

Analiza mogućnosti primjene strojnog učenja za osiguravanje kvalitete usluga u 5G mrežama

Bugarin, Ivan

Master's thesis / Diplomski 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:119:149409>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-06-30**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

Ivan Bugarin

**ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMJENE STROJNOG UČENJA
ZA OSIGURAVANJE KVALITETE USLUGA U 5G MREŽAMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2021.

Zagreb, 11. svibnja 2021.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa II**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 6156

Pristupnik: **Ivan Bugarin (0135244595)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza mogućnosti primjene strojnog učenja za osiguravanje kvalitete usluga u 5G mrežama**

Opis zadatka:

Prikazati razvoj i karakteristike pete generacije mobilnih mreža te opisati glavne značajke takve mreže. Analizirati razvijene mehanizme za osiguravanje kvalitete usluga i mogućnost njihove primjene u 5G mrežama.

Analizirati arhitekture i modele za osiguravanje kvalitete usluge koji se temelje na strojnom učenju. Analizirati mogućnosti primjene strojnog učenja za osiguravanje kvalitete usluga u 5G mrežama.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMJENE STROJNOG UČENJA
ZA OSIGURAVANJE KVALITETE USLUGA U 5G MREŽAMA**

**ANALYSIS OF MACHINE LEARNING APPLICATION FOR
QUALITY OF SERVICE ASSURANCE IN 5G NETWORKS**

Mentor: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Ivan Bugarin

JMBAG: 0135244595

Zagreb, rujan 2021

ANALIZA MOGUĆNOSTI PRIMJENE STROJNOG UČENJA ZA OSIGURAVANJE KVALITETE USLUGA U 5G MREŽAMA

SAŽETAK

Trenutno je u razvoju peta generacija mobilnih mreža te je na nekim lokacijama već puštena u rad. Nova generacija svojim razvojem donosi razne promjene i primjenu novih tehnologija. Svaka nova generacija mobilnih mreža morala je omogućiti podržavanje različitih usluga i aplikacija, stoga i 5G mreža definira nove mogućnosti koje će se pružiti korisnicima i mrežnim operatorima. U radu su opisane nove specifikacije i karakteristike koje se odnose na 5G mrežu. Također prikazani su parametri i zahtjevi za kvalitetom usluga u 5G mreži te arhitektura modela za osiguravanje kvalitete usluga baziranog na strojnom učenju. Pošto u petoj generaciji postoje razni izazovi za implementaciju ovakvog mehanizma na kraju su detaljno opisane komponente koje sudjeluju u ostvarivanju kvalitete usluga u mrežama pete generacije

KLJUČNE RIJEČI: 5G; kvaliteta usluge; QoS; strojno učenje; mrežno rezanje

SUMMARY

The fifth generation of mobile networks is currently under development and has already been launched in some locations. With its development, the new generation brings various changes and the application of new technologies. Each new generation of mobile networks had to enable the support of various services and applications, therefore the 5G network defines new possibilities that will be provided to users and network operators. This paper describes new specifications and features related to the 5G network. Parameters and requirements for quality of service in the 5G network and the architecture of the model for quality of service assurance based on machine learning will also be shown. Since there are various challenges in the implementation process of such mechanism in the fifth generation, the components that participate in achieving the quality of services in the fifth generation networks are described in detail at the end.

KEYWORDS: 5G; quality of service; QoS; machine learning; network slicing

Sadržaj:

1. Uvod.....	1
2. Razvoj i zahtjevi 5G mreža	3
2.1. Usporedba četvrte i pete generacije mobilnih mreža.....	3
2.2. Razvoj 5G mreže.....	7
2.2.1. Specifikacije 5G mreže kroz izdanja	7
2.2.2. Primjena 5G tehnologije na tržištu	8
2.3. Arhitektura 5. generacije mobilnih mreža	9
2.3.1. Karakteristike i mogućnosti mreža 5. generacije.....	10
2.3.2. Komponente 5G mreže.....	12
3. Analiza arhitekture <i>Network slicing</i> -a	15
3.1. Kategorizacija i primjena 5G usluga	15
3.1.1 Vrste usluga mobilnih mreža.....	15
3.1.2. Upotreba 5G usluga u životnom okruženju	17
3.2. Arhitektura <i>Network Slicing</i> -a	18
3.2.1. Općenito o <i>Network Slicing</i> tehnologiji.....	19
3.2.2. Komponente arhitekture <i>Network Slicing</i> -a.....	20
3.3. Usporedba <i>Network Slicing</i> tehnike s kvalitetom usluge	22
4. Pregled mehanizama za osiguravanje QoS-a.....	24
4.1. Definicija i parametri QoS-a u paketno orijentiranim mrežama.....	24
4.1.1. Gubitak paketa.....	27
4.1.2. Propusnost.....	28
4.1.3. Kašnjenje	28
4.1.4. Kolebanje kašnjenja	30
4.2. Model Integriranih usluga	30
4.2.1. Karakteristike arhitekture integriranih usluga	30

4.2.2. Komponente arhitekture integriranih usluga.....	31
4.3. Model diferenciranih usluga.....	32
4.3.1. Karakteristike arhitekture diferenciranih usluga	32
4.3.2. Klasifikacija i prilagođavanje prometa	34
5. Metode i vrste strojnog učenja	36
5.1. Definiranje strojnog učenja	36
5.2. Klasifikacija metoda strojnog učenja.....	37
5.2.1. Nadzirano strojno učenje	38
5.2.2. Nenadzirano strojno učenje	40
5.2.3. Podržano strojno učenje	41
6. Mogućnost osiguravanja QoS zahtjeva pomoću strojnog učenja	42
6.1. QoS parametri u 5G mreži.....	42
6.2. QoS zahtjevi u 5G mreži.....	44
6.3 Arhitektura modela strojnog učenja za osiguravanje usluga.....	45
6.3.1. Uloga strojnog učenja u modelu.....	46
6.3.2. Izazovi za razvoj modela baziranog na strojnom učenju	47
6.3.3. Komponente modela za osiguravanje QoS-a.....	48
7. Zaključak.....	51
LITERATURA.....	52
POPIS KRATICA.....	58
POPIS SLIKA.....	60
POPIS TABLICA	61

1. Uvod

Pojavom četvrte generacije mobilnih mreža koja je koristila potpuno rekonstruiranu mrežnu arhitekturu bilo je jasno da će korisnici imati mogućnost razmijene informacija bolju nego ikada. Uvođenjem automatizacije i autonomnih sustava u mrežu omogućila se bolja povezanost, pouzdanost, trenutačan pristup informacijama te korisnicima najvažnije, a to su velike brzine prijenosa podataka. Korisnici i operatori su dobili priliku razviti i koristiti nove usluge koje su pružile velik spektar mogućnosti. Koristeći te mogućnosti ljudima je pružena prilika za optimizaciju i automatizaciju raznih procesa u svakodnevnom okruženju te se tako kroz prošlo desetljeće značajno poboljšala kvaliteta života ljudi.

Trenutno 4G tehnologija je najzastupljenija u gradskim i prigradskim geografskim područjima te je najviše korištena od strane ljudi. Danas ta tehnologija zadovoljava potrebe većine ljudi jer su to većinom korisnici pametnih mobilnih uređaja. Takvi korisnici do nedavno su najčešće koristili usluge bazirane na *web* pretraživanju te su od mreže zahtijevali velike brzine prijenosa podataka. Pojavom izazovnih vremena u društvu korisnici su krenuli intenzivno koristiti usluge koje se odvijaju u stvarnom vremenu te zahtijevaju drugačije mrežne performanse na što je mreža bila spremna i uspjela je odgovoriti na takve zahtjeve iako se prije takve usluge nisu koristile u toj mjeri. Unatoč tome krenulo se s razvojem nove pete generacije mobilnih mreža pošto se očekuje da će u budućnosti mrežu koristiti velik broj različitih mehanizama i organizacija, a ne samo prosječni korisnici te će mreža morati podržati razne aplikacijske scenarije. Nadalje, uvidjelo se da postojeća mreža ne može odgovoriti minimalnim zahtjevima korisnika u kritičnim i hitnim situacijama gdje velik broj korisnika istovremeno zahtjeva korištenje usluga. Također zbog velikog broja različitih aplikacijskih scenarija potrebno je razviti mehanizme koji će moći osigurati različite zahtjeve za kvalitetom usluga.

U ovom radu dan je pregled najvažnijih karakteristika 5G mreže te su opisani mehanizmi strojnog učenja i mogućnost njihove primjene za osiguravanje kvalitete usluga što i je cilj ovog rada. Svrha rada je pružanje potrebnih informacija za razumijevanje važnosti uvođenja 5G tehnologija i koliko je važno automatizirati razne procese kao što je osiguravanje kvalitete usluga.

Diplomski rad se sastoji od 7 poglavlja:

1. Uvod
2. Razvoj i zahtjevi 5G mreža
3. Analiza arhitekture *network slicing*-a
4. Pregled mehanizama za osiguravanje QoS-a
5. Metode i vrste strojnog učenja
6. Mogućnosti osiguravanja QoS zahtjeva pomoću strojnog učenja
7. Zaključak.

Drugo poglavlje opisuje glavne značajke pete generacije mobilnih mreža te je prikazana usporedba između generacija mobilnih mreža. U Trećem poglavlju prikazana je kategorizacija glavnih scenarija koji će se koristiti u 5G mrežama te je opisana jedna od najvažnijih značajki 5G mreže. Zahtjevi za kvalitetom usluga i postojeći mehanizmi za osiguravanje usluga opisani su u četvrtom poglavlju. Peto poglavlje daje opis strojnog učenja te su prikazane glavne vrste takve tehnologije. U šestom poglavlju opisana je arhitektura i komponente mehanizma za osiguravanje kvalitete usluga baziranog na strojnom učenju.

2. Razvoj i zahtjevi 5G mreža

Prvi sustavi koji su omogućavali nesmetanu mobilnu komunikaciju vrlo brzo su prihvaćeni od strane društva jer su nosili velik broj prednosti te su svoju primjenu našli u različitim tehničkim područjima. Daljnjim razvojem tehnologija i prihvaćanjem raznih tehnoloških trendova, ljudima su se omogućile razne usluge koje su značajno omogućile podizanje kvalitete svakodnevnog života čovjeka. Pošto se takav oblik komunikacije koristio sve više, bilo je potrebno razviti mehanizme koji će omogućiti optimalno upravljanje sve složenijim zahtjevima koji su postavljali korisnici.

Stoga, mobilni komunikacijski sustavi razvijali su se kroz nekoliko generacija od kojih je svaka koristila različitu arhitekturu, tehnike višestrukog pristupa i različite frekvencijske pojase. Takav razvoj omogućio je bolje iskorištavanje frekvencijskog spektra, veće brzine prijenosa te osiguravanje bolje kvalitete usluga (engl. *Quality Of Service-QoS*) te se danas koristi četvrta generacija mobilnih mreža koja trenutno zadovoljava potrebe većine korisnika.

Zbog pojave novih tehnologija kao što su Internet stvari, industrija 4.0 te autonomna vozila koje će u budućnosti generirati veću količinu podataka razvija se peta generacija mobilnih mreža koja će bolje odgovoriti zahtjevima društva jer će omogućiti veće brzine, bolju pokrivenost te će imati mogućnost optimalnog iskorištavanja frekvencijskog spektra.

2.1. Usporedba četvrte i pete generacije mobilnih mreža

Četvrta generacija se razvijala s ciljem eliminiranja brojnih ograničenja i nedostataka koje je sadržavala prethodna treća generacija. Takva mreža ne bi mogla zadovoljiti sve veće potrebe korisnika te je 3GPP (engl. *Third-Generation Partnership Project*) organizacija odlučila napraviti izmjene u pristupnoj i jezgrenoj mreži na temelju čega je nastala nova mreža koja se naziva LTE (engl. *Long-Term Evolution*). Godine 2008. LTE je napredovao do prvog izdanja tehničkih specifikacija gdje je prihvaćen LTE standard kao dio izdanja 8 (engl. *Release 8*). Daljnjim razvojem ostalih izdanja predstavljene su nove značajke i poboljšanja u LTE mreži kao što su korištenje MIMO (engl. *Multiple Input Multiple Output*) sustava i poboljšane tehnike odašiljanja signala što i prikazuje tablica 1 [1].

Tablica 1. Prikaz 3GPP izdanja za LTE mrežu

Izdanje	Godina	Opis
<i>Release 8</i>	2008	predstavljanje LTE mreže
<i>Release 9</i>	2009	interoperabilnost WiMAX/LTE/UMTS mreža
<i>Release 10</i>	2011	predstavljanje mreže LTE-Advanced
<i>Release 11</i>	2012	heterogene mreže, poboljšanje IP usluga
<i>Release 12</i>	2015	korištenje malih ćelija, razvoj MIMO sustava
<i>Release 13</i>	2016	poboljšane tehnike odašiljanja signala

Izvor: [1]

LTE karakteriziraju dvije tehnologije koje omogućuju veće brzine prijenosa podataka od prethodne generacije a to su OFDM (engl. *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) i MIMO. Umjesto rasprostiranja jednog signala preko cijelog frekvencijskog područja od 5 MHz kao kod WCDMA (engl. *Wideband Code Division Multiple Access*) tehnologije koja se koristila u trećoj generaciji mobilnih mreža, OFDM koristi drugačiji mehanizam. OFDM omogućuje prijenos podataka preko više podnosioca od kojih svaki ima pojasnu širinu od 180 KHz. Da bi se povećala brzina prijenosa podataka potrebno je povećati broj podnosioca. LTE koristi nekoliko pojasnih širina od 1,25 do 20 MHz za prijenos podataka. Svi LTE uređaji moraju moći koristiti sve frekvencijske pojase. Korištenje frekvencijskih pojasa u praksi ovisi o raspoloživosti spektra nekog mrežnog operatora. Korištenjem prijenosa podataka u 20 MHz frekvencijskom području omogućuju se brzine prijenosa iznad 100 Mbit/s. S druge strane MIMO mehanizam poboljšava protok podataka i omogućuje bolju spektralnu učinkovitost korištenjem više antena na odašiljaču i prijemu. Također koristi složenu digitalnu obradu signala kako bi se omogućilo postavljanje više protočnih struktura za jedan kanal.

LTE-A (engl. *LTE Advanced*) predstavlja evoluciju originalne LTE tehnologije koja omogućava još veći kapacitet i tri puta veće brzine od osnovne LTE mreže te predstavlja poveznicu između četvrte i pete generacije mobilnih mreža [2].

Primarni cilj prethodnih generacija mobilnih mreža bio je omogućiti brze, pouzdane i sigurne usluge krajnjim korisnicima koji su većinom bili ljudi. Trenutno četvrta generacija zadovoljava sve potrebe koje su potrebne današnjim ljudima u socijalnom okruženju. Pošto se u budućnosti očekuje rast broja uređaja spojenih na internet te pojava IoT (engl. *Internet of Things*) uređaja potrebno je dizajnirati mrežu koja neće biti samo orijentirana ljudima nego će podržavati autonomnu komunikaciju i razmjenu podataka između uređaja. Peta generacija mobilnih mreža će omogućiti okruženje za takve zahtjeve te će predstavljati jednu dinamičnu, koherentnu i fleksibilnu mrežu s raznim naprednim tehnologijama koje će podržavati razne arhitekture [3].



Slika 1. Prednosti i usporedba 5G mreže u odnosu na 4G mrežu

Izvor: [4]

5G mreža pružit će između 10 do 100 puta brži prijenos podataka uz 10 puta manju latenciju u usporedbi s 4G mrežom. Ovakva poboljšanja moguća su zbog

unaprijeđene jezgrene mreže, efikasnijeg korištenja elektromagnetskog spektra zbog čega je moguće ostvariti veći kapacitet mreže te bolju pokrivenost. Također povećat će se životni vijek trajanja baterija uređaja te će se značajno smanjiti potrošnja energije. Slika 1 prikazuje prednosti i usporedbu 5G mreža u odnosu na 4G mrežu.

Iako 5G mreža pruža puno veće performanse u odnosu na 4G mrežu, tehnologije obje generacije zajedno će postojati do sredine tridesetih godina 21. stoljeća iz nekoliko razloga. Prvo, za razliku od druge i treće generacije mobilnih mreža koje su primarno koristile komutaciju kanala te su bile orijentirane na govorne usluge, 4G mreža predstavlja mrežu koja u potpunosti koristi komutaciju paketa te je optimizirana za podatkovne usluge. Stoga, 5G mreža predstavlja nadogradnju na takvu tehnologiju te može zajedno koegzistirati s LTE tehnologijom dugo vremena. Glavni razlog zašto je to moguće je zato što se ne zahtijeva promjena temeljnog načina rada mreže kao što je to bio slučaj kod prelaska mreža s komutacijom kanala na mrežu s komutacijom paketa.

Drugo, kao paralela na širokopojasnu mrežu danas se optička vlakna zajedno koriste s bakrenom paricom za prijenos podataka u širokopojasnoj mreži jer je prijelaz na potpuno korištenje optičkih vlakana dugoročan i višedesetljetni projekt. Iz istog razloga i ove dvije tehnologije će postojati zajedno jer na većini tržišta pokrivenost 5G mrežom neće biti do kraja gotova u ovom desetljeću te će se korisnici i dalje oslanjati na 4G mrežu u područjima gdje 5G mreža ne bude dostupna.

Treće, zbog promjene paradigme i načina funkcioniranja mreže prilikom uvođenja LTE tehnologije, 4G mreža se zamišljala kao futuristički i dugoročni projekt te je od tu i nastala kratica LTE. Pošto se je to prva tehnologija koja u potpunosti koristi komutaciju paketa, LTE je zapravo postavio temelje za buduće mobilne mreže koje će se bazirati na istoj tehnologiji i načinu prijenosa podataka [4].

2.2. Razvoj 5G mreže

Generirani promet korištenjem mobilnih mreža svakim danom je sve veći, jer se sve više ljudi spaja na Internet te spektar namijenjen za mobilne komunikacije postaje sve zagušeniji. Također sve je veći broj pametnih uređaja kao što su satovi, senzori i razni industrijski uređaji koji zahtijevaju pristup mobilnim mrežama. Razne industrije se oslanjaju na uređaje koji su svakodnevno spojeni na Internet te poslovne organizacije sve više nastoje nadzirati i prikupljati što više podataka kako bi mogli donositi ispravne poslovne odluke. To su najvažniji faktori zbog kojih je potrebno pripremiti telekomunikacijsku infrastrukturu za razmjenu velike količine informacija u budućnosti.

2.2.1. Specifikacije 5G mreže kroz izdanja

3GPP predstavlja organizaciju koja proizvodi izvješća i specifikacije koje definiraju tehnologije od treće generacije mobilnih mreža pa do danas. Za opisivanje tehnologija koriste se izvješća (engl. *Releases*) koja razvojnim inženjerima pružaju stabilnu platformu za implementaciju određenih mehanizama. Četvrta generacija mobilnih mreža opisana je kroz nekoliko izdanja, a u izdanju 14 su prvi put predstavljene elementi 5G mreže. Svako sljedeće izdanje donosilo je nove specifikacije vezane za 5G kao i poboljšanja za 4G mrežu što i prikazuje tablica 2.

