Royal Djurgården. Projekt je obuhvaćao autonomni električni mini bus Kelios koji se kretao rutom od 1.6km i brzinom od 18 km/h. Projekt je uspješno testiran, a tehničku podršku za mrežnu kontrolu dala je tvrtka Ericsson. Fokus daljnjeg razvoja u 2021. godini je upravo potonje- formiranje centralnog kontrolnog tornja koji bi objedinio upravljanje javnim autonomnim električnim prijevozom. [16]

Slika 14 prikazuje vozilo Kelios sa testnog pilot projekta u Švedskoj. Pitanje je vremena kad će ovakva vozila biti uobičajena pojava za velike gradove poput New Yorka, Tokya i Shangaia.



Slika 18. Autonomni električni 5G mini bus Kelios

Još jedan uspješan primjer korištenja 5G mreže u javnom prijevozu je realiziran u ožujku 2021. godine, u engleskom gradu West Midlands. Kompanija zadužena za tramvajski prijevoz u gradu West Midlands Metro je iskoristila pokrivenost grada 5G mrežom kako bi u pogon pustila prvi 5G tramvaj u svijetu.

Kao polazišnu stavku projekta tvrtka je navela problem video nadzora u tramvajima budući da u tradicionalnim tramvajima video snimke nadzora putnika se pregledavaju tek naknadno, kad tramvaj završi s dnevnim prometom. Stoga su u 5G tramvaj implementirane CCTV kamere visoke rezolucije i mrežno povezane s centrom za upravljanje prometom. Time se omogućilo stvarnovremensko slanje video podataka i kontroliranje broja putnika uslijed COVID-19 pandemije i ograničenog kapaciteta vozila javnog prijevoza.[17]

Projekt se pokazao uspješnim ali studija kompanije West Midlands Metro navodi kako je to samo početak 5G tramvajskog prijevoza u West Midlandsu i kako je plan uvesti dodatne senzore koji bi omogućili 5G informiranje, zabavljanje putnika i pružanje informacija o točnoj trenutnoj lokaciji slijepim osobama.[18]

Slika 15 prikazuje prvi 5G tramvaj za vrijeme putovanja, istovremeno centar za upravljanje prometom dobiva video snimku iz tramvaja snimanu CCTV kamerama.



Slika 19. Prvi 5G tramvaj

Španjolska kompanija Telefonica je u svibnju testirala prvi 5G tunel u Španjolskoj-Cereixal na dionici A-6. U partnerstvu s kompanijama Nokia, Ineco, Stellantis te CTAG(engl. Automotive Technology Centre of Galicia) i Španjolskim ministarstvom napravljen je projekt 5G tunela koji aktivno komunicira s vozilima na pricipu C-V2X(engl. Cellular Vehicle-to-Everything) komunikacije i IoT(engl. Internet of Things) senzora.

Za realizaciju projekta bilo je potrebno implementirati 5G mrežu kako unutar, tako i izvan tunela na njegove rubne točke.

Instalirane su DAI kamere koje imaju mogućnost detektiranja dima, prepreka na cesti, pješaka, zaustavljenog vozila. Prometni tok u tunelu mjere dvije termalne kamere, dok kamere za registracijske oznake mjere prisutnost električnih vozila. Na izlasku iz tunela nalazi se pametna meteorološka stanica za mjerenje atmosferskih uvjeta, kao i senzori za stanje kolnika .Svi podaci se šalju centru za upravljanje prometom u realnom vremenu.

Da bi vozila mogla komunicirati s tunelom, moraju biti opremljena TCU(engl. Transmission Controle Unit) uređajem.

Povezana vozila dobivaju informacije o meteorološkim uvjetima, skliskom kolniku, vidljivosti, prometnom zagušenju ili sporim vozilima koji ih očekuju na izlaznoj strani tunela.[19]

Slika 20 prikazuje vozilo pri ulasku u 5G tunel Cerexial. Vozilo je opremljeno tabletom koji je spojen na 5G mrežu i dobiva video podatke iz tunela u realnom vremenu.



Slika 20. Ulazak vozila u 5G tunel Cerexial

6. Zaključak

Kako je prikazano kroz ovaj završni rad, 5G mreža pruža ogromne mogućnosti informatizacije i povezivanja pametnih uređaja u jedinstveni pametni grad. Temelj svakog grada, pa tako i pametnog grada, je siguran i efikasan prometni sustav. Stoga je logički slijed događaja da će 5G mreža naći višestruku primjenu u prometnom sustavu grada čineći ga povezanim, adaptivnim i funkcionalnim u realnom vremenu.

Kroz rad je kronološki prikazan napredak kako mrežnih, tako i ITS tehnologija od njihovih početaka pa sve do danas.

Zatim su prikazane arhitektura i ključne karakteristike 5G mreže u implementirane u ITS sustav pametnog grada.

Nakon analitičkog pogleda na 5G mrežu i ITS sustav, kroz rad ih se povezuje u funkcionalnu sintezu. Pruža se uvid u razvoj i unaprjeđenje 5G usluga u ITS okruženju kroz primjenu pametnih cesta, pametne navigacije i V2X komunikacije.

Na završetku rada prikazana je primjena 5G mrežne tehnologije u prometni sustav današnjice kroz slučaje primjene.

Inženjeri prometa se susreću sa sve većim zahtjevima korisnika dok prenapučeni gradovi ne dopuštaju povećanje infrastrukture. Da bi se pružio odgovor na te zahtjeve, ključan korak jest primjena suvremenih mrežnih tehnologija.

5G mreža se nameće kao obećavajući odgovor na zahtjeve pametnog prometnog sustava. Ona nije stvar prošlosti nego već danas ima sve veću primjenu. Tako se može zaključiti kako su ITS inženjeri graditelji prometnog sustava unutar pametnog grada, a 5G mreža cement u njihovim rukama.

overview of automobile navigation technologies,

POPIS LITERATURE

[1] Historical Overview Of Automobile Navigation

<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1623457> [pristup u travnju 2021.]