Tablica 2. Prikaz 3GPP izdanja u kojima su predstavljene elementi 5G mreže

Izdanje	Godina	Opis
<i>Release 14</i>	2017	Prvi elementi 5G mreže
<i>Release 15</i>	2018	Prva faza 5G specifikacija
<i>Release 16</i>	2019	Druga faza 5G specifikacija
<i>Release 17</i>	2022	Skup dodatnih poboljšanja

Izvor: [5], [6]

Izdanje 15 koje je finalizirano 2018. godine je izdanje unutar kojeg je predstavljena prva verzija tehnologije novog radijskog pristupa 5G NR (engl. *5G new radio*) sa skupom dodatnih poboljšanja za LTE. 5G NR predstavlja globalni standard za jedinstveno 5G zračno sučelje koje će imati više mogućnosti. Tijekom 2020. godine dovršeno je i izdanje 16 koje se smatra kao druga faza 5G specifikacija, gdje su predstavljena dodatna unaprjeđenja vezana za radijski i jezgri dio 5G mreže. Trenutno najnovije izdanje na kojem se radi je izdanje 17, čiji završetak je planiran u lipnju 2022. godine. Izdanje 17 će se sastojati od unaprijeđenih karakteristika izdanja 16 uključujući MIMO, IAB (engl. *Integrated access and backhaul*) te proširenje upotrebljivog spektra izvan 52,6 GHz [5].

2.2.2. Primjena 5G tehnologije na tržištu

Razvojem novih funkcionalnosti, 5G mreža omogućit će sve veću pojasnu širinu, konstantnu povezanost i usluge s malim kašnjenjem koje će unaprijediti i proširiti korištenje mobilnih tehnologija za korisnike. Potrošači će moći preuzimati bilo koje multimedijske sadržaje na mobilne uređaje unutar sekunde, gledanje video zapisa bez prekidanja i moći će sudjelovati u prijenosima uživo bilo kad. Također očekuje se da će 5G tehnologije kreirati nove veće prihode tehnološkim kompanijama i telekomunikacijskim operatorima. 5G tehnologije podržavat će međusobno spojene uređaje unutar pametnih kuća, medicinskih okruženja, naprednih IoT sustava, kao što su autonomna vozila, precizni poljoprivredni sustavi, industrijski strojevi i napredna robotika. Očekuje se da će IoT tehnologije biti integrirane unutar industrijskih sustava kako bi se automatizirali procesi i optimizirala operativna učinkovitost. Također 5G mreže trebat će podržati rastuću IoT industriju omogućavajući proizvođačima razvoj i primjenu IoT uređaja i sustava kroz više industrija. Proizvođačima je potrebno omogućiti prodaju IoT proizvoda globalno što će doprinijeti značajnom ekonomskom rastu tehnoloških poduzeća kao i država gdje se ta poduzeća nalaze.

CTIA (engl. *Cellular Telecommunications and Internet Association*) predviđa da će 5G uzrokovati preko 12.3 bilijuna dolara kroz prodaju različitih usluga i proizvoda u raznim industrijama. Telekomunikacijski operatori su već počeli puštati u rad novu 5G infrastrukturu te promoviraju nove 5G mogućnosti krajnjim korisnicima što im omogućuje stjecanje udjela na domaćem tržištu i povećanje svojih prihoda [7].

2.3. Arhitektura 5. generacije mobilnih mreža

Arhitektura 5G mreže može se gledati s dva stajališta, kao samostalna (engl. *Standalone*) i kao nesamostalna (engl. *Non-Standalone*) arhitektura. Nesamostalna arhitektura se djelomično oslanja na infrastrukturu LTE tehnologije koristeći dio nove tehnologije kao što je 5G NR. Samostalnom arhitekturom se smatra arhitektura koja je neovisna o LTE tehnologiji te se sastoji od vlastite jezgrene mreže bazirane u oblaku koja je povezana s novim radijskim sučeljem [8].

Sa stajališta infrastrukture, pristupna mreža sastojat će se od već spomenutih antena s ćelijama malog područja pokrivanja koje će koristiti milimetarsko područje valnih duljina za prijenos informacija. Da bi se omogućila kontinuirana povezanost, ćelije će biti povezane zajedno u veću cjelinu koja će omogućavati veću pokrivenost. Također kao i kod LTE tehnologije koristit će se MIMO i masivni MIMO antenski sustavi koji omogućavaju istovremeno spajanje više korisnika na mrežu održavajući visoku propusnost. Kao nadogradnja na MIMO sustave 5G antenski sustavi koristit će tehnologiju antenskih nizova koja će uz pomoć konstruktivne interferencije omogućiti zračenje usmjerenog signala prema specifičnom korisniku [9].

S druge strane jezgrena mreža koristi tehnologije kao što su virtualizacija mrežnih funkcija (engl. *Network Function Virtualisation* - NFV) i softverski definirane mreže (engl. *Software Defined Networks* - SDN). Potreba za ovim tehnologijama raste zbog različitih vrsti usluga koje 5G mreža mora podržati. Mobilne mreže prethodnih generacija dizajnirane su tako da su bile orijentirane prema prosječnom korisniku pametnih terminalnih uređaja. S uvođenjem 5G tehnologije takav pristup se mijenja jer se s porastom podatkovne povezivosti pojavili različiti slučajevi korištenja koji imaju različite zahtjeve za uslugama. Stoga će mrežni operatori morati osigurati te zahtjeve za uslugom što kvalitetnije.

Također nova jezgrena mreža omogućit će veću propusnost što je zahtjev koji 5G mreža mora omogućiti. Stoga 5G jezgrena mreža koristi takozvanu SBA (engl. *Service based architecture*) arhitekturu koja je bazirana u oblaku (engl. *Cloud*) i obuhvaća sve 5G funkcionalnosti i interakcije uključujući autentikaciju, sigurnost, upravljanje sesijama i prikupljanje prometa s krajnjih uređaja [10], [11].

2.3.1. Karakteristike i mogućnosti mreža 5. generacije

Tablica 3 prikazuje ključne QoS parametre koje je propisao ITU (engl. *International Telecommunication Union*) te pripadajuće vrijednosti. ITU je propisao ciljeve za budući razvoj 5G mreže unutar IMT-2020 (engl. *International Mobile Telecommunications-2020*) standarda u kojem se nalaze preporuke za razvoj 5G mreže, uređaja i usluga. Unutar standarda prikazano je osam ključnih QoS parametara koje opisuju mogućnosti 5G mreže, a to su [12]:

1. Maksimalna brzina prijenosa podataka – maksimalna brzina prijenosa podataka u idealnim uvjetima (Gbit/s).
2. Stvarna brzina prijenosa podataka – ostvariva brzina prijenosa podataka koja je dostupna korisnicima u području pokrivanja signalom (Mbit/s ili Gbit/s).
3. Latencija – vremenski raspon od trenutka kad izvor pošalje paket do trenutka kad ga odredište primi (ms).
4. Mobilnost – maksimalna brzina kretanja pri kojoj je definirana kvaliteta usluge i kontinuirani prijenos između čvorova ostvariv (km/h).
5. Gustoća povezanosti – ukupan broj povezanih ili dostupnih uređaja na određenoj površini (uređaja/km²).
6. Energetska učinkovitost – količina poslanih i primljenih informacija od korisnika po potrošnji energije radijskog ili komunikacijskog modula (bit/Joule).
7. Spektralna učinkovitost – prosječna propusnost podataka po jedinici spektra (bit/Hz).
8. Prostorni prometni kapacitet – ukupna propusnost prometa po geografskoj jedinici (Mbit/s/m²).

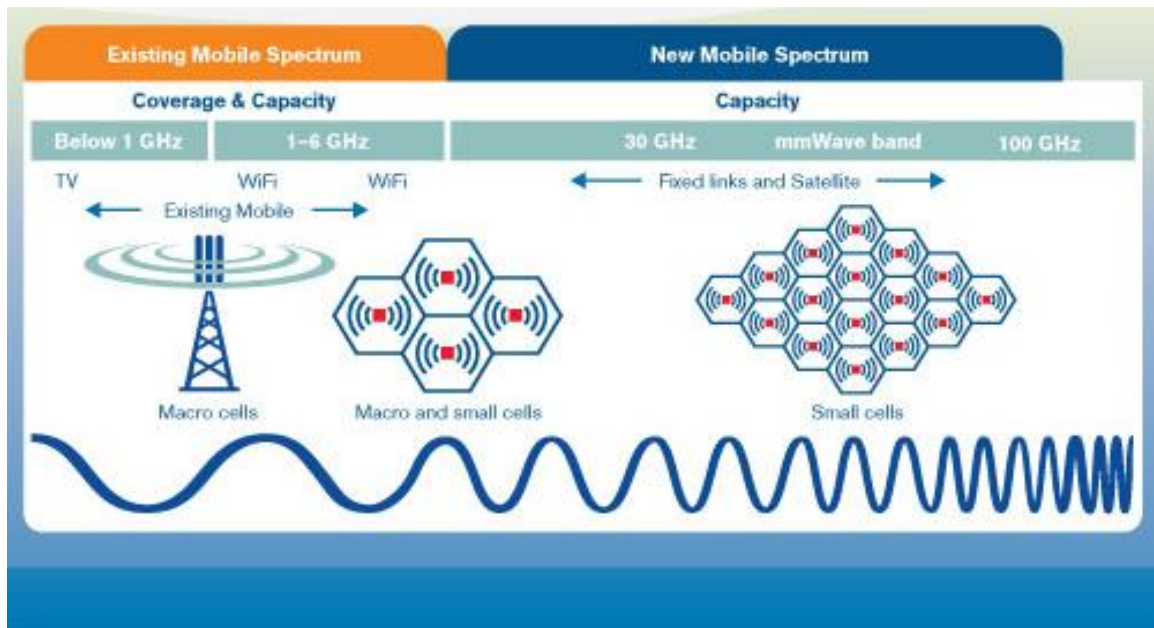
Tablica 3. Ključni QoS parametri propisani od ITU-a za mreže nove generacije

Parametar	Vrijednost
Maksimalna brzina prijenosa podataka	10 – 20 Gbit/s
Stvarna brzina prijenosa podataka	100 Mbit/s za šire područje pokrivanja i 1 Gbit/s za mala područja pokrivanja
Latencija	1 ms
Mobilnost	500 km/h
Gustoća povezanosti	10^6 uređaja/km ²
Energetska učinkovitost	100 × veća od LTE-a
Spektralna učinkovitost	3 × veća od LTE-a
Prostorni prometni kapacitet	10 Mbit/s/m ²

Izvor: [12]

Također uz ITU, 3GPP predložio je kompletan sustav specifikacija za arhitekturu 5G mreža koja je orijentirana prema podatkovnim uslugama više nego prijašnje generacije. Usluge su dostupne preko zajedničkog okvira specifičnim korisnicima koje imaju dopuštenje za njihovo korištenje. Da bi korištenje usluga bilo potpuno optimizirano prema specifičnim korisnicima arhitektura mreža pete generacije sastojat će se od novih funkcionalnosti kao što su iskorištavanje većih frekvencija elektromagnetskog spektra, mogućnost usmjerenog zračenja prema specifičnom uređaju te jedna od ključnih i najvažnijih funkcionalnosti, a to je koncept logičke podjele mreže (engl. *Network Slicing*) koji će biti objašnjen u sljedećem poglavlju.

Pošto 5G mreža donosi veće brzine prijenosa, dosadašnje frekvencije koje su korištene neće biti dovoljne za osiguravanje odgovarajuće propusnosti i pojasne širine da bi se ta brzina ostvarila. 4G mreža koristi pojasnu širinu između 5 MHz i 20 MHz po kanalu dok se za 5G mrežu taj pojas kreće od 5 MHz do 100 MHz po kanalu. Stoga su za 5G mrežu predložena nova frekvencijska područja koja se kreću od 6 GHz do 300 GHz. To područje je poznato pod nazivom milimetarski valovi pošto se valna duljina tih frekvencija kreće od 1 do 10 mm [3], [13].



Slika 2. Prikaz vrsta antena u odnosu na korištenu frekvenciju
Izvor: [9]

Za razliku od dosadašnjih mikro i makro antena koje su korištene u prethodnim generacijama, milimetarsko frekvencijsko područje koristit će se za antene malog područja pokrivanja (engl. *Small Cell Antennas*) što i prikazuje slika 2. Takve antene koristit će se najčešće u urbanim područjima gdje se očekuje velik broj uređaja na malom prostoru pošto se visokim frekvencijama može prenositi više informacija većim brzinama, ali na znatno manjim udaljenostima. Uz milimetarske valove također se koriste i frekvencijska područja iz UHF (engl. *Ultra High Frequency*) spektra od 300 MHz do 3 GHz. Trenutno u većini zemalja za 5G mrežu dodijeljene su frekvencije niže od 6 GHz što su frekvencije slične onima koje koristi bežična lokalna mreža [8], [9].

2.3.2. Komponente 5G mreže

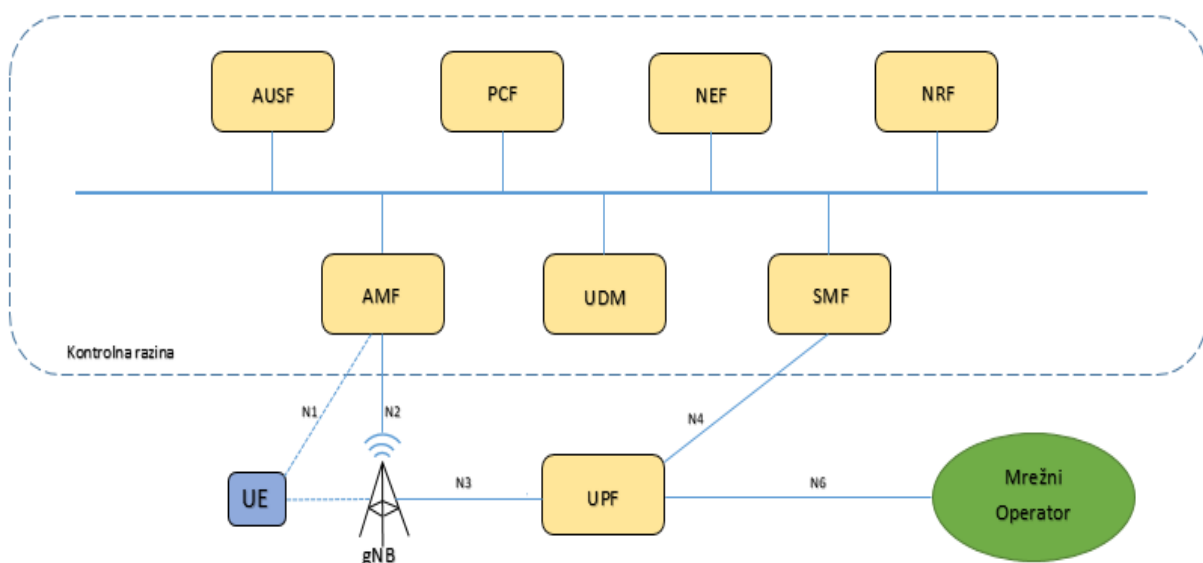
Da bi se omogućilo korištenje različitih podatkovnih usluga i zahtjeva elementi tj. komponente unutar jezgrene mreže koje se još nazivaju i mrežne funkcije (engl. *Network Function-NF*), dodatno su pojednostavljene u odnosu na 4G mrežu. Većina ih je softverski bazirana kako bi se lakše prilagodili različitim zahtjevima te da bi se omogućilo fleksibilnije i optimiziranije posluživanje korisnika unutar 5G mreže. Slika 3 prikazuje cjelokupnu arhitekturu i komponente unutar 5G mreže.

Arhitektura 5G mreže sastoji se od komponenti koje čine pristupnu mrežu, a to su:

- korisnička oprema (engl. *User Equipment- UE*)
- bazne stanice (engl. *gNodeB-gNB*) koje zapravo predstavljaju pristupnu mrežu (engl. *Radio Access Network-RAN*)
- funkcije korisničke razine (engl. *User Plane Function-UPF*).

Dok se jezgrena mreža sastoji od sljedećih komponenti koje zajedno čine kontrolnu razinu SBA [11]:

- serverska funkcija za autentikaciju (engl. *Authentication Server Function-AUSF*)
- mrežna funkcija za pristup i upravljanje mobilnošću (engl. *Core Access and Mobility Management Function-AMF*)
- funkcija za sigurno izlaganje prema mreži (engl. *Network Exposure Function-NEF*)
- funkcija mrežnog repozitorija (engl. *NF Repository Function-NRF*)
- funkcija za kontrolu procedura (engl. *Policy Control function -PCF*)
- funkcija za jedinstveno upravljanje podacima (engl. *Unified Data Management-UDM*)
- funkcija za upravljanje sesijama (engl. *Session Management Function-SMF*).



Slika 3. Prikaz arhitekture 5G mreže

Izvor: [11], [14]

Prvi element unutar kontrolne razine uslužno orijentirane arhitekture je AUSF. Njegova primarna uloga je provođenje autentikacije korisničke opreme tj. uređaja koji se pokušava spojiti na mrežu. To mogu biti pametni telefoni, senzori, serveri ili drugi uređaji koji imaju mogućnost spajanja na mobilnu mrežu. PCF predstavlja mrežnu funkciju zaslužnu za kontrolu korisničkih resursa da bi se mogla ostvariti sesija. Tako upravlja mrežom jer daje kontrolnoj razini pravila za primjenu odgovarajućih funkcija. Kako bi se to olakšalo podaci o pretplati se prikupljaju iz UDM-a. UDM služi za pohranjivanje informacija o korisničkom profilu i pretplati te generira autentikacijski vektor. Nakon toga podaci o pretplatniku prosljeđuju se SMF-u koji dodjeljuje IP (engl. *Internet Protocol*) adrese i upravlja korisničkim sesijama u mreži [15], [16].

NEF je komponenta koja omogućava sigurno, robusno i jednostavno izlaganje mrežnih usluga prema aplikacijama trećih strana preko odgovarajućeg sučelja. Autorizirani korisnici trećih strana mogu iskoristiti ovu funkcionalnost za razvoj i prilagodbu vlastitih specijalnih mrežnih usluga. Nadalje, NRF predstavlja repozitorij koji je uvijek ažuriran sa svim 5G elementima koji su dostupni u mreži specifičnog operatora i s uslugama koje pojedini element pruža. Važna komponenta unutar 5G mreže koja je zaslužna za preuzimanje poziva (engl. *Handover*) i mobilnost naziva se AMF. AMF zaprima sve informacije vezane za povezanost i sesije od korisničke opreme, ali je zadužen samo za upravljanje konekcijama s određenim baznim stanicama i upravljanje mobilnošću [17].

S druge strane kad se govori o korisničkoj razini korisnička oprema spaja se preko nove pristupne mreže na odgovarajući gNB koji je dodijeljen korisniku preko AMF-a. U ovisnosti o usluzi koju UE zahtjeva AMF odabire odgovarajući SMF koji nakon toga služi za upravljanje korisničkom sesijom. Nakon toga UPF transportira sav IP promet između korisničke opreme i neke vanjske mreže. Tijekom cijelog procesa uspostave, prijenosa prometa i raskidanja veze s vanjskom mrežom sve mrežne funkcije koje su opisane, sinkronizirano rade kako bi se ostvario transport informacija uz odgovarajuću kvalitetu usluge [14].

3. Analiza arhitekture *Network slicing*-a

Kroz prethodne generacije mobilnih mreža razvijeni i dizajnirani su sustavi koji su primarno bili namijenjeni mobilnom širokopojasnom pristupu. Standardi i tehnologije prethodnih generacija omogućavale su mobilni širokopojasni pristup prosječnom korisniku u gradskim i prigradskim područjima te nisu bile toliko orijentirane prema ruralnim regijama. Cilj 5G tehnologija nije samo omogućavanje prosječnom korisniku pametnih uređaja još brži prijenos informacija nego on seže dalje od samo omogućavanja mobilnog širokopojasnog pristupa. 5G će pružiti ključna poboljšanja i omogućit će raznim okruženjima i industrijama personalizirani skup funkcionalnosti koji specifično odgovaraju zahtjevima neke industrije ili poslovne organizacije [13].

3.1. Kategorizacija i primjena 5G usluga

Pošto se pojavom 5G mreža postavljaju novi zahtjevi to predstavlja izazov za mrežu u smislu tehnologija i poslovnih modela. Mreža nove generacije morat će moći podržati i zadovoljiti raznolike zahtjeve za uslugama koje različita okruženja i aplikacije zahtijevaju. Stoga je potrebno odrediti vrste aplikacijskih scenarija i kategorizirati ih u odnosu na mrežne zahtjeve kako bi se mogle ponuditi korisnicima ili poslovnim okruženjima.

3.1.1 Vrste usluga mobilnih mreža

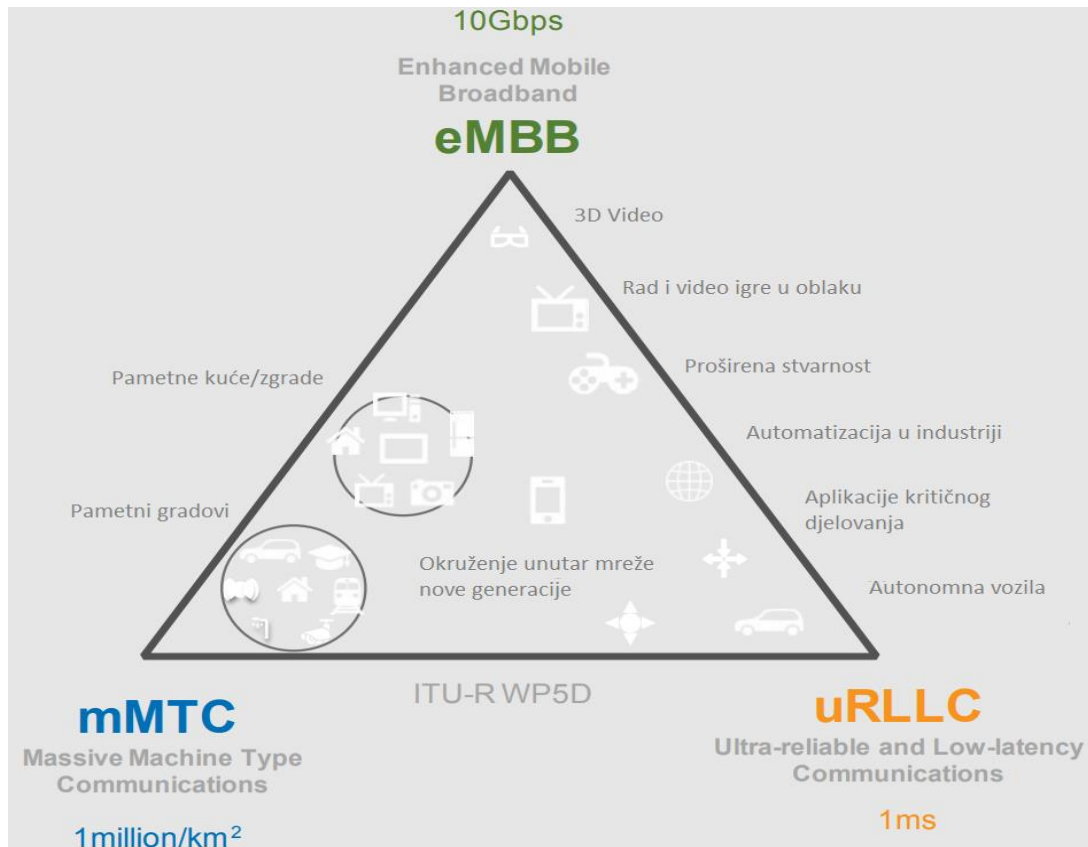
Da bi se mogli ostvariti ciljevi 5G mreže, ITU je klasificirao usluge mobilne mreže u tri kategorije. Kategorije predstavljaju zahtjeve koje aplikacije nekog korisnika ili poslovnog okruženja zahtijevaju, a to su [18]:

- poboljšana mobilna širokopojasna mreža (engl. *Enhanced Mobile Broadband-eMBB*)
- masivan broj komunikacija između uređaja (engl. *Massive Machine Type Communications-mMTC*)
- ultra pouzdana komunikacija s malim kašnjenjem (engl. *Ultra-Reliable and Low Latency Communications-uRLLC*).

eMBB se razlikuje od 4G širokopojasnog pristupa jer 5G pruža vrlo visoku brzinu prijenosa podataka i sveprisutnu pokrivenost unutar gradskih područja. Ciljevi 5G mreže s eMBB-om je omogućavanje standarda koji može postići brzine preuzimanja podataka veće od 10 Gb po sekundi te pouzdan prijenos podataka unutar gradskog okruženja s minimalno 100 Mb po sekundi i kašnjenjem manjim od 4 ms. Sadašnja širokopojasna mreža je sposobna pružiti brzine i do nekoliko stotina megabita po sekundi, ali većina korisnika unutar gradova iskusi brzine ispod 10 Mb po sekundi s mogućnošću kašnjenja nekoliko desetaka milisekundi. Uz velike brzine prijenosa podataka, 5G eMBB omogućit će korištenje usluga kao što su virtualna i proširena stvarnost u stvarnom vremenu unutar urbanog okruženja. Da bi se takve usluge mogle ostvariti potrebne su velike promjene unutar arhitekture te kako je u prethodnom poglavlju opisano, neki operatori koristit će male ćelije s malim područjem pokrivanja kako bi omogućili eMBB.

Kritične aplikacije predstavljaju sustave koji zahtijevaju visoku pouzdanost i minimalno kašnjenje da bi mogli ispunjavati svoju svrhu. Primjer takvih sustava su autonomna vozila, pružanje zdravstvene njege putem mobilne mreže, automatizacija procesa u tvornicama te sustavi za reagiranje u hitnim slučajevima. Većina sadašnjih mrežnih mehanizama nije sposobna ispuniti takve zahtjeve. Stoga 5G uRLLC će nastojati pružiti visoko pouzdanu, sigurnu komunikaciju s malim kašnjenjem ispod 1 ms. Tako niska latencija trebala bi biti dovoljna za sustave koji funkcioniraju u kritičnim situacijama [13], [18].

Većina današnjih korisnika su pojedinci koji koriste pametne mobilne uređaje, ali u budućnosti na mobilnu mrežu spajat će velik broj IoT uređaja, koji će međusobno komunicirati, izvještavati druge sustave o podacima prikupljenim sa senzora te automatizirati procese unutar gradskih područja i industrija. Većina mrežnih komunikacija u budućnosti odvijat će se između uređaja i strojeva. Takav način komunikacije predstavlja drugačije zahtjeve od današnjih prosječnih korisnika, a bit će omogućene zbog postojanja mMTC-a. Glavni kriterij ovakvih sustava podrazumijeva iznimno niske troškove sustava i nisku potrošnju energije jer u suprotnom takvi sustavi ne bi mogli biti održivi [19].

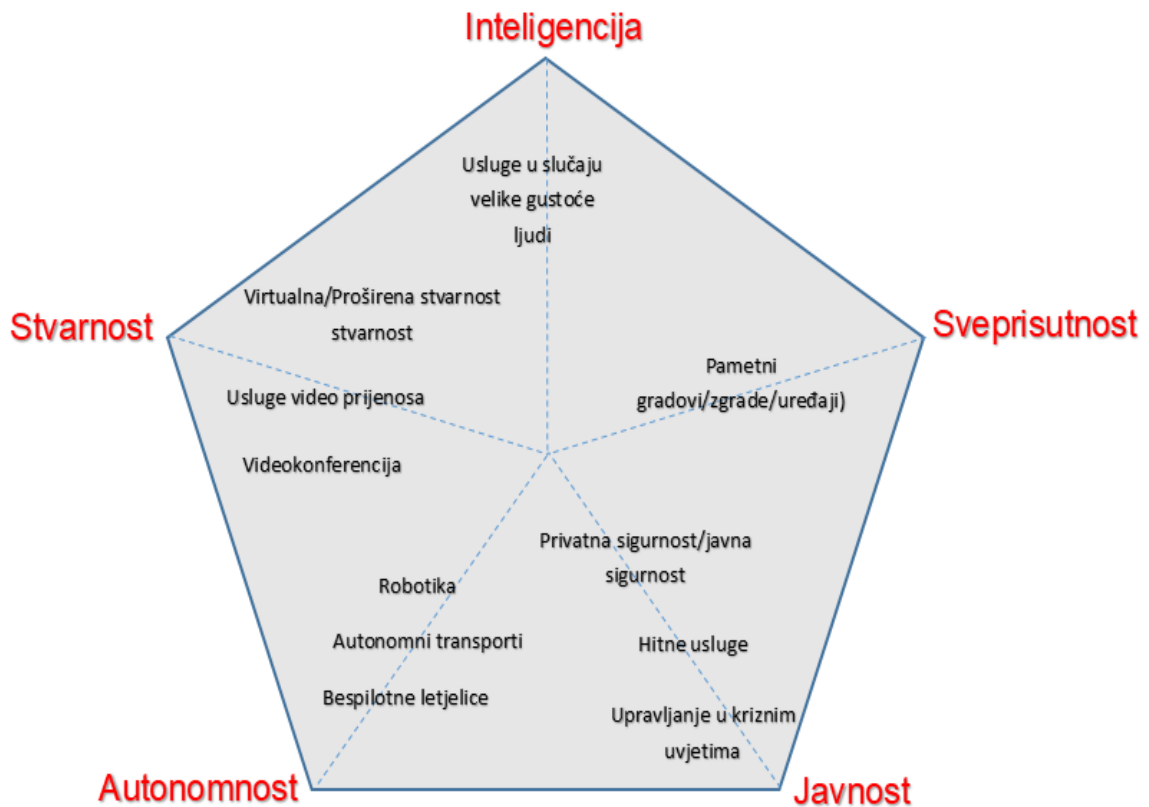


Slika 4. Prikaz aplikacijskih scenarija u odnosu na mrežne zahtjeve
Izvor: [18]

Slika 4 prikazuje razne scenarije aplikacija u odnosu na zahtjeve koje ti scenariji traže od mreže. Iz slike se može vidjeti da primjerice autonomna vozila, aplikacije kritičnog djelovanja te automatizirani procesi u industriji zahtijevaju pouzdanu mrežu s malim kašnjenjem jer je riječ o scenarijima koji moraju imati instantne informacije o svom okruženju. S druge strane 3D video, video igrice te surfanje internetom tolerira minimalno kašnjenje, ali zahtjeva veće brzine prijenosa. Također slika prikazuje da bilo koje pametno okruženje mora moći podržati komunikaciju velikog broja uređaja jer je većinom riječ o pametnim sustavima.

3.1.2. Upotreba 5G usluga u životnom okruženju

Slika 5 prikazuje kategorizaciju najvažnijih aplikacijskih scenarija koji će moći koristiti usluge 5G mreže. Scenariji su podijeljeni u kategorije u ovisnosti o svrsi koju će obavljati u specifičnom životnom okruženju.



Slika 5. Kategorizacija raznih scenarija prema 5G mobilnim uslugama
Izvor:[20]

Slika prikazuje sličnu kategorizaciju kao što je predložio i ITU. Inteligentni sustavi i aplikacije koje se odnose na virtualnu interakciju s okolinom u stvarnom vremenu koje zahtijevaju visoke brzine prijenosa mogu se smatrati kao eMBB usluge. Autonomni sustavi i javne usluge koje zahtijevaju mala kašnjenja mogu se svrstati pod uRLLC. Pod mMTC usluge prema navedenoj slici mogu se svrstati bilo koji sustavi koji se smatraju pametnim sustavom [20].

3.2. Arhitektura *Network Slicing-a*

Uz razvoj 5G mreže najčešće se spominje postojanje i primjena IoT sustava jer su to sustavi koji će biti najzastupljeniji i koji će najviše iskoristavati pogodnosti 5G mreže. Kad se govori o IoT sustavima podrazumijeva se da je to bilo koji senzor ili uređaj koji je spojen na mrežu te pruža korisne informacije, automatizira neki proces ili izvršava neku autonomnu funkcionalnost. Pošto takvi sustavi mogu naći primjenu u raznim okruženjima svako okruženje imat će specifične zahtjeve za raznim uslugama.

Zbog takvog pristupa dizajniranje mobilne mreže može postati kompleksno te na kraju neodrživo. Da bi se to izbjeglo, troškovi, iskorištavanje resursa i fleksibilnost mrežne konfiguracije moraju biti optimizirani. Jedna od ključnih tehnologija koja će to omogućiti te koja će iskoristiti potpuni potencijal 5G arhitekture je koncept logičke podjele mreže tj. mrežno rezanje (engl. *Network Slicing*).

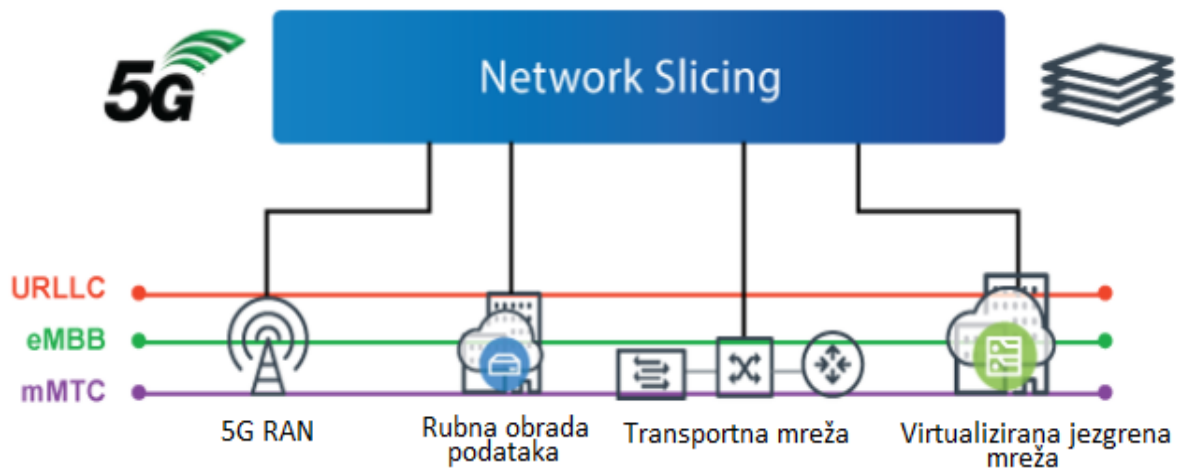
3.2.1. Općenito o *Network Slicing* tehnologiji

5G tehnologija će svoju primjenu pronaći u velikom broju industrija kao što su automobilska industrija, logistika, energetske industrije te u sektorima kao što su zdravstvo, financije i druge. Zbog različitosti, mogućnosti konflikata i specifičnih zahtjeva pojedinih industrija potrebno je optimizirati razne funkcije mreže. Na primjer, jedan poslovni korisnik može zahtijevati visoko pouzdane usluge, dok je drugom korisniku potrebna velika propusnost ili iznimno niska kašnjenja.

Za rješavanje ovog problema predloženo je korištenje skupa namjenskih mreža od kojih je svaka prilagođena za posluživanje zahtjeva jednog poslovnog korisnika. Takav pristup omogućit će kreiranje mreže koja će odgovarati specifičnim zahtjevima korisnika za razliku od prethodnih generacija mreža koje su imale jedinstven pristup prema svima. Efikasniji pristup podrazumijeva korištenje više mreža na zajedničkoj platformi što je cilj mrežnog rezanja.

Mrežno rezanje predstavlja koncept pokretanja više logičkih mreža kao virtualno neovisnih operacija, preko zajedničke fizičke infrastrukture na efikasan i ekonomski prihvatljiv način te tako ostvariti uslugu s kraja na kraj [21].

Korištenjem SDN i NFV tehnologija, automatizaciju i usklađivanje, operatori mogu brzo kreirati pojedini logički odsječak (engl. *Network Slice*) koji može podržavati specifičnu aplikaciju koja zahtjeva eMBB, mMTC ili uRLLC. Koncept mrežnog rezanja prikazan je slikom 6.