[2] History of intelligent transportation systems

<https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/30826> [pristup u travnju 2021]

[3] Heterogene mobilne mreže

<http://telekomsvet.blogspot.hr/2013/03/heterogene-mobilne-mreze.html> [pristup u travnju 2021]

[4] Yu Fu, Sen Wang, Cheng-Xiang Wang, Xuemin Hong, and Stephen McLaughlin

: Artificial Intelligence to Manage Network Traffic of 5G Wireless Networks

https://ncrl.seu.edu.cn/_upload/article/files/dc/fe/40f9101145f3b4b62968b289a1f7/fadbbd01-eb4a-4ddb-9c96-f6d44f5e0462.pdf [pristup u svibnju 2021.]

[5] Mumtaz, S.; Rodriguez, J.; Dai, L. *MmWave Massive MIMO: A Paradigm for 5G*; Academic Press: London, UK, 2016; p. 374.

[6] Agiwal, M.; Roy, A.; Saxena, N. Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey. *IEEE Commun. Surv. Tutor.* **2016**, *18*, 1617–1655.

[7] Oughton, E.; Frias, Z.; Russell, T.; Sicker, D.; Cleevly, D.D. Towards 5G: Scenario-based assessment of the future supply and demand for mobile telecommunications infrastructure. *Technol. Forecast. Soc. Chang.* **2018**, *133*, 141–155

[8] O. V. Erokhina and A. V. Brega, "Intelligent Transport Technologies in "Smart" Cities," 2020 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/IEEECONF48371.2020.9078566.)

[9] Iorga, M.; Feldman, L.; Barton, R.; Martin, M.J.; Goren, N.S.; Mahmoudi, C. Fog Computing Conceptual

<https://www.nist.gov/publications/fog-computing-conceptual-model> [pristup u svibnju 2021.]

[10] Tang, C.; Wei, X.; Zhu, C.; Chen, W.; Rodrigues, J.J. Towards smart parking based on fog computing. *IEEE Access* **2018**, *6*, 70172–70185.

[11]

https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/esave/esafety_measures_known_safety_effects/intelligent_speed_adaptation_isa_en [pristup u lipnju 2021.]

[12]

<https://www.traffictoday.com/news/traffic-management/swarco-launches-mycity-1-0-a-new-mobility-management-platform%E2%80%AFfor-smarter-greener-cities%E2%80%AF%E2%80%AF.html> [pristup u lipnju 2021.]

[13]

<https://www.traffictoday.com/news/enforcement/ekin-x-launches-ai-camera-for-traffic-data-management-and-enforcement.html> [pristup u lipnju 2021.]

[14] <https://newscentre.vodafone.co.uk/business/how-5g-could-help-you-find-a-parking-space/> [pristup u lipnju 2021.]

[15] Telenor launches 5G in Stockholm, targets nationwide coverage by 2023

<https://www.rcrwireless.com/20201030/5g/telenor-launches-5g-stockholm-targets-nationwide-coverage-by-2023> [pristup u svibnju 2021.]

[16] 5G Ride <https://urbanictarena.se/case/5g-ride/> [pristup u svibnju 2021.]

[17] 5G Connected Tram, <https://www.wm5g.org.uk/projects/mobility/pilot-projects/5g-connected-tram/> [pristup u svibnju 2021.]

[18] 5G Connected Tram Case Study, <https://www.wm5g.org.uk/wp-content/uploads/2020/11/5G-Connected-Tram-Case-Study.pdf> [pristup u svibnju 2021.]

[19] Telefónica promotes the smart road with the deployment of 5G coverage and sensorisation in the Cereixal tunnel to assist driving
<https://www.telefonica.com/en/web/press-office/-/telefonica-promotes-the-smart-road-with-the-deployment-of-5g-coverage-and-sensorisation-in-the-cereixal-tunnel-to-assist-driving> [pristup u svibnju 2021.]

POPIS SLIKA

Slika 1. Uređaj koji se služi 1G mrežom.....	3
Slika 2. Uređaj koji se služi 2G mrežom.....	4
Slika 3. Uređaj koji se služi 3G mrežom.....	5
Slika 4. Uređaj koji se služi 4G mrežom.....	6
Slika 5. Uređaj koji se koristi 5G mrežom	6
Slika 6. Vozilo naziva ALV kompanije DARPA.....	9
Slika 7. Skica inteligentnog transportnog sustava.....	10
Slika 8. Veličine ćelija na antenama baznih stanica.....	11
Slika 9. Detekcija situacije u prometu pomoću pametne kamere	15
Slika 10. Projekt pametne ceste tvrtke Qualcomm	16
Slika 11. Waze navigacijska mobilna aplikacija.....	17
Slika 12. Križanje s V2X komunikacijom putem 5G mreže.....	18
Slika 13. Čvorovi u oblaku unutar 5G križanja.....	19
Slika 14. ISA sustav inteligentne kontrole brzine	21
Slika 15. SWARCO My city smart mobility management sučelje	22

Slika 16. Pametna kamera Ekin X Spotter	23
Slika 17. ApplyParking mobilna aplikacija.....	24
Slika 18. Autonomni električni 5G mini bus Kelios	25
Slika 19. Prvi 5G tramvaj	26
Slika 20. Ulazak vozila u 5G tunel Cerexial	27

POPIS TABLICA

Tablica 1. Evolucija mobilnih mrežnih tehnologija7



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 Utjecaj 5G mreže na razvoj usluga
ITS sustava

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

U Zagrebu, 28.6.2021.

Student/ica:

(potpis)