Slika 6. Prikaz koncepta Network Slicing tehnologije

Izvor: [22]

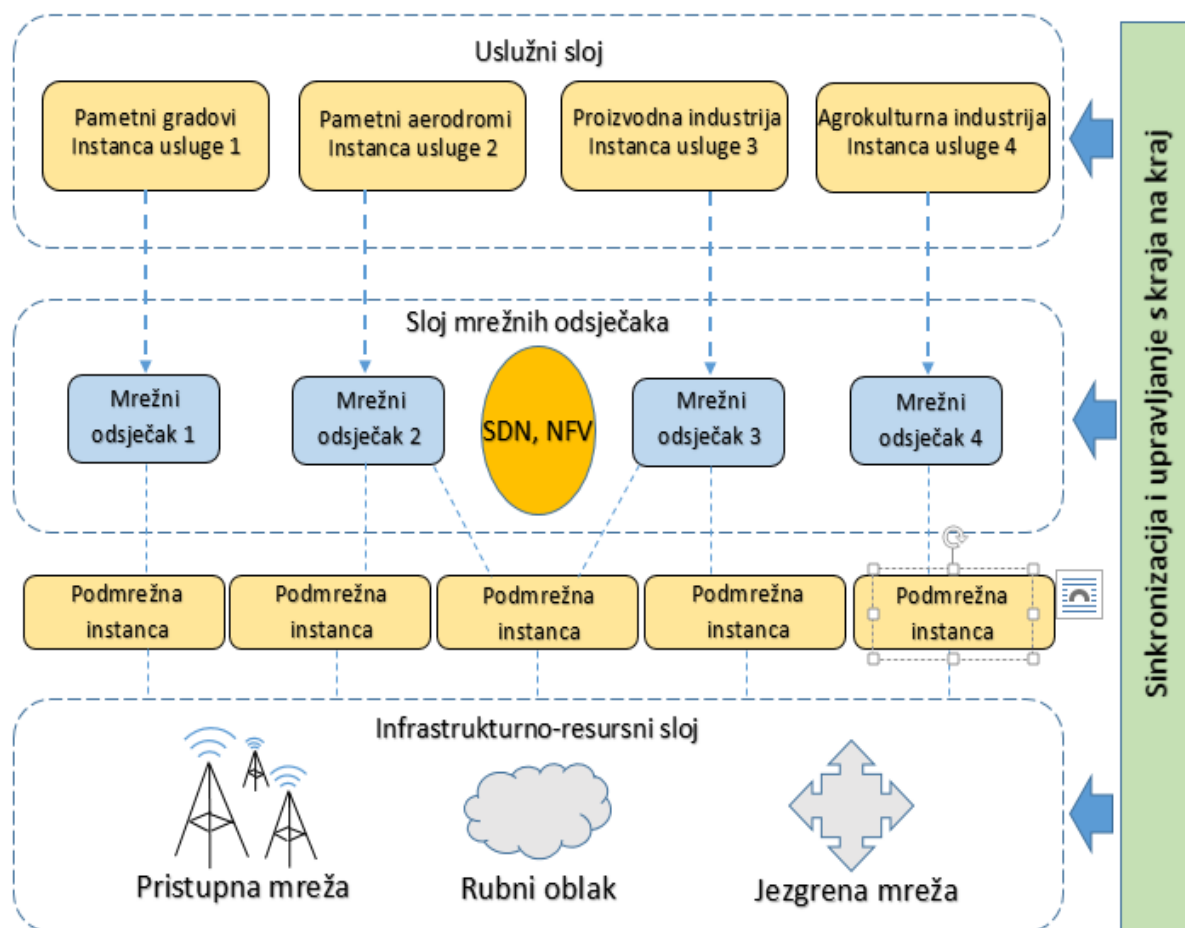
S ovakvom tehnologijom svaki logički odsječak imat će svoju arhitekturu, upravljanje i sigurnost da bi mogao podržati specifični zahtjev. Funkcionalne komponente i resursi bit će podijeljeni između pojedinih mrežnih odsječaka dok će brzina prijenosa podataka, kapacitet, povezivost, kvaliteta usluge, kašnjenje, pouzdanost i usluge biti prilagođeni unutar svakog odsječka kako bi se ispoštovao dogovoreni SLA (engl. *Service Level Agreement*).

Automatizacija mrežnog rezanja predstavlja kritičnu komponentu jer se očekuje da će operatori morati dizajnirati i održavati stotine pa i tisuće mrežnih odsječaka. Operatori tu funkcionalnost ne mogu kreirati jedinstveno već će morati kontinuirano održavati odsječke u stvarnom vremenu kako se količina prometa, zahtjevi za uslugom i mrežni resursi mijenjaju [22].

3.2.2. Komponente arhitekture Network Slicing-a

Da bi se uspjelo staviti u funkciju ovako složen mehanizam, potrebno je izraditi arhitekturu koja će se moći nositi s novim izazovima. Organizacija koja prikuplja vodeće mrežne operatore NGMN (engl. *Next Generation Mobile Networks Alliance*) definira koncept mrežnog rezanja u tri sloja, a to su [23]:

- uslužni sloj (engl. *Service Layer*)
- sloj mrežnih odsječaka (engl. *Network Slice Instance Layer*)
- infrastrukturno-resursni sloj (engl. *Resource or Infrastructure Layer*).



Slika 7. Prikaz arhitekture mrežnog rezanja u 5G mrežama

Izvor: [23]

Slika 7 prikazuje arhitekturu mrežnog rezanja kroz tri predložena sloja. Uslužni sloj sastoji se od specifičnih usluga koje su podržane od strane mrežnog operatora ili davatelja usluge trećih strana. Povezan je s mehanizmom za upravljanje i sinkronizaciju preko sučelja koji omogućava kreiranje namjenskih logičkih cjelina za specifičnu aplikaciju. Uslužni sloj prikazuje neke vrste mogućih scenarija tj. Aplikacija, a svaka se aplikacija prikazuje kao instanca usluge.

U funkcijskom sloju mreže koristi se specifičan plan (engl. *Blueprint*) za kreiranje instance mrežnog odsječka te prikazuje mrežne attribute koji su mu bitni. Također moguće je dijeljenje mrežnog odsječka na više pod-instanci te se jedna instanca mrežnog odsječka može odvojiti od ostalih instanci. Instanca podmreže sastoji se od logičkih ili fizičkih resursa i skupa mrežnih funkcija, koje su definirane planom podmreže.

Infrastrukturno-resursni sloj sastoji se od stvarnih fizičkih i virtualnih resursa radijske pristupne mreže, mrežnih čvorova, čvorova koji su bazirani u oblaku i odgovarajućih veza koji ih povezuju. Zbog korištenja virtualizacije moguće je postići fleksibilnost kod iskorištavanja mrežnih resursa, što pomaže kod kreiranja mrežnih odsječaka u jezgrenom dijelu mreže. Fleksibilno upravljanje resursima se može postići tako da se pristupna mreža podijeli u odgovarajuće odsječke. Da bi se optimiziralo dijeljenje radio resursa moguće je korištenje rezervacije resursa [23].

3.3. Usporedba *Network Slicing* tehnike s kvalitetom usluge

Kao što je opisano tehnika mrežnog rezanja je specifična vrsta virtualizacije koja omogućava da se više specifičnih logičkih mreža pokreće preko zajedničke fizičke infrastrukture. Najvažnija značajka takve tehnologije je omogućavanje usluga s kraja na kraj osiguravajući pri tom dogovorenu kvalitetu usluge s mrežnim operatorom. Također, omogućava aplikacijskim scenarijima simultano korištenje fizičke mreže neovisno o tome kakve zahtjeve za mrežnim resursima ima pojedina aplikacija.

Slično mrežnom rezanju razni mehanizmi za osiguravanje kvalitete usluga s kraja na kraj postoje i danas. Neki od mehanizama koji se koriste su arhitektura diferenciranih usluga (engl. *DiffServ*) kojoj je zadaća klasificirati i upravljati s IP prometom, Virtualna privatna mreža (engl. *Virtual Private Network-VPN*) koja razdvaja i izolira promet te ga prenosi mrežom koristeći tehniku IP tuneliranja te već spomenuti NFV pristup kojim se izoliraju pojedini dijelovi mobilne mreže. Razlozi zbog kojeg se ne koriste postojeći mehanizmi osiguravanja usluge s kraja na kraj nego se razvija tehnika mrežnog rezanja su pojava drugačijih poslovnih i tehničkih izazova i zahtjeva.

Gledajući s poslovnog aspekta, mrežno rezanje se razvija jer se predviđa da će otvoriti nove poslovne mogućnosti mobilnim operatorima i davateljima usluga. Mobilni operatori će imati najviše koristi jer će moći podijeliti svoju fizičku infrastrukturu u više logičkih odsječaka koji su posebno optimizirani prema zahtjevima klijenata te ih iznajmljivati istima. Stoga, operatori će se moći fokusirati na osnovne prednosti te tehnologije koja uključuje pružanje bolje iskustvene kvalitete što će dovesti do razvoja novih poslovnih modela na telekomunikacijskom tržištu. Takav pristup značajno je drugačiji od današnjeg jer se danas infrastruktura ne može posebno konfigurirati i optimizirati za različite virtualne operatore. Trenutno virtualni operatori koriste

kompletno infrastrukturu nekog drugog operatora, ali predstavljaju se kao drugačija robna marka [21].

S tehničkog aspekta ključna razlika je u tome što mrežno rezanje pruža cjelovitu virtualnu mrežu s kraja na kraj za specifičnog klijenta, dok današnji QoS mehanizmi ne funkcioniraju tako. Na primjer, diferencijacija usluga koje se koriste kao najrasprostranjenije rješenje za osiguravanje QoS-a može razlikovati VoIP (engl. *Voice Over IP*) promet od ostalih vrsta prometa, ali ne može razlikovati i drugačije tretirati istu vrstu prometa koja dolazi od različitih korisnika [24].

4. Pregled mehanizama za osiguravanje QoS-a

Povijesno gledajući, za prijenos glasovnog i podatkovnog prometa u telekomunikacijskim mrežama koristile su se odvojene fizičke mreže. Svaka mreža je prenosila posebnu vrstu prometa te je pružala inherentnu razinu dostupnosti i kvalitete ovisno o zahtjevima. Pošto su te mreže bile specifično dizajnirane za prijenos govornih ili podatkovnih usluga, mrežni administratori nisu morali brinuti o upravljanju takvog prometa, jer je ono već bilo inherentno ugrađeno u mreži. Danas prijenos govora i podataka odvija se unutar paketno orijentiranih mreža, gdje sav promet koristi istu infrastrukturu kao i mrežne resurse. Paketno orijentirana mreža u početku nije imala nikakve mehanizme koji bi prepoznavali o kojoj vrsti usluge je riječ te je pružala tzv. *best effort* uslugu. *Best effort* usluga odnosi se na vrstu usluge gdje mreža ne osigurava da će se podaci uspješno dostaviti do odredišta ili da će kvaliteta usluge biti zadovoljavajuća. Kod takvih mreža svi korisnici dobivaju najbolju moguću uslugu koja je u nekom trenutku ostvariva [25].

S razvojem informacijsko-komunikacijskih sustava pojavljivalo sve više različitih usluga koje su zahtijevale specifičan mrežni tretman da bi se mogle distribuirati do korisnika. Neke razvijene aplikacije osjetljive su na performanse mreže i imaju specifično definirane zahtjeve za parametrima. Stoga da bi se za specifične aplikacije mogli osigurati odgovarajući parametri razvili su se mehanizmi koji omogućavaju osiguravanje ugovorenih vrijednosti parametara kvalitete usluga. U osnovi postoje dva mehanizma tj modela, a to su [26]:

- integrirane usluge (engl. *Integrated Services-IntServ*)
- diferencirane usluge (engl. *Differentiated Services-DiffServ*).

4.1. Definicija i parametri QoS-a u paketno orijentiranim mrežama.

U telekomunikacijskim sustavima kvaliteta usluge je jedna od najvažnijih komponenti s gledišta korisnika i davatelja usluge. Svi parametri vezani za QoS nisu isti za sve aplikacije i korisnike jer svaki korisnik percipira usluge na različit način te može imati svoje zahtjeve te se tako stvara još jedan parametar koji se naziva iskustvena kvaliteta usluge (engl. *Quality Of Experience-QoE*). Da bi se postigli

odgovarajući zahtjevi za kvalitetom usluge svi parametri moraju biti usklađeni te mrežni resursi moraju biti korišteni efikasno.

Različite organizacije definirale su kvalitetu usluge na različite načine. Prema ITU preporuci ITU-T Rec. E.800. kvaliteta usluge predstavlja skup karakteristika telekomunikacijske usluge koje utječu na mogućnost izražavanja razine zadovoljstva krajnjeg korisnika zaprimljenom uslugom. Nadalje, Europski institut za telekomunikacijske standarde (engl. *European Telecommunications Standards Institute-ETSI*) definira kvalitetu usluge kao mogućnost segmentiranja tj, razlikovanja vrste prometa kako bi mreža mogla tretirati određenu vrstu prometa drugačije od druge. Dok Međunarodna organizacija za standardizaciju (engl. *International Organization for Standardization-ISO*) definira QoS kao ukupan broj karakteristika nekog entiteta koji može zadovoljiti korisnikove zahtjeve [27].



Slika 8. Prikaz aspekata koji određuju razinu zadovoljstva korisnika uslugom

Izvor: [27]

Kvaliteta usluge ovisi o raznim tehničkim i ne-tehničkim aspektima koji su omogućeni korisnicima, bili u obliku proizvoda ili neke druge usluge kao što i pokazuje

slika 8. Također kvaliteta usluge koju percipira krajnji korisnik ovisit će o drugim faktorima kao što su trendovi u društvu, promidžba, tarifiranje te cijene.

QoS omogućava razlikovanje i klasificiranje prometa na temelju različitih parametara koji su zapisani u zaglavlju paketa. Tako se promet može klasificirati na temelju vrste prometa ili na temelju izvorišne i odredišne adrese. Mrežni uređaji analiziraju parametre u zaprimljenom paketu i na temelju vrijednosti parametara, stavlja paket u različite klase usluga. Svaka klasa usluge može imati različito ponašanje na temelju čega mrežni uređaji znaju kako tretirati pojedinu vrstu prometa između izvora i odredišta. S takvim mehanizmom svaku vrstu prometa koja je dodijeljena specifičnoj klasi može se tretirati drugačije i na bilo koji način kako bi se pružila odgovarajuća kvaliteta usluge. Ovisno o QoS mogućnostima i načinu na koji je mrežni uređaj konfiguriran, takav QoS tretman mrežni uređaj pruža određenoj klasi u nekom trenutku [25], [28].

Stoga, mehanizam za kontrolu kvalitete usluga može tretirati promet na temelju raznih parametara kao što su [25]:

- davanje prioriteta jednoj klasi prometa u odnosu na drugu temeljem korištenog protokola, izvorišne i odredišne adrese ili porta
- upravljanje propusnošću koju ima odgovarajuće sučelje nekog uređaja
- čitanjem i zapisivanjem QoS zahtjeva unutar zaglavlja paketa
- kontroliranje zagušenja tako da kada uređaj generira previše prometa, prvo se omogućava promet informacijama s najvišim prioritetom
- kontroliranje gubitka paketa koristeći RED (engl. *Random Early Detection*) algoritme tako da kada uređaj ima previše paketa za slanje, zna koje pakete može odbaciti.

Kao što je opisano glavni zadatak QoS mehanizama je razmjena informacija u telekomunikacijskoj mreži uz zadovoljavajuću kvalitetu bez kašnjenja. Takav pristup je potreban pošto korisnici koriste razne usluge za koje očekuju da će se ponašati na odgovarajući način. Da bi se to omogućilo potrebno je prometu pružiti odgovarajući mrežni tretman, jer svaka aplikacija ima različite zahtjeve za mrežnim resursima. Ti zahtjevi mogu se prikazati kao QoS parametri, a osnovni parametri koji opisuju zahtjeve neke aplikacije tj. usluge su [29]:

- gubitak paketa
- propusnost
- kašnjenje
- kolebanje kašnjenja (engl. *jitter*).

4.1.1. Gubitak paketa

Telekomunikacijska mreža sastoji se od višestrukih komunikacijskih čvorova čija je zadaća prihvaćanje, obrada i prosljeđivanje paketa prema sljedećem čvoru. Ako u procesu prijenosa paketa telekomunikacijskom mrežom neki od paketa u bilo kojem trenutku ne uspije dosegnuti zadano odredište taj događaj smatra se gubitkom paketa. Iako je gubitak paketa očekivan događaj potrebno je osigurati da se paketi ne gube više od očekivane razine te postoji više razloga zbog kojih se ono može dogoditi.

Jedan od najčešćih razloga je zagušenost jer u nekim trenucima moguće je da paketi pristižu na određeni čvor većom brzinom nego što on može obraditi. U tom slučaju dolazi do popunjavanja kapaciteta međuspremnik (engl. *Buffer*) čije je uloga privremeno spremiti pakete dok čvor ne postane slobodan. Također čak i ako mreža može podržati sav dolazni promet. Operator ili davatelj usluge može konfigurirati mrežne uređaje da se može podržati određena količina prometa koja je manja od maksimalne te se u tom slučaju paketi također odbacuju. Još neki razlozi zbog kojih je moguć gubitak paketa su loše konfigurirani mrežni uređaji, hardverske i softverske greške na mrežnom uređaju, zlonamjerni napadi na mrežu poput DoS (engl. *Denial Of Service*) napada kojim se namjerno preopterećuje mreža itd [30].

Prihvatljiva razina gubitaka paketa ovisi o vrsti usluge koja se isporučuje putem telekomunikacijske mreže. Prilikom isporuke video ili audio sadržaja svaki značajan gubitak paketa može utjecati na kvalitetu usluge krajnjeg korisnika. Stoga, u slučaju isporuke govornih i video usluga prihvatljiva razina gubitka paketa kreće se između 3-5%. Dok na primjer u slučaju prezentacije korištenjem dijeljenjem ekrana tolerira se gubitak paketa između 5-8% jer je potrebno manje za prihvatljiv QoS. Formula (1) prikazuje način na koji se računa gubitak paketa u postotcima [31].

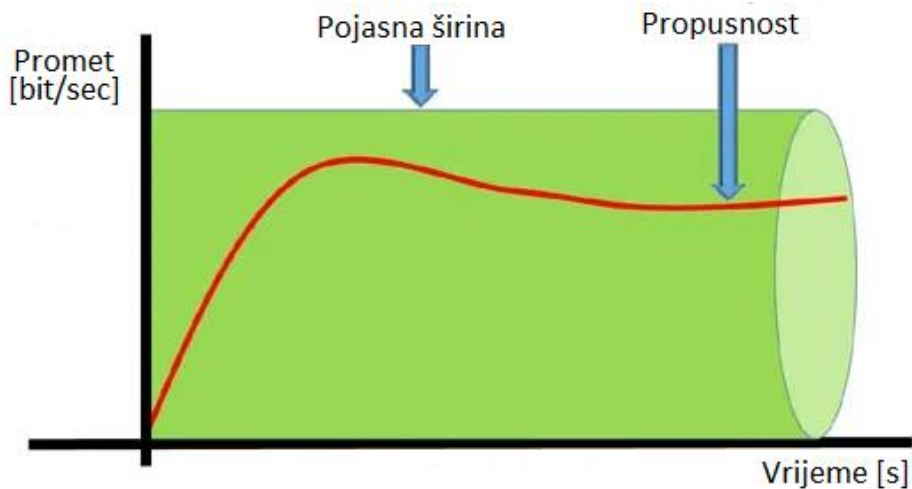
$$Gubitak\ paketa = \frac{(Broj\ poslanih\ paketa - Broj\ zaprimljenih\ paketa)}{Broj\ poslanih\ paketa} \quad (1)$$

4.1.2. Propusnost

Propusnost u telekomunikacijama predstavlja točnu količina informacija koja se prenese iz izvorišta do odredišta u odgovarajućem vremenskom intervalu tj. koliko paketa stigne do odredišta uspješno. Propusnost se mjeri u bitovima po sekundi te je uvijek manja ili jednaka kapacitetu kanala koji se još zove širina pojasa (engl. *Bandwidth*). Na propusnost mogu utjecati razni faktori kao što su:

- količina mrežnih resursa
- istovremeno pristupanje više korisnika nekom poslužitelju
- mala pojasna širina između mrežnih uređaja
- ispad fizičkog medija telekomunikacijske mreže.

Za razliku od propusnosti, pojasna širina se definira kao maksimalni broj informacija koji se može transportirati mrežom u određenom vremenskom intervalu. Slika 9 prikazuje odnos propusnosti i pojasne širine [32].



Slika 9. Usporedba propusnosti i pojasne širine

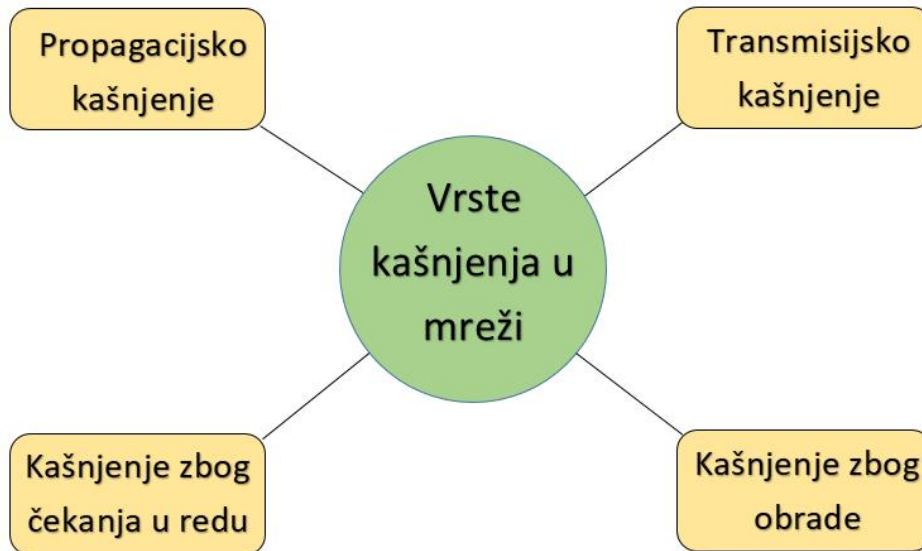
Izvor: [32]

4.1.3. Kašnjenje

Kašnjenja u mreži ili latencija definira se kao količina vremena koja je potrebna određenom podatku za dostavu do krajnjeg korisnika tj. vrijeme od trenutka zahtijeva za uslugom pa sve do trenutka kad je ta usluga dostavljena. Kada su kašnjenja u prijenosu mala riječ je o nisko-latentnim mrežama, a kada su duža govori se o visoko-latentnim mrežama koje nisu poželjne. Velika kašnjenja koja se javljaju u visoko-

latentnim mrežama mogu stvoriti uska grla u komunikaciji. U tom slučaju dolazi do smanjenja propusnosti i ograničavanja maksimalnog efektivnog kapaciteta mreže. Utjecaj kašnjenja na propusnost može biti privremena u trajanju nekoliko sekundi ili konstantna, ovisno o vrsti kašnjenja [33].

Vrste kašnjenja koja se mogu pojaviti u mreži prikazana su slikom 10 [34].



Slika 10. Prikaz vrsti kašnjenja u mreži

Izvor: [34]

Transmisijsko kašnjenje (engl. *Transmission delay*) predstavlja vrijeme koje je potrebno paketu da se prenese s mrežnog uređaja na prijenosni medij tj. na izlazni link. Ova vrsta kašnjenja je određena veličinom paketa i kapacitetom izlaznog linka te se vrijednost kašnjenja može dobiti izračunom količnika te dvije vrijednosti.

Nakon što je paket spreman za prijenos medijem prenosi se do definiranog odredišta. Stoga, vrijeme potrebno za prijenos paketa nekim prijenosnim medijem naziva se propagacijsko kašnjenje (engl. *Propagation delay*). Ova vrsta kašnjenja ovisi o udaljenosti između izvora i odredišta te o vrsti medija kojim se paketi prenose.

Kašnjenje zbog čekanja u redovima (engl. *Queueing delay*) predstavlja vrijeme koje paket provede čekajući u međuspremniku mrežnog uređaja prije nego što bude preuzet na obradu. Ova vrsta kašnjenja ovisi o brzini dolazaka paketa, kapacitetu izlaznog linka mrežnog uređaja i vrsti prometa u mreži.

Nakon što je mrežni uređaj prihvatio paket na obradu potrebno ga je dostaviti što prije na izlazni link. Prema tome, vrijeme potrebno mrežnom uređaju da provede sve procese obrade paketa te dostavi paket na izlazni link naziva se kašnjenje zbog obrade (engl. *Processing delay*) [34], [35].

4.1.4. Kolebanje kašnjenja

Tijekom prijenosa paketa telekomunikacijskom mrežom može doći do pojave kolebanja kašnjenja ili *jittera*. Sličan je pojmu varijacije kašnjenja stoga je potrebno razlikovati ta dva pojma. Kolebanje kašnjenja predstavlja razliku u kašnjenju između susjednih paketa iste sesije. Takva kašnjenja se obično događaju zbog zagušenja mreže ili u nekim slučajevima zbog promjene rute kojom paketi pristižu do odredišta. Dok varijacija kašnjenja predstavlja mjeru koja govori o tome kolika varijacija je uočena u promatranom razdoblju.

Vrijednost kolebanja kašnjenja ovisi o frekvenciji kojom se šalju paketi i odnose se isključivo na kratkoročne efekte koji se pojavljuju u mreži. S druge strane, varijacija kašnjenja se ne odnosi na frekvenciju slanja paketa već služi kao mjera za kratkoročne i dugoročne varijacije u mreži [29], [36].

4.2. Model Integriranih usluga

Integrirane usluge razvile su novu arhitekturu za raspodjelu resursa kako bi se zadovoljili zahtjevi aplikacija koje su se odvijale u stvarnom vremenu. Osnovni princip ovakve arhitekture podrazumijeva korištenje veze s kraja na kraj koja će uvijek imati raspoložive iste resurse za određenu uslugu. Iako ta tehnologija nije bila u potpunosti nova jer se koristila npr. prilikom upotrebe bankomata i dalje je predstavljala izazov za implementaciju mehanizma koji će omogućiti rezervaciju resursa u postojećoj arhitekturi [37].

4.2.1. Karakteristike arhitekture integriranih usluga

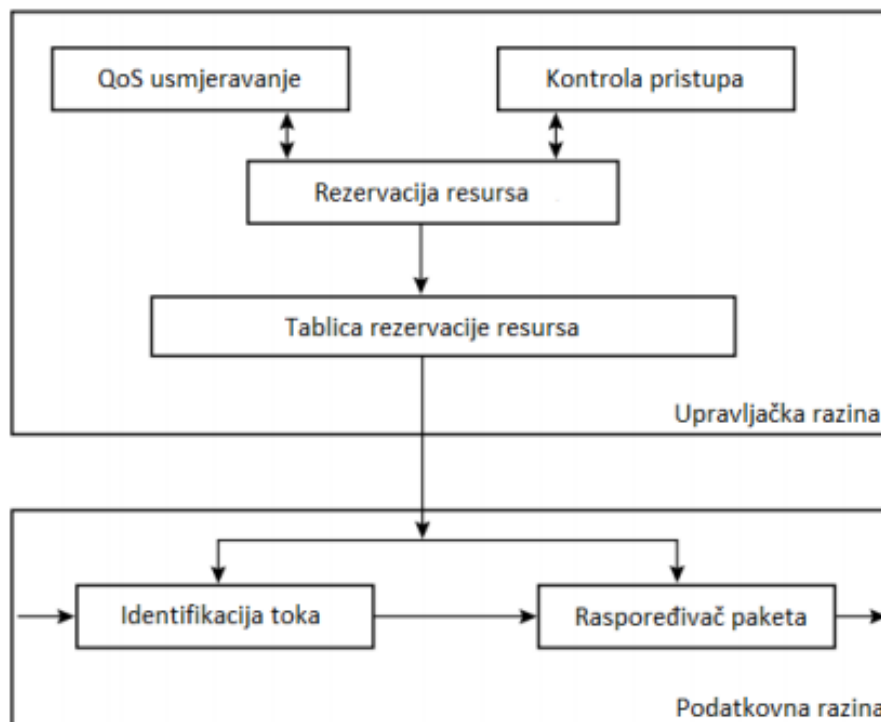
Koncept integriranih usluga razvijen je u početku 1990. godine da bi se omogućili zahtjevi usluga koje su interaktivne, odvijaju se u stvarnom vremenu i mogu tolerirati određenu količinu izgubljenih paketa, ali zahtijevaju ograničenje kašnjenja. Nadalje, svaka sesija zahtjeva osiguranu pojasnu širinu i određen put kojim će se

paketi prenositi. To se posebno odnosi na interaktivne i multimedijalne aplikacije. Pošto je *best effort* model radio na principu da dva uzastopna paketa koja pripadaju istoj sesiji budu tretirani odvojeno od strane rutera on se nije mogao koristiti za ovakve aplikacije. Stoga, integrirane usluge omogućavaju uspostavljanje sesije na duži period te je pritom potrebno uspostaviti mehanizam koji će odrediti duljinu sesije. Također potrebno je implementirati funkcionalnost koja će omogućiti mrežnim uređajima da prepoznaju rezerviranost resursa tijekom cijele sesije.

Iz tog razloga razvijen je protokol koji služi za uspostavljanje i održavanje sesija i može biti korišten od strane raznih usluga, a naziva se RSVP (engl. *ReSerVation Protocol*). Osnovna ideja ovog protokola je da jednom kad se uspostavi sesija, generiraju se RSVP poruke koje ukazuju na to da je sesija još aktivna [38].

4.2.2. Komponente arhitekture integriranih usluga

Slika 11. prikazuje ključne komponente modela integriranih usluga. Model se može podijeliti u dvije logičke cjeline, a to su kontrolna razina i podatkovna razina. Kontrola razina služi za uspostavljanje rezervacije resursa, dok podatkovna razina prosljeđuje pakete mrežom na temelju rezerviranih resursa.



Slika 11. Komponente modela integriranih usluga

Izvor: [38]

Da bi se uspostavila rezervacija resursa, aplikacija prvo specificira prometni tok i QoS zahtjeve. Nakon što ruter zaprimi zahtjev za rezervacijom resursa prvo određuje sljedeći skok prema drugom ruteru kojem treba proslijediti zahtjev za rezervacijom resursa. Drugo, ruter treba odlučiti postoje li raspoloživi resursi koji su zahtijevani od strane neke aplikacije. Kad je proces rezervacije uspješno završen informacija o rezerviranom toku se upisuje u tablicu rezerviranih resursa. Ta informacija služi za konfiguraciju modula identifikacije toka i modula za raspoređivanje paketa. Nakon što paket stigne, modul za identifikaciju toka odabire pakete koji pripadaju specifičnom rezerviranom toku i proslijedi ih u red čekanja. Dok zadaća raspoređivača paketa je da dodjeljuje resurse tokovima na temelju informacije o rezervaciji [38].

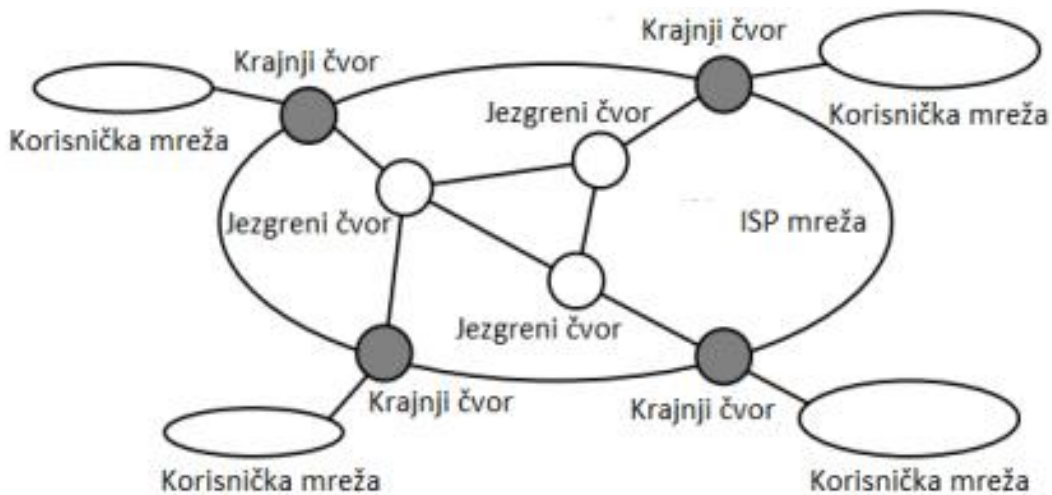
4.3. Model diferenciranih usluga

Za razliku od *IntServ* arhitekture koja osigurava kvalitetu usluge za definirani rezervirani tok. *DiffServ* model dijeli promet u manji broj klasa i dodjeljuje resurse na bazi specifične klase. *DiffServ* pruža jednostavnije rješenje s gledišta razvoja i implementacije jer jezgrena mreža razlikuje manji broj klasa koje mora proslijediti umjesto da se rezervira resurs kojim će se prenositi informacije određenog prometnog toka [39].

4.3.1. Karakteristike arhitekture diferenciranih usluga

Best effort model i koncept integriranih usluga predstavljaju dva načina pružanja kvalitete usluga u telekomunikacijskoj mreži. *Best effort* model je baziran na prijenos pojedinačnih paketa tako da on dobije najbolji mogući tretman u nekom trenutku koji mreža može pružiti. S druge strane integrirane usluge odnose se na individualni tok prometa koji se uspostavlja rezervacijom.

S diferenciranim uslugama promet se nastoji podijeliti u manje grupe tj. klase koje imaju različite karakteristike (engl. *Forwarding classes*). Klasa kojoj pripada određeni paket je zapisana u odgovarajuće polje zaglavlja paketa. Svaka klasa sadrži prethodno definiran tretman koji joj je potreban prilikom prijenosa mrežom.



Slika 12. Prikaz arhitekture modela diferenciranih usluga

Izvor: [38]

Kada se govori o mreži diferenciranih usluga ona se sastoji od raznih čvorova koji su međusobno povezani i podijeljeni u domene tj. skupine u ovisnosti koja im je zadaća. Čvorovi koji se nalaze na rubnim dijelovima mreže nazivaju se rubni ili krajnji čvorovi, a čvorovi unutar mreže se nazivaju unutrašnji ili jezgreni čvorovi što i prikazuje slika 12.

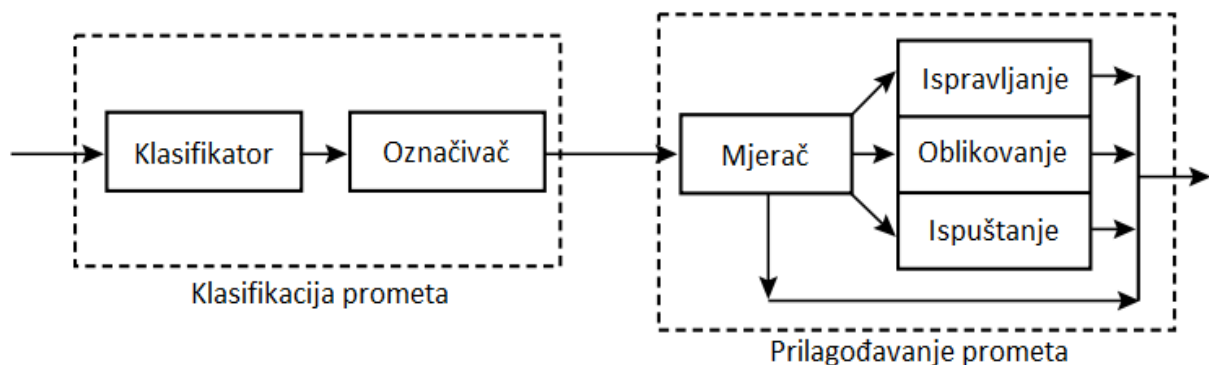
Kada paket pristigne na krajnji čvor on obavlja najvažniju funkciju u mreži, a to je klasifikacija prometa i prilagođavanje uvjetima u mreži. Krajnji čvorovi također povezuju određenu domenu s nekom drugom domenom u mreži. Jezgreni čvorovi služe za prosljeđivanje prometa prema krajnjim čvorovima uz minimalnu obradu paketa koji na njih pristignu kako bi se ubrzao proces prijenosa paketa [40].

U *DiffServ* mrežama glavni parametar koji određuje kakav tretman će pojedini paket zaprimiti naziva se PHB (engl. *Per-Hop Behavior*) vrijednost. Svaki PHB je reprezentiran sa 6 bitnom vrijednošću koja se naziva DSCP (engl. *Differentiated Services CodePoint*). Svi paketi s istom DSCP vrijednosti bit će tretirani jednako u mreži. Skup više PHB-ova čini PHB grupu koja mora biti smisleno definirana i simultano implementirana kao skupina koja dijeli zajednička ograničenja. PHB grupa može opisivati međusobnu raspodjelu resursa u smislu propusnosti ili količine gubitaka paketa [38].

4.3.2. Klasifikacija i prilagođavanje prometa

Krajnji čvorovi u mreži obavljaju jednu od najvažnijih funkcija u cijelom procesu osiguravanja kvalitete usluga u mreži s diferenciranim uslugama. Kada paket dođe na rub *DiffServ* domene zaprima ga krajnji čvor čija zadaća je mapiranje paketa na odgovarajuću klasu koja je podržana od strane mreže. Također prilikom mapiranja, moraju uzeti u obzir SLA koji se odnosi za specifičnog korisnika. SLA specificira detalje o usluzi koja mora biti isporučena korisniku. Jedan od važnijih elemenata SLA je ugovor o uvjetovanju prometa (engl. *Traffic conditioning agreement-TCA*) koji pruža detaljne informacije o parametrima za uspostavljanje prometnih profila i pravila.

Nakon što su paketi poslani prema jezgrenom čvorovima, rezervacija resursa i prosljeđivanje se odvija potpuno na temelju klasa. Funkcije koje krajnji čvorovi izvode se nazivaju klasifikacija prometa i prilagođavanje prometa trenutnim uvjetima u mreži. Kao što prikazuje slika 13. klasifikacijski modul se sastoji od klasifikatora i označivača. Klasifikator odabire pakete na temelju unaprijed definiranih pravila koja određuju koji će paket biti označen s kojim DSCP-om. Nakon toga promet se usmjerava na izlazno sučelje koje je spojeno s modulom za prilagođavanje prometa.



Slika 13. Komponente modula za klasifikaciju i prilagođavanje prometa

Izvor: [38]

Krajnji čvorovi prevode TCA u prometni profil za svakog korisnika s kojim su povezani. Prometni profil specificira trenutna svojstva prometnog toka do korisnika u smislu parametara koji su potrebni za prilagođavanje prometa uvjetima. Pruža skup pravila koji određuju pripada li specifični paket pod specificirani profil ili ne. Modul za prilagođavanje prometa mjeri prometni tok koji pristiže iz klasifikacijskog modula i uspoređuje ga s korisnikovim prometnim profilom. Nakon toga prometni profil pomaže

mjeraču da bi izmjerio promet koji dolazi od strane korisnika. U trenutku kad je prometni tok u skladu s parametrima unutar prometnog profila, paketima će se dozvoliti pristup mrežnim resursima. U slučaju da korisnik pošalje više paketa nego što je dozvoljeno, mehanizam će provesti sve mjere da bi osigurao da prometni tok bude potpuno konzistentan s prometnim profilom [38].

5. Metode i vrste strojnog učenja

Kako su se kroz povijest sve više razvijale razne aplikacije i usluge koje su optimizirale i olakšavale živote ljudi tako je rastao i broj korisnika koji ih koriste. Pošto je Internet omogućio korisnicima laganu povezanost i gotovo trenutni pristup podacima, količina generiranog prometa rasla je svakim danom. Pošto se vidjelo da će se takav trend rasta nastaviti krenulo se razvijati sustave koji bi mogli na temelju postojećih podataka učiti te na kraju automatski prepoznavati određene uzorke u velikoj količini podataka. Takav pristup je iznimno koristan jer novim i postojećim korisnicima u raznim industrijama i poslovnim okruženjima omogućava još bolju kvalitetu života. Proces koji može iz velike količine podataka, predvidjeti ponašanje novih podataka koji će biti uneseni u neki sustav ili okruženje zove se strojno učenje (engl. *Machine Learning*) te će biti opisano u ovom poglavlju.

5.1. Definiranje strojnog učenja

Cilja strojnog učenja je izrada računalnih programa koji mogu učiti iz velikog skupa podataka. Strojno učenje smatra se granom umjetne inteligencije (engl. *Artificial Intelligence*) koja se fokusira na korištenje podataka i algoritama za oponašanje načina na koji ljudi uče, postepeno povećavajući točnost naučenog. Iako se strojno učenje smatra podskupom umjetne inteligencije, koristi i druge znanstvene discipline kao što su statistika, kognitivne znanosti i teorija informacija. Područje usko vezano za strojno učenje je i rudarenje podataka (engl. *Data Mining*) koje nastoji otkriti nove i interesantne uzorke ponašanja nekog skupa podataka. Iako se strojno učenje i rudarenje podataka koriste naizmjenično, moglo bi se reći da je strojno učenje više fokusirano na adaptivno ponašanje i operativnu upotrebu, dok se rudarenje podataka usredotočuje na rukovanje velikom količinom podataka i otkrivanjem pravilnosti ili nepravilnosti u velikim skupovima podataka. Također, još jedna važna grana koja se smatra podskupom strojnog učenja naziva se duboko učenje (engl. *Deep Learning*). Duboko učenje predstavlja posebnu vrstu strojnog učenja koje koristi slojevitou strukturu algoritama i naziva se neuronska mreža. Umjetna neuronska mreža ima jedinstvena svojstva koja omogućuju modelima dubokog učenja rješavanje problema koje strojno učenje ne može riješiti. Slika 14 prikazuje odnos između umjetne inteligencije, strojnog učenja i dubokog učenja [41], [42].



Slika 14. Odnos između umjetne inteligencije, strojnog učenja i dubokog učenja
Izvor: [42]

5.2. Klasifikacija metoda strojnog učenja

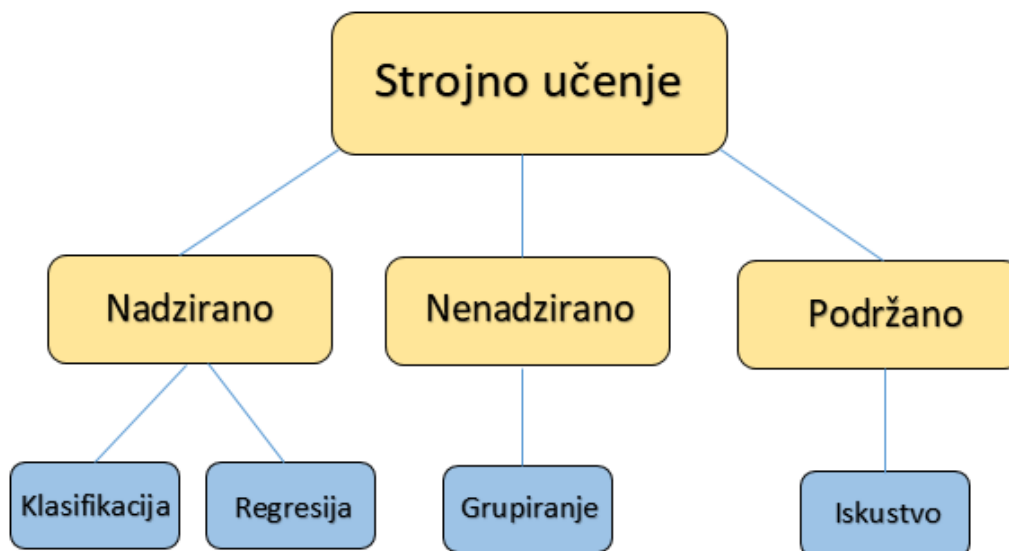
Strojno učenje nastoji omogućiti da računala odrađuju zadatke bez utjecaja čovjeka na temelju kontinuiranog učenja i povećavanja iskustva kako bi razumjela složenije probleme i omogućila prilagodljivost različitim situacijama. Svakodnevno postoji velik broj zadataka koje čovjek izvršava. Da bi ti zadaci bili uspješno provedeni potrebno ih je izvršavati prema utvrđenim pravilima koja se uče na temelju iskustva. Dok s druge strane postoje zadaci koje čovjek može izvršiti koristeći računalne programe koji analiziraju velike strukture podataka kao što je vremenska prognoza, trgovanje dionicama, ciljani marketing itd. Zbog velike količine podataka u ovim slučajevima, za čovjeka postaje gotovo nemoguće predvidjeti i izvršavati ovakve vrste zadataka.

Strojno učenje ima mogućnost inherentnog rješavanja problema podatkovnih znanosti (engl. *Data Science*). Prije procesa rješavanja problema, potrebno je određeni problem prikladno kategorizirati da bi se mogla primijeniti odgovarajuća metoda

strojnog učenja. Svaki problem u podatkovnim znanostima može se grupirati u pet skupina [43].

- klasifikacijski problem (engl. *Classification Problem*)
- problem otkrivanja anomalija (engl. *Anomaly Detection Problem*)
- regresijski problem (engl. *Regression Problem*)
- problem grupiranja (engl. *Clustering Problem*)
- problem podržanog učenja (engl. *Reinforcement Problem*).

U ovisnosti koji od navedenih problema je potrebno riješiti, moguće je koristiti određenu vrstu strojnog učenja koja sadrži odgovarajuće algoritme koji su prilagođeni za pojedine slučajeve. Klasično strojno učenje može se podijeliti u tri glavne kategorije koje određuju kako određeni algoritam tretira podatke i kako na temelju njih uči i donosi precizne odluke. Stoga, podjela strojnog učenja prikazana je slikom 15.

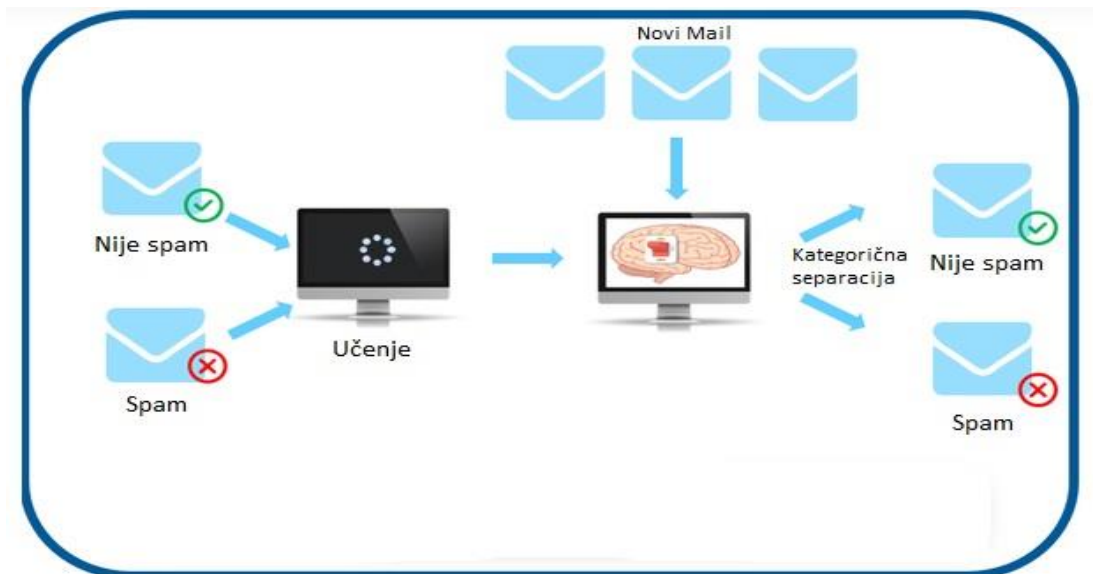


Slika 15. Osnovne vrste strojnog učenja

Izvor [44]

5.2.1. Nadzirano strojno učenje

Nadzirano učenje (engl. *Supervised Learning*) je najpoznatija vrsta strojnog učenja. Predstavlja proces učenja nad skupom podataka za učenje pri čemu su poznati izlazni podaci sustava. Produkt ovakvog procesa učenja je sustav koji generalizira odgovore na sve moguće ulazne podatke.



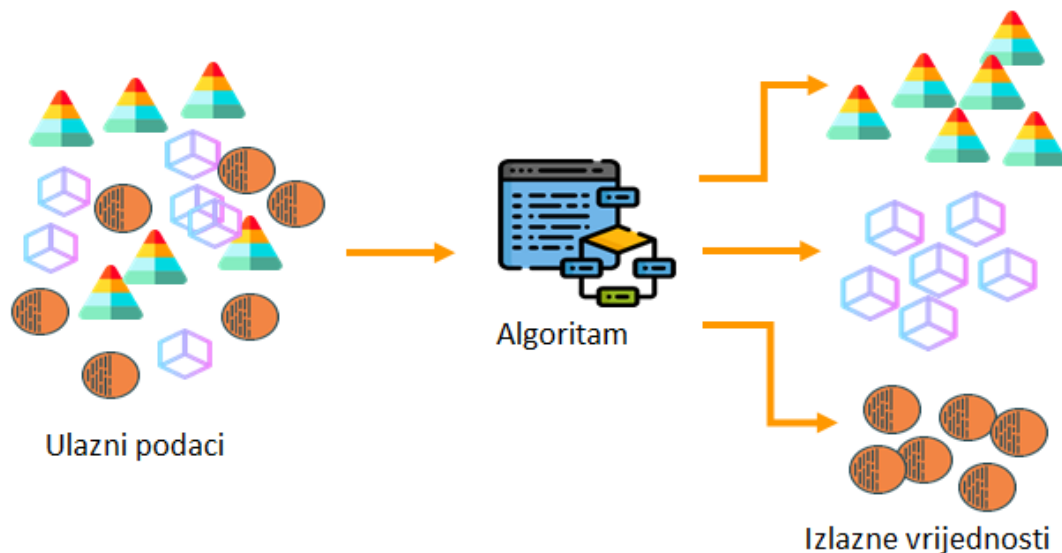
Slika 16. Pojednostavljeni prikaz nadziranog strojnog učenja
Izvor [44]

Slika 16 prikazuje pojednostavljeni prikaz nadziranog strojnog učenja koje omogućuje da računalo nauči klasificirati prikupljene informacije u određene klase. Radi tako da se određenom algoritmu daju određeni ulazni podaci koji se sastoje od podataka i oznake pojedinog podatka u obliku atributa. Algoritmu se daje da predvidi atribut za svaki podatak te mu se daje povratna izlazna informacija je li uspješno predvidio ili ne. Nakon nekog vremena algoritam će na temelju prepoznavanja uzoraka između ulaza i izlaza imati sposobnost pronalaska atributa za odgovarajući podatak.

Nadzirano strojno učenje uključuje dva procesa obrade podataka, a to su klasifikacija i regresija. Kod klasifikacije sustav odlučuje na temelju informacije koju zaprimi. U tom slučaju algoritam mora moći obraditi podatke i razvrstati ih u posebne klase ili kategorije, bazirano na nekom unaprijed definiranom kriteriju. Tijekom regresije algoritam identificira uzorke u informacijama i na temelju toga predviđa izlaze. Najpoznatiji algoritmi koji se koriste za nadzirano strojno učenje su stablo odlučivanja, linearna regresija, Bayes-ova klasifikacija te logistička regresija [45], [46].

5.2.2. Nenadzirano strojno učenje

Kod nenadziranog učenja (engl. *Unsupervised Learning*) u skupu podataka za učenje nisu poznati točni odgovori. Umjesto njih, algoritam nastoji identificirati sličnosti među ulaznim podacima tako da se ulazi koji imaju nešto zajedničko svrstaju u zajedničke kategorije.



Slika 17. Pojednostavljeni prikaz nenadziranog strojnog učenja

Izvor: [44]

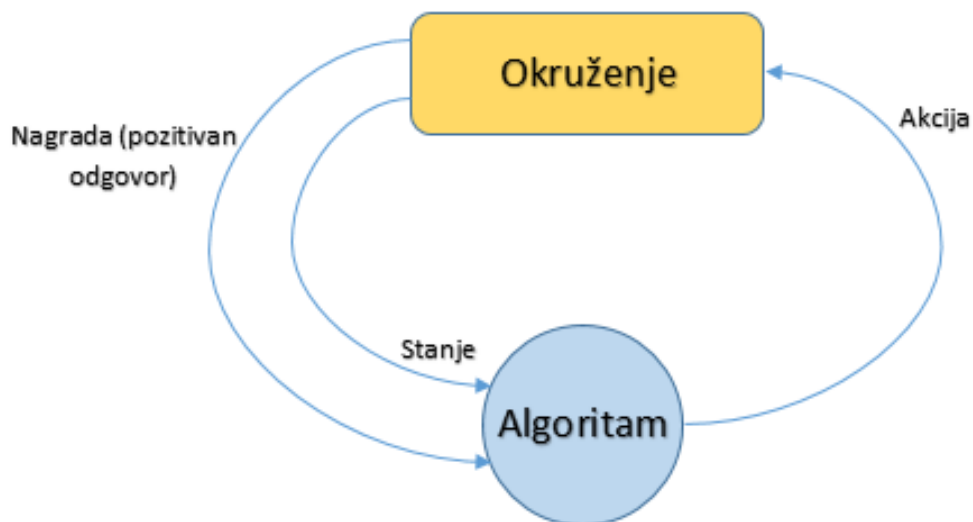
Nenadzirano strojno učenje je složenije od nadziranog te je prikazano slikom 17. koja opisuje način na koji ova vrsta strojnog učenja obrađuje podatke. U ovom slučaju algoritmu se daju razni podaci koji su bez oznaka tj. atributa i ovdje nema izlaza s kojim bi algoritam vršio usporedbu nego on sam pronalazi sličnosti između podataka te ih grupira i organizira tako da ti podaci imaju nekakav smisao [46].

Stoga, kod nenadziranog strojnog učenja rezultat sam po sebi nije definiran nego ga algoritam treba sam definirati i dostaviti. Algoritmi kod ove vrste strojnog učenja mogu identificirati strukture podataka i izvući korisne informacije te otkriti smislene uzorke unutar njih. Prvi korak kod nenadziranog učenja je grupiranje, gdje se informacije prikupljaju u različite segmente. Nakon toga algoritam nastoji izvući korisne informacije iz prilagođenih podataka [45].

5.2.3. Podržano strojno učenje

Podržano strojno učenje potpuno je drugačije od prethodnih metoda. Kod ove vrste strojnog učenja algoritmu nisu dostupni ulazno-izlazni parovi podataka već algoritam zaprima pozitivnu ili negativnu povratnu informaciju u obliku nagrade nakon svake provedene aktivnosti te ne pokušava pronaći sakrivenu strukturu podataka.

Jedan od izazova koji se javlja u podržanom učenju, a u ostalim vrstama ne, je pronalaženje kompromisa između istraživanja i eksploatacije. Da bi dobio više pozitivnih povratnih informacija, algoritam mora preferirati radnje koje je već pokušao u prošlosti jer je ustvrdio da provođenjem neke radnje dobiva više pozitivnih odgovora, ali za otkrivanje takvih radnji mora provesti neke radnje koje nije pokušao prije. Stoga, algoritam mora iskoristiti ono što već zna da bi dobio pozitivan odgovor, ali isto tako mora istražiti što više novih podataka kako bi u budućnosti bio precizniji. U ovom slučaju pojavljuje se dilema, jer je nemoguće izvršiti ili provoditi istraživanje bez pojavljivanja pogreške. Algoritam mora isprobati razne procese i postepeno favorizirati one koji se čine najboljima. Zbog toga iste aktivnosti se moraju provoditi više puta kako bi se dobila pouzdana procjena prilikom predviđanja nekog elementa na temelju podataka. Pojednostavljeni prikaz rada podržanog učenja prikazan je slikom 18 [47].



Slika 18. Prikaz procesa podržanog strojnog učenja

Izvor: [44]

6. Mogućnost osiguravanja QoS zahtjeva pomoću strojnog učenja

Tehnologije mreže pete generacije razvijat će se intenzivno tijekom ovog desetljeća, te se već krenulo s puštanjem u rad ovakve mreže na nekim područjima. Nove tehnologije i mogućnosti ovakve mreže podržat će brzi rast količine generiranog prometa u mobilnim mrežama kao i sve veći broj uređaja koji se spajaju na mrežu. Zbog takvog trenda, korisnici će očekivati bolje performanse od nove mreže te će zahtijevati značajna poboljšanja u kvaliteti usluga koje zaprimaju. Tablicom 4 prikazana su poboljšanja u vidu brzine i kašnjenja tijekom evolucije mobilnih mreža.

Tablica 4. Odnos brzine i latencije tijekom razvoja mobilnih mreža

	1G	2G	3G	4G	5G
Brzina prijenosa	2 kbit/s	384 kbit/s	56 Mbit/s	1 Gbit/s	10 Gbit/s
Kašnjenje	N/A	629 ms	212 ms	60-98 ms	< 1 ms

Izvor: [48]

Mobilni operatori su kroz prethodne generacije uvijek nastojali unaprijediti kvalitetu usluge u mreži te su razvijali mehanizme za tu svrhu. U petoj generaciji mobilnih mreža ključan zahtjev je mogućnost posluživanja različitih korisnika mobilnih mreža na fleksibilan i dinamičan način. Zbog toga koristit će se već opisana tehnologija mrežnog rezanja gdje će odgovarajući odsječci koristiti različite klase. Da bi se omogućilo osiguravanje različitih QoS zahtjeva u dinamičnom okruženju u kojem će biti sve više različitih uređaja potrebno je koristiti arhitekturu, mehanizme i tehnologije koje će moći na brzi način reagirati u takvim situacijama kao što je strojno učenje.

6.1. QoS parametri u 5G mreži

Tijekom evolucije QoS mehanizama u prethodnim generacijama mobilnih mreža došlo je do migracije s upravljanja QoS-om na razini korisničke opreme do upravljanja QoS-om na razini mreže. Ovakav pristup upravljanja kvalitetom usluga bit će nastavljen i u mrežama pete generacije [49].

Kontrola i upravljanje kvalitetom usluga u mobilnim mrežama temelje se na upotrebi ključnih QoS parametra kao što su brzina prijenosa podataka, kašnjenje i gubitak paketa.

U prošlim generacijama mobilnih mreža postojala su dva načina na koja su osiguravale određene brzine prijenosa podataka, a to su zajamčena brzina prijenosa (engl. *Guaranteed Bit Rate*-GBR) i nezajamčena brzina prijenosa podataka (engl. *Non-Guaranteed Bit Rate*-Non-GBR). GBR je korišten za stvarnovremenske usluge kao što su prijenos govora i videa. On sadrži minimalan kapacitet koji je rezerviran od strane mreže i smatra se iskorištenim resursom mreže bez obzira koristi li se ili ne. Ako je dobro implementiran, GBR ne bi trebao iskusiti gubitak paketa u pristupnoj ili IP mreži zbog zagušenja. Također GBR nosioci bit će konfigurirani s manjom tolerancijom na kašnjenja i varijacije kašnjenja jer su to zahtjevi koje tipično zahtijevaju stvarnovremenske usluge. Non-GBR s druge strane ne omogućava dodjeljivanje specifičnog kapaciteta mreže te je više namijenjen *best effort* uslugama poput preuzimanja datoteka, e-mail i pretraživanje Interneta. U ovom slučaju moguć je gubitak paketa u slučaju zagušenja mreže te maksimalna brzina prijenosa podataka nije specificirana.

Parametar koji predstavlja gornju granicu kašnjenja između korisničke opreme i jezgrenog djela mreže naziva se PDB (engl. *Packet Delay Budget*-PDB). Svrha korištenja PDB-a je podržavanje redova čekanja tijekom procesa planiranja i mrežnih funkcija na razini veze. S druge strane MDB (engl. *Maximum Delay Budget*) predstavlja maksimalno kašnjenje paketa s pouzdanošću od 98%. PDB parametar definira vremensko ograničenje za koje se paket sesije mora prenijeti s kašnjenjem koje nije veće od unaprijed određene vrijednosti PDB-a. U tom slučaju paket se ne bi trebao odbaciti.

Brzina gubitka paketa zbog grešaka (engl. *Packet Error Loss Rate*) predstavlja udio izgubljenih paketa zbog pogrešaka prilikom prijenosa paketa. Maksimalna vrijednost ovog parametra određuje najveći broj paketa koji su izgubljeni tijekom prijenosa.

Korištenjem ovih parametara formiraju se 5G QoS zahtjevi koji podržavaju tri glavna scenarija usluga u 5G mrežama [50].

6.2. QoS zahtjevi u 5G mreži

Prethodna četvrta generacija mobilnih mreža pruža fleksibilno upravljanje kvalitetom usluga bazirano na podjeli različitih prometnih karakteristika u 9 klasa. Te klase pokrivaju oba principa kvalitete usluga, a to su pružanje usluge bez osiguravanja kvalitete (Non-GBR) i s osiguravanjem odgovarajuće kvalitete usluga (GBR). Upravljanje kvalitetom usluga LTE mreže ne proteže se na dio između 5G pretplatnika i pretplatnika drugih generacija mobilnih i fiksnih mreža. Nemogućnost koordiniranog i fleksibilnog upravljanja kvalitetom usluga u fiksnim IP i mobilnim mrežama prethodnih generacija još dugo će biti kočnica do ostvarivanja nove razine kvalitete usluga pretplatnicima u 5G mreži.

Za razliku od LTE mreža, METIS (engl. *Mobile and wireless communications enablers for the Twenty-twenty Information Society*) organizacija čija je zadaća postavljanje temelja 5G mreže, definirala je 12 slučajeva uporabe gdje će se najčešće koristiti 5G usluge, a to su: virtualna stvarnost, trgovački centri, stadioni, telekomunikacijska zaštita pametnih sustava, prometne gužve, urbane sredine s velikim brojem uređaja, slijepe točke, stvarnovremenska komunikacija između udaljenih uređaja, društveni skupovi na otvorenom, komunikacije u hitnim slučajevima, masivna primjena senzora, sigurnost u prometu. Ovi slučajevi predstavljaju različite lokacije i usluge koje će korisnici najčešće koristiti u budućnosti te mogu služiti za klasifikaciju prilikom određivanja parametara za osiguravanje kvalitete usluga u mreži.

Mehanizmi za upravljanje kvalitetom usluga u 5G mrežama trebali bi osigurati prioritet video i VoIP vrsti prometa u odnosu na web pretraživanje i na druge aplikacije koje mogu tolerirati nepravilnosti u mreži. Pružanje usluge videa strujanjem je jedna od najosjetljivijih usluga na kašnjenje te zbog toga najvažniji QoS parametar je PDB. Za takve aplikacije PDB se određuje na RAN zračnom sučelju i predstavlja maksimalnu količinu kašnjenja paketa s pouzdanošću od minimalno 98%. Tablica 5 prikazuje kako su se kroz prethodne tri generacije mijenjali zahtjevi za ukupnim kašnjenjem paketa u mreži [50], [51].

Tablica 5. Prikaz zahtjeva PDB-a kroz generacije mobilnih mreža

QoS uvjeti	Kašnjenje paketa u mreži-PDB, [ms]		
	3G	4G	5G
S osiguravanjem QoS-a	Neodređeno	100 – 300	Neodređeno
Bez osiguravanja QoS-a	100 – 280	50 - 300	< 1

Izvor: [50]

Još jedan važan parametar koji će određivati kvalitetu usluge je odnos izgubljenih paketa koji su poslani kroz mrežu. Tablica 6 prikazuje količinu gubitaka paketa kroz prethodne tri generacije mreža ovisno radi li se o uslugama s garantiranom kvalitetom usluga ili ne.

Tablica 6. Prikaz količine gubitaka paketa kroz tri generacije mobilnih mreža

QoS uvjeti	Količina gubitaka paketa u mreži		
	3G	4G	5G
S osiguravanjem QoS-a	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
Bez osiguravanja QoS-a	10^{-2}	10^{-6}	10^{-7}

Izvor: [50]

6.3 Arhitektura modela strojnog učenja za osiguravanje usluga

Jedan od najvećih izazova 5G mreža bit će osiguravanje mrežnih performansi i različitih zahtjeva za kvalitetom usluga za različite scenarije kao što su mMTC, eMBB i URLLC. Zbog velike količine raznih zahtjeva moguće je koristiti mehanizme strojnog učenja da bi se optimizirali procesi u tako dinamičkom okruženju. U nastavku poglavlja opisan je model za osiguravanje kvalitete koji je baziran na strojnom učenju te se može primijeniti za predviđanje i detekciju QoS anomalija u mreži kao i predviđanje potrebnih QoS parametara za različite aplikacijske scenarije u 5G mrežama. U ovom slučaju, anomalija predstavlja nepravilan uzorak ponašanja u skupu podataka koji nije u skladu s očekivanim ponašanjem nekog sustava.

6.3.1. Uloga strojnog učenja u modelu

Od 5G mreže se očekuje da će moći pružiti optimiziranu potporu različitim aplikacijskim scenarijima, prilikom opterećenja prometa, krajnjim korisnicima i zajednicama. Da bi se to omogućilo, prilikom planiranja mreže potrebno je uzet u obzir ključne parametre (engl. *Key Performance Indicators-KPI*) kao što su velike brzine prijenosa, velika gustoća korisnika te učestala mobilnost korisnika i varijabilne brzine prijenosa podataka.

Tipične aplikacije koje se mogu svrstati pod aplikacijske scenarije su: virtualna stvarnost, pružanje videa strujanjem u 4K rezoluciji i 3D okruženju, V2X (engl. *Vehicle to Everything*) i komunikacija između strojeva u 5G mrežama. Stoga 5G mreža mora podržati odgovarajuće QoS mogućnosti kao što su:

- precizna i automatska rekonstrukcija događaja koji su se dogodili u prošlosti, a vezana su za QoS
- ptkrivanje događaja vezanih za QoS u stvarnom vremenu te automatsko provođenje odgovarajućih aktivnosti
- predviđanje budućih događaja vezanih za QoS s velikom pouzdanošću.

Za razliku od prethodnih sustava koji su koristili iste mehanizme za sve vrste usluga, virtualizacija, mrežno rezanje i razne mrežne mogućnosti 5G mreže, pružaju mogućnost dinamičkog programiranja određenih procesa u 5G okruženju. Zbog sve veće složenosti i dinamičnosti ponašanja mobilnih mreža, stručnjacima postaje vrlo teško razviti algoritme koji će moći pripremiti odgovarajuće mrežne resurse na temelju znanja koje posjeduju, pogotovo ako ne postoji logična veza između mrežnih događaja i pojave QoS anomalija.

Stoga, primjenom mehanizama strojnog učenja pružaju se mogućnosti učenja računalnih sustava koji će u tom slučaju znati obraditi podatke bez da budu eksplicitno programirani. Takvi mehanizmi pokazali su sposobnost rješavanja složenih zadataka kao što su prepoznavanje objekata na slikama te prepoznavanje govora.

Mehanizmi strojnog učenja koji mogu brzo naučiti ponašanje mreže u nekom okruženju i brzo reagirati u dinamičkim situacijama, mogu također biti primijenjeni i u telekomunikacijskom području. Takvi mehanizmi mogu učiti iz pohranjenih QoS

podataka u odnosu na KPI parametre koji se zahtijevaju i tako automatski i precizno rekonstruirati odnose između pohranjenih QoS podataka i QoS anomalija. Koristeći naučene odnose između podataka, takvi mehanizmi mogu otkriti trenutne QoS anomalije i automatski pokrenuti proces prilagođavanja mreže kako bi se anomalije ispravile. Također mehanizmi strojnog učenja mogu predvidjeti buduće QoS anomalije s velikom pouzdanošću na temelju pohranjenih podataka iz kojih model nauči karakteristično ponašanje mreže [52].

6.3.2. Izazovi za razvoj modela baziranog na strojnom učenju

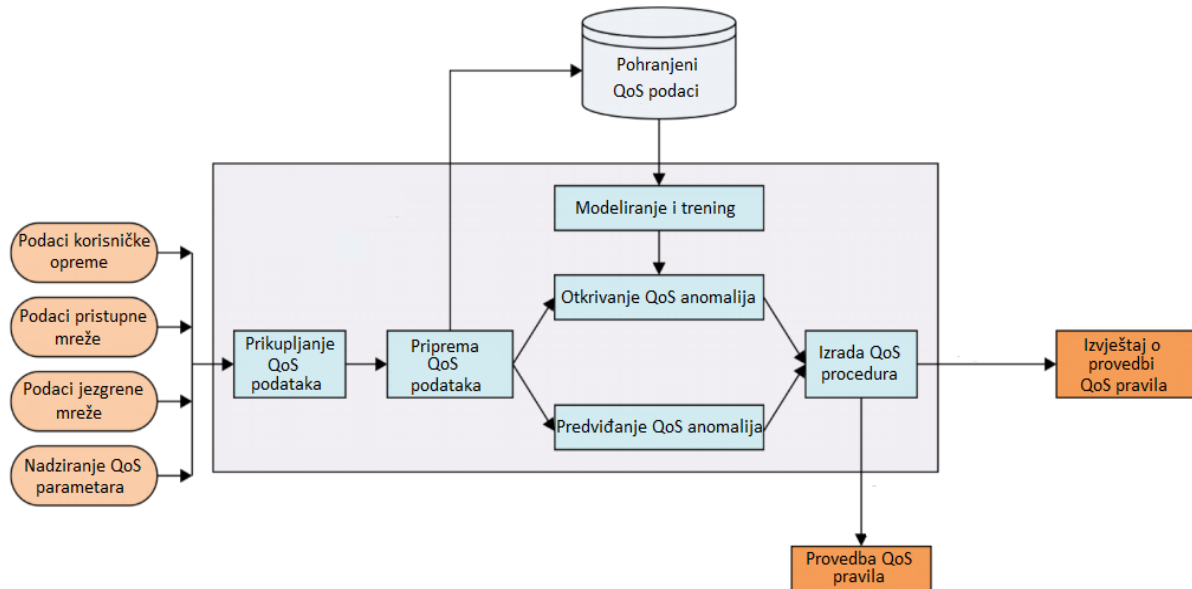
Prvi tip izazova koji modeli za osiguravanje kvalitete usluga baziranog na strojnom učenju moraju zadovoljiti odnose se na 5G korisnika. Konzistentno korisničko iskustvo bitno je u svim aplikacijskim slučajevima koji se predviđaju u novoj mreži. Svi scenarij koje karakterizira visoka gustoća prometa, velik broj povezanih uređaja te velika količina mobilnosti predstavljaju izazov za upravljanje QoS-om u 5G mrežama. Na primjer, u slučaju scenarija koji zahtjeva velike brzine prijenosa, bitno je kontinuirano održavanje zadovoljavajuće kvalitete usluga. Također u područjima gdje su usluge omogućene korištenjem velikog broja ćelija s malim područjem pokrivanja potrebno je dizajnirati odgovarajuće upravljanje mobilnošću kako bi se smanjio broj *handover* procedura i unaprijedio QoS.

S druge strane aplikacije koje će koristiti 5G mrežu bit će kompleksnije od onih koje su se koristile u prethodnim generacijama mobilnih mreža. S razvojem 5G mreže, mogu se pojaviti aplikacije bazirane na virtualnoj stvarnosti, 3D videu i interaktivnim video igrama. Takve aplikacije donose nove izazove za QoS. Pošto se većina postojećih modela fokusira na VoIP, video i usluge pretraživanja Interneta, potrebno je proučiti nove karakteristike usluga i zahtjeva korisnika, kako bi se mogao uspostaviti odgovarajući model.

Nadalje, u 5G eri s eksponencijalnim rastom mrežnog prometa i kompleksnosti aplikacija, lako se može predvidjeti da će se nastaviti generirati velika količina podataka u mobilnim komunikacijskim sustavima. Stoga, uz kompleksnost mreže, upravljanje sa sigurnošću i privatnošću u mrežama s velikim količinama podataka od kojih je većina sigurnosno osjetljiva također predstavlja izazov [53], [54].

6.3.3. Komponente modela za osiguravanje QoS-a

Kao što je dosad opisano model za osiguravanje kvalitete usluga u 5G mrežama predstavlja kompleksan mehanizam, pošto se moraju zadovoljiti specifični zahtjevi velikog broja korisnika. Takav model s ključnim komponentama prikazan je slikom 19.



Slika 19. Model za osiguravanje kvalitete usluga baziran na strojnom učenju

Izvor: [54]

Model prikazan slikom 19. zapravo predstavlja arhitekturu mehanizma strojnog učenja koji se sastoji od komponenti za prikupljanje podataka, pripremu podataka, modeliranje, trening, mehanizma za otkrivanje i predviđanje QoS anomalija te procedura za provedbu i kontrolu QoS pravila. Podaci se prikupljaju s korisničke opreme, pristupne i jezgrene mreže pomoću mehanizma za prikupljanje QoS podataka. Nakon što se prikupljeni podaci klasificiraju i obrade, takvi podaci se filtriraju i transformiraju u jedinstven format kojeg će model razumjeti. Da bi se QoS anomalije mogle otkriti i predvidjeti, potrebno je pohranjene QoS podatke označiti odgovarajućom oznakom koja predstavlja karakteristiku svakog QoS parametra te je također potreban algoritam koji će na temelju tih podataka moći odraditi modeliranje i trening. Nakon što su pohranjeni podaci obrađeni kroz model treniranja, rezultati modela se prosljeđuju mehanizmu za otkrivanje i predviđanje QoS anomalija. Dok s druge strane trenutno generirani QoS podaci predstavljaju ulazne podatke za mehanizam. Nakon što mehanizam zaprimi ulazne podatke moći će na temelju prethodno istreniranog modela

donositi QoS odluke nakon čega prosljeđuje izvještaj mehanizmima za kontrolu i upravljanje QoS pravilima [54].

Zbog velike količine podataka koje će biti generirane od strane korisnika i same telekomunikacijske mreže omogućit će operatorima razumijevanje korisnikovih zahtijeva i ponašanja što će dovesti do mogućnosti osiguravanja QoS usluga u stvarnom vremenu za velik broj aplikacija.

Podaci za osiguravanje QoS-a mogu se prikupljati s:

1. Korisničke opreme – to mogu biti podaci o hardveru i softveru, instalirane aplikacije, lokaciju, smjer kretanja, brzina, trenutno aktivne aplikacije, iskorištavanje mrežnih resursa, konfiguracija, pretplatničke informacije kao i performanse samog uređaja.
2. Pristupne mreže – to mogu biti statične informacije o konfiguraciji pristupne mreže kao što su raspodjela baznih stanica, poredak antena, frekvencijski pojasevi te dinamički podaci kao što su trenutno iskorištavanje fizičkih i virtualnih resursa, signalizacijske informacije i performanse mreže.
3. Jezgrene mreže – što predstavlja statične informacije o 5G jezgrenoj mreži kao što su SLA, fizički i mrežni resursi te dostupni mrežni odsječci, aktivni mrežni odsječci, fizički i virtualni resursi dodijeljeni određenom mrežnom odsječku, konfiguracija, performanse i sigurnosne informacije o mreži i drugo.

Podaci su prikupljeni u različitom vremenu s različitim formatima i prostornim značajkama što u sustav unosi još dodatnu dimenziju i kompleksnost. Da bi se tako velika količina QoS podataka mogla pohraniti i analizirati, potrebno ih je obraditi na odgovarajući način i to tako da se:

- podaci transformiraju u razumljiv oblik koji ima jednostavnu strukturu
- očiste i filtriraju neiskoristivi podaci
- normalizira i ujednači format QoS podataka za daljnju pohranu i analizu
- podaci označe odgovarajućim oznakama koje opisuju karakteristike prikupljenih i pohranjenih QoS podataka.

Prikupljene i na smislen način strukturirane podatke potrebno je pohraniti na odgovarajući način. Pohrana tako velike količine QoS podataka predstavlja izazov jer je potrebno pronaći bazu podataka koja će biti skalabilna i dobrih performansi.

Da bi se izvršio proces modeliranja i trening potrebno je konstruirati odgovarajući model koji će povezivati pohranjene QoS podatke i QoS parametre. Također potrebno je odabrati odgovarajuću tehniku strojnog učenja te algoritam koji će moći istrenirati model.

Na temelju istreniranog modela mehanizam za otkrivanje i predviđanje QoS anomalija može detektirati anomalije u stvarnom vremenu s velikom pouzdanošću. Informacije koje model pruža, mogu se iskoristiti za rješavanje problema vezanih za mrežu, aplikaciju ili uslugu. Također mehanizam na temelju procesiranih podataka može predvidjeti anomalije te na temelju toga aktivirati mehanizme za optimizaciju i planiranje mreže.

Nakon provedenog procesa otkrivanja ili predviđanja QoS anomalija potrebno je kreirati izvještaj na temelju kojeg se donose odgovarajuća QoS pravila za osiguravanje usluga. Dobiveni rezultati se mogu iskoristiti za ponovno dodjeljivanje resursa, optimizaciju mreže i planiranje. Također ti se rezultati mogu prikazati putem raznih grafova kako bi operatorima pomogli vizualizirati stanje mreže na temelju velike količine podataka. Izvještaj o provedbi QoS pravila distribuiraju se na kontrolnoj i korisničkoj razini mreže. Na primjer, kontrola i usklađivanje 5G mrežnih odsječaka nalaze se u kontrolnoj razini dok se klasifikacija prometnog toka, označavanje i određivanje redova čekanja koristi na korisničkoj razini. Stoga, mehanizmi strojnog učenja mogu se također iskoristiti za provedbu specifičnih QoS funkcija [52], [54].

7. Zaključak

Nakon što su mobilne mreže četvrte generacije na globalnoj razini stekle veliku popularnost, svakim danom je bilo sve više korisnika koji su koristili mobilne usluge. Zbog pojave raznih novih usluga omogućio se brzi prijenos podataka što je korisnike potaknulo da intenzivnije koriste usluge i više vremena provode na njih. Pošto se u budućnosti očekuju raznoliki scenariji primjene mobilnih komunikacija u procesu je razvoj pete generacije mobilnih mreža.

U ovom diplomskom radu opisan je razvoj i zahtjevi nove pete generacije mobilnih mreža gdje su opisane specifikacije i primjena 5G tehnologija u životnom okruženju. Također opisana je i arhitektura 5G mreže te su opisane ključne komponente takve mreže. Najveći izazov mreže pete generacije je osiguravanje mrežnih performansi za različite QoS zahtjeve specifičnih usluga kao što su poboljšana mobilna širokopoljasna mreža, masivan broj komunikacija između uređaja i ultra pouzdana komunikacija s malim kašnjenjem.

Zbog složenih zahtjeva koji se predstavljaju pred 5G mrežu u kontekstu kvalitete usluga bit će potrebno koristiti nove tehnologije koje će optimizirati i ubrzati procese određivanja QoS zahtjeva kao što je strojno učenje. Modeli strojnog učenja kad su izloženi velikoj količini podataka mogu se istrenirati tako da pronalaze sličnosti u njima te mogu otkriti i predvidjeti nepravilnosti u mreži te tako spriječiti moguće greške u prijenosu informacija mrežom. U radu je prikazan model koji na temelju prikupljenih i pohranjenih podataka može otkriti anomalije u QoS parametrima te tako omogućiti mehanizmima za osiguravanje kvalitete usluga ponovno dodjeljivanje resursa različitim uslugama kako bi se zadržala odgovarajuća kvaliteta usluge.

Iako četvrta generacija trenutno zadovoljava potrebe većine korisnika, potreban je razvoj nove generacije mobilnih mreža kako bi se potaknuo razvoj novih usluga te kako bi se omogućilo telekomunikacijsko okruženje različitim industrijama. Strojno učenje će se sve više koristiti u telekomunikacijama u budućnosti pošto se sve više razvijaju sustavi, aplikacije i usluge koje su složene i zahtijevaju od mreže najbolje moguće performanse, a sadašnji mehanizmi neće moći samostalno zadovoljiti takve zahtjeve.

LITERATURA

- [1] Electronicsnotes. 3GPP Specification Release Numbers. Preuzeto s: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/3gpp/standards-releases.php> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [2] Kuppusamy PG, Gopal BG. A Comparative Study on 4G and 5G Technology for Wireless Applications. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering. 2015;15(6): 67-72.
- [3] Viavi. 5G Architecture. Preuzeto s: <https://www.viavisolutions.com/en-us/5g-architecture> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [4] GSMA. The 5G Guide. A reference for operators. 2019. Preuzeto s: https://www.gsma.com/wp-content/uploads/2019/04/The-5G-Guide_GSMA_2019_04_29_compressed.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [5] 5GAmericas. The 5G Evolution: 3GPP releases 16 – 17. 2020. Preuzeto s: <https://www.5gamericas.org/wp-content/uploads/2020/01/5G-Evolution-3GPP-R16-R17-FINAL.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [6] 3GPP a Global Initiative. Releases. 2020. Preuzeto s: <https://www.3gpp.org/specifications/67-releases> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [7] Gallagher CJ, DeVine EM. Fifth-Generation (5G) Telecommunications Technologies: Issues for Congress. Congressional Research Service. 2019. Preuzeto s: <https://sgp.fas.org/crs/misc/R45485.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [8] Craven C. What Is 5G Network Infrastructure. Sdxcentral. 2020. Preuzeto s: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/5g-network-infrastructure/> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [9] EMF Explained 2.0. 5G explained - how 5G works. Preuzeto s: <http://www.emfexplained.info/?ID=25916> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [10] 5G PPP Architecture Working Group. View on 5G Architecture. 2019. Preuzeto s: https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2019/07/5G-PPP-5G-Architecture-White-Paper_v3.0_PublicConsultation.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2021]

- [11] Dryjanski M. 5G Core Network – a Short Overview. 2017. Preuzeto s: <https://www.grandmetric.com/2017/06/05/5g-core-network-a-short-overview/> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [12] Ancans G, Stafecka A, Bobrovs V, Ancans A. Analysis of Characteristics and Requirements for 5G Mobile Communication Systems. Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2017;54(4): 69 – 78.
- [13] Arrow. What frequency spectrum will 5G technology use and how does this compare to 4G. 2019. Preuzeto s: <https://www.arrow.com/en/research-and-events/articles/what-frequency-spectrum-will-5g-technology-use-and-how-does-this-compare-to-4g> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [14] Remmert H. What Is 5G Network Architecture. 2021 Preuzeto s: <https://www.digi.com/blog/post/5g-network-architecture> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [15] Techtarget. Authentication server. 2007. Preuzeto s: <https://searchsecurity.techtarget.com/definition/authentication-server> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [16] Craven C. What Is Unified Data Management (UDM). Sdxcentral. 2019. Preuzeto s: <https://www.sdxcentral.com/5g/definitions/what-is-unified-data-management/> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [17] McGrath D. Understanding 5G Service-Based Architecture. 2020. Preuzeto s: https://blogs.keysight.com/blogs/inds.entry.html/2020/06/30/understanding_the5g-yfi6.html [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [18] Huawei technologies Co. 5G Network Architecture a High-Level Perspective. 2016. Preuzeto s: <https://www.huawei.com/minisite/hwmbbf16/insights/5G-Nework-Architecture-Whitepaper-en.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [19] Noohani ZM, Magsi UK. A Review Of 5G Technology: Architecture, Security and wide Applications. 2020;7(5).
- [20] Yu H, Lee H, Jeon H. What is 5G? Emerging 5G Mobile Services and Network Requirements. Sustainability. 2017; 9(10):1848.
- [21] GSMA. An Introduction to Network Slicing. 2017. Preuzeto s: <https://www.gsma.com/futurenetworks/wp-content/uploads/2017/11/GSMA-An-Introduction-to-Network-Slicing.pdf> [Pristupljeno: kolovoz 2021]

- [22] Blueplanet. What Is Network Slicing. 2021. Preuzeto s: <https://www.blueplanet.com/resources/what-is-network-slicing.html> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [23] Sohaib RM, Onireti O, Sambo Y, Imran MA. Network Slicing for Beyond 5G Systems: An Overview of the Smart Port Use Case. 2021;10(9): 1090.
- [24] Carlton A. What is the difference between network slicing and Quality of Service. InsiderPro. 2017. Preuzeto s: <https://www.idginsiderpro.com/article/3231244/what-is-the-difference-between-network-slicing-and-quality-of-service.html> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [25] Feerick C. Learn About Quality of Service (QoS). JuniperNetworks. 2015. Preuzeto s: https://www.juniper.net/documentation/en_US/learn-about/LA_QoS.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [26] The Cisco learning Network. QoS architecture models: IntServ vs DiffServ. 2020. Preuzeto s: <https://learningnetwork.cisco.com/s/question/0D53i00000KsqtxCAR/qos-architecture-models-intserv-vs-diffserv> [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [27] ITU. Quality of service regulation manual. 2017. Preuzeto s: https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-BB.QOS_REG01-2017-PDF-E.pdf [Pristupljeno: kolovoz 2021]
- [28] Chowdhury ZM, Islam MM, Seo MY, Lee KY, Kang BS, Choi WS. Characterizing QoS Parameters and Application of Soft-QoS Scheme for 3G Wireless Networks. 10th International Conference on Advanced Communication Technology. 2008. 760 – 764.
- [29] Mrvelj Š. Ciljevi razine usluge QoS/GoS/NP. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2018.
- [30] Wilson M. Packet Loss – What is it, How to Diagnose and Fix It in your Network. 2021. Preuzeto s: <https://www.pcwld.com/packet-loss#wbounce-modal> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [31] vyopta. Troubleshooting packet loss: How much is an acceptable amount. 2018. Preuzeto s: <https://www.vyopta.com/blog/video-conferencing/understanding-packet-loss/> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [32] Sayeed A. Network Bandwidth and Throughput. SystemZone. 2017. Preuzeto s: <https://systemzone.net/network-bandwidth-and-throughput/> [Pristupljeno: rujan 2021]

- [33] IR Media. Network Latency - Common Causes and Best Solutions. Preuzeto s: <https://www.ir.com/guides/what-is-network-latency> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [34] Educative. What are the different types of network delay. Preuzeto s: <https://www.educative.io/edpresso/what-are-the-different-types-of-network-delay> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [35] GeeksforGeeks. Delays in Computer Network. 2020. Preuzeto s: <https://www.geeksforgeeks.org/delays-in-computer-network/> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [36] RingCentral. What is jitter? How to test and reduce internet jitter. 2020. Preuzeto s: <https://www.ringcentral.com/us/en/blog/what-is-jitter/> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [37] Wang Z. Internet QoS Architectures and Mechanisms for Quality of Service. San Diego. Bell Labs, Lucent Technology. 2021.
- [38] Medhi D, Ramasamy K. Network Routing 2nd Edition Algorithms, Protocols, and Architectures. 2018.
- [39] Mahadevan I, Sivalingam M.K. Quality of Service Architectures for Wireless Networks: IntServ and DiffServ Models. Proceedings Fourth International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms, and Networks. 1999: 420 – 425.
- [40] Mrvelj Š. Promet u Internet mreži. Autorizirana predavanja. Fakultet prometnih znanosti Sveučilišta u Zagrebu; 2009.
- [41] Ławrynowicz A, Tresp V. Introducing Machine Learning. Institute of Computing Science, Poznan University of Technology, Poznań, Poland. 2014. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/268804320_Introducing_Machine_Learning [Pristupljeno: rujan 2021]
- [42] Opperman A. Artificial Intelligence vs. Machine Learning vs. Deep Learning. 2019. Preuzeto s: <https://towardsdatascience.com/artificial-intelligence-vs-machine-learning-vs-deep-learning-2210ba8cc4ac> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [43] Alzubi J, Nayyar A, Kumar A. Machine Learning from Theory to Algorithms: An Overview. Journal of Physics Conference Series. 2018. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/329329261_Machine_Learning_from_Theory_to_Algorithms_An_Overview [Pristupljeno: rujan 2021]

- [44] Heidenreich H. What are the types of machine learning?. 2018. Preuzeto s: <https://towardsdatascience.com/what-are-the-types-of-machine-learning-e2b9e5d1756f> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [45] Litslink. Types of Machine Learning Algorithms. 2019. Preuzeto s: <https://litslink.com/blog/an-introduction-to-machine-learning-algorithms> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [46] Ćorić I. Metode strojnog učenja u predviđanju profitabilnosti kupaca. Sveučilište U Mostaru Ekonomski Fakultet Sveučilište U Splitu Ekonomski Fakultet. 2017. Preuzeto s: <https://repositorij.efst.unist.hr/islandora/object/efst%3A1783/datastream/PDF/view> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [47] Sutton SR, Barto GA. Reinforcement Learning: An Introduction. 2015. Preuzeto s: <https://web.stanford.edu/class/psych209/Readings/SuttonBartoPRLBook2ndEd.pdf> [Pristupljeno: rujan 2021]
- [48] Laryea I. QoS Requirements of IMT-2020. Seventh SG13 Regional Workshop on “Standardization of Future Networks towards Building a Better Connected Africa”. 2020. Preuzeto s: https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/standardization/20200203/Documents/Isaac_Laryea_Presentation.pdf [Pristupljeno: rujan 2021]
- [49] Aljiznawi AR, Alkhazaali HN, Jabbar QS, Kadhim JD. Quality of Service (QoS) for 5G Networks. International Journal of Future Computer and Communication. 2017;6(1): 27 – 30.
- [50] Tikhvinskiy V, Bochechka G. Quality of service in the 5G network. Moscow Technical University of Communications and Informatics. 2017. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/317748962_Quality_of_service_in_the_5G_network [Pristupljeno: rujan 2021]
- [51] Tikhvinskiy V, Bochechka G. Prospects and QoS Requirements in 5G Networks. LLC Icominvest. 2015. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/297358610_Prospects_and_QoS_requirements_in_5G_networks [Pristupljeno: rujan 2021]

- [52] ITU-T. Requirements for machine learning-based quality of service assurance for the IMT-2020 network. 2018 Preuzeto s: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.3170/en>
[Pristupljeno: rujan 2021]
- [53] Fourati CL, Maaloul R, Fourati H. A survey of 5G network systems: challenges and machine learning approaches. International Journal of Machine Learning and Cybernetics. 2021;12: 385 – 431.
- [54] Zhu G, Zan J, Yang Y, Qi X. A Supervised Learning Based QoS Assurance Architecture for 5G Networks. 2019;7: 2169 – 3536

POPIS KRATICA

QoS - Quality Of Service

3GPP - Third-Generation Partnership Project

LTE - Long-Term Evolution

MIMO - Multiple Input Multiple Output

OFDM - Orthogonal Frequency Division Multiplexing

WCDMA - Wideband Code Division Multiple Access

IoT - Internet of Things

5G NR - 5G new radio

IAB - Integrated access and backhaul

CTIA - Cellular Telecommunications and Internet Association

NFV - Network Function Virtualisation

SDN - Software Defined Networks

SBA - Service based architecture

ITU - International Telecommunication Union

IMT - International Mobile Telecommunications

UHF - Ultra High Frequency

NF - Network Function

UE - User Equipment

gNB – gNodeB

RAN - Radio Access Network

UPF - User Plane Function

AUSF – Authentication Server Function

AMF - Core Access and Mobility Management Function

NEF - Network Exposure Function-

NRF - NF Repository Function

PCF - Policy Control function

UDM - Unified Data Management

SMF - Session Management Function

IP - Internet Protocol

eMBB – Enhanced Mobile Broadband

mMTC – Massive Machine Type Communications

uRLLC - Ultra-Reliable and Low Latency Communications

SLA - Service Level Agreement

NGMN - Next Generation Mobile Networks Alliance

VPN - Virtual Private Network

VoIP - Voice Over IP

QoE - Quality Of Experience

ETSI - European Telecommunications Standards Institute

ISO - International Organization for Standardization

RED - Random Early Detection

DoS - Denial Of Service

RSVP - ReSerVation Protocol

PHB - Per-Hop Behavior

DSCP - Differentiated Services CodePoint

TCA - Traffic conditioning agreement

PDB - Packet Delay Budget

MDB - Maximum Delay Budget

METIS - Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society

KPI - Key Performance Indicators

V2X - Vehicle to Everything

POPIS SLIKA

Slika 1. Prednosti i usporedba 5G mreže u odnosu na 4G mrežu	5
Slika 2. Prikaz vrsta antena u odnosu na korištenu frekvenciju	12
Slika 3. Prikaz arhitekture 5G mreže	13
Slika 4. Prikaz aplikacijskih scenarija u odnosu na mrežne zahtjeve.....	17
Slika 5. Kategorizacija raznih scenarija prema 5G mobilnim uslugama.....	18
Slika 6. Prikaz koncepta Network Slicing tehnologije	20
Slika 7. Prikaz arhitekture mrežnog rezanja u 5G mrežama.....	21
Slika 8. Prikaz aspekata koji određuju razinu zadovoljstva korisnika uslugom	25
Slika 9. Usporedba propusnosti i pojasne širine	28
Slika 10. Prikaz vrsti kašnjenja u mreži.....	29
Slika 11. Komponente modela integriranih usluga.....	31
Slika 12. Prikaz arhitekture modela diferenciranih usluga	33
Slika 13. Komponente modula za klasifikaciju i prilagođavanje prometa.....	34
Slika 14. Odnos između umjetne inteligencije, strojnog učenja i dubokog učenja	37
Slika 15. Osnovne vrste strojnog učenja	38
Slika 16. Pojednostavljeni prikaz nadziranog strojnog učenja	39
Slika 17. Pojednostavljeni prikaz nenadziranog strojnog učenja	40
Slika 18. Prikaz procesa podržanog strojnog učenja	41
Slika 19. Model za osiguravanje kvalitete usluga baziran na strojnom učenju	48

POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz 3GPP izdanja za LTE mrežu	4
Tablica 2. Prikaz 3GPP izdanja u kojima su predstavljeni elementi 5G mreže	7
Tablica 3. Ključni QoS parametri propisani od ITU-a za mreže nove generacije	11
Tablica 4. Odnos brzine i latencije tijekom razvoja mobilnih mreža	42
Tablica 5. Prikaz zahtjeva PDB-a kroz generacije mobilnih mreža	45
Tablica 6. Prikaz količine gubitaka paketa kroz tri generacije mobilnih mreža	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 diplomski 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 diplomskog rada pod naslovom **Analiza mogućnosti primjene strojnog učenja za osiguravanje kvalitete usluga u 5G mrežama**

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

U Zagrebu, 9.9.2021

Student/ica:

Leon Bugarić
(potpis)