

Analiza performansi umreženog igranja u mobilnim mrežama pete generacije

Petrović, Krunoslav

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

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:119:521637>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-15**



Repository / Repozitorij:

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



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

**ANALIZA PERFORMANSI UMREŽENOG IGRANJA U
MOBILNIM MREŽAMA PETE GENERACIJE
ONLINE GAMING PERFORMANCE ANALYSIS IN FIFTH
GENERATION MOBILE NETWORKS**

Mentor: izv. prof. dr. sc. Marko Matulin

Student: Krunoslav Petrović

JMBAG: 0135215577

Zagreb, rujan 2024.

Zagreb, 23. travnja 2024.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 7466

Pristupnik: **Krunoslav Petrović (0135215577)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza performansi umreženog igranja u mobilnim mrežama pete generacije**

Opis zadatka:

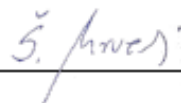
Opisati koncept iskustvene kvalitete usluge umreženog igranja. Navesti i opisati mrežne parametre koji se koriste u analizi kvalitete usluge. Objasniti na koji način pojedini parametri utječu na izvođenje različitih vrsta igara. Opisati koje optimizacijske metode postoje u mobilnim mrežama s ciljem poboljšanja performansi ove vrste usluge. Analizirati karakteristike mrežnog prometa kod umreženog igranja koristeći dostupne izvore literature. Osvrnuti se na budućnost usluge umreženog igranja u mobilnim mrežama.

Mentor:



izv. prof. dr. sc. Marko Matulin

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



ANALIZA PERFORMANSI UMREŽENOG IGRANJA U MOBILNIM MREŽAMA PETE GENERACIJE

SAŽETAK

Cilj ovog završnog rada je analizirati mrežne performanse pri igranju igara na mobilnim mrežama pete generacije (5G). 5G je relativno nova tehnologija i ovakvom se analizom gleda kako umreženo igranje funkcionira preko mobilnih mreža u usporedbi s umreženim igranjem klasičnim putem, odnosno žičanom vezom. Potrebno je vidjeti je li 5G mreža nužna za igranje svih tipova igara ili samo za neke vrste. Sagledat će se koju razinu kvalitete usluge mora imati pojedini tip igre da bi iskustvena kvaliteta bila u zadovoljavajućim mjerama. Na primjerima triju igara koje imaju elemente svih ostalih vrsta igara izvest će se mrežna analiza. Testirat će se kašnjenja prema poslužiteljima za *Battle Royale* vrstu igre, koja je ujedino i najbolji pokazatelj razloga za korištenje 5G mreže za igranje. Nova tehnologija igranja u oblaku bit će obrađena, jer ima vrlo slične karakteristike kao umreženo igranje. Objasnit će se i nova tehnologija rukovanja podacima u 5G jezgrenoj arhitekturi, koja se zove rubno računalstvo (*edge computing*) zbog kojeg igranje u oblaku i umreženo igranje radi s puno boljim performansama.

KLJUČNE RIJEČI

5G, iskustvena kvaliteta, umreženo igranje, igranje u oblaku, rubno računalstvo

ONLINE GAMING PERFORMANCE ANALYSIS IN FIFTH GENERATION MOBILE NETWORKS

SUMMARY

The goal of this final paper is to analyse network performance when playing games on the fifth generation mobile networks (5G). 5G is a relatively new technology and this analysis looks at how networked gaming works over mobile networks compared to networked gaming via a traditional wired connection. It remains to be seen whether the 5G network is necessary for playing all types of games or only for some types. The level of service quality a particular type of game must have in order for the quality of experience to be satisfactory will be discussed. A network analysis will be performed on the examples of three games that have elements of all other types of games. Latencies toward the servers for the Battle Royale type of game will be tested, since this type is the best indicator of the reason to use a 5G network for gaming. The new cloud gaming technology will be addressed, since it has similar characteristics to networked gaming. The new data handling technology in the 5G core architecture called edge computing will be explained, as it makes cloud and networked gaming work with better performance.

KEYWORDS

5G, Quality of experience, Online gaming, Cloud gaming, Edge computing

Sadržaj

1. Uvod	1
2. Iskustvena kvaliteta usluge umreženog igranja	3
2.1. Quality of Experience – QoE	3
2.1.1. Faktori koji utječu na iskustvenu kvalitetu	4
2.1.2. Načini mjerenja iskustvene kvalitete	5
2.2. Quality of Service – QoS	5
3. Mrežni parametri i vrste igara	7
3.1. Mrežni parametri	7
3.2. Transportni protokoli	8
3.3. Igranje preko hotspota	9
3.4. Vrste (online) igara	9
3.4.1. MMORPG – Massively Multiplayer Online Role-Playing Game	10
3.4.2. MOBA – Multiplayer Online Battle Arena	11
3.4.3. Battle Royale	12
3.4.4. Online utrke	13
3.4.5. Online FPS – First Person Shooter	14
3.4.6. Strategija u stvarnom vremenu	15
3.4.7. Borilačke igre	15
3.4.8. Sportske igre	16
3.4.9. Puzzle igre (Igre zagonetki)	17
4. Igranje u oblaku i rubno računalstvo	18
4.1. 5G igranje u oblaku	18
4.2. Rubno računalstvo	20
5. Karakteristike mrežnog prometa kod umreženog igranja	22
5.1. Usporedba mrežnog prometa MMORPG-a i puzzle igre	22
5.2. Usporedba duljine paketa	23
5.3. Vremena dolaska između paketa	24
5.4. Analiza rezultata mjerenja za MMORPG i puzzle igre	25
5.4.1. Analiza prometa za Battle Royale igru	26
5.4.2. Ping u online igrama i u Fortniteu	27
5.4.3. Analiza mrežnog prometa Battle Royale igre	29
5.4.4. Analiza rezultata mrežnog prometa Battle Royale igre	30
6. Budućnost mobilnog umreženog igranja	33

6.1. Mobilni <i>gaming</i> vođen umjetnom inteligencijom	34
6.2. Proširena stvarnost (AR) i virtualna stvarnost (VR) u umreženom igranju pete generacije	34
7. Zaključak.....	36
Popis literature.....	37
Popis kratica i akronima.....	41
Popis slika.....	42
Popis tablica	43

1. Uvod

Svijet umreženog igranja već je godinama posao vrijedan milijarde dolara, a sve do pojave 5G tehnologije bio je skoro u potpunosti rezerviran za korisnike žičanih mreža. S pojavom brze mobilne mreže ovog tipa ne samo da ozbiljno konkurrira u industriji video igara, nego konkurrira i za potrebe profesionalnog bavljenja igricama, koje se naziva eSports. Zbog malih kašnjenja i velike propusnosti, pametni telefoni postaju izbor broj jedan u svijetu zbog lake dostupnosti i jednakih uvjeta kao i na konzolama ili stolnim računalima, bar što se tiče mrežnog djela.

U ovom će se radu napraviti mrežna analiza performansi na igrama *Massively Multiplayer Online Role-Playing Game* (MMORPG), *Puzzle* i *Battle Royale* tipa. Svrha je prikazati bitne čimbenike 5G mreže koji utječu na igranje u realnom vremenu. Uzete su igre koje najbolje opisuju skoro sve žanrove kako bi se prikazalo da 5G nije nužan za visoku razinu iskustvene kvalitete svih igara, ali bez njega neke igre ne bi mogle dostaviti ono što korisnik očekuje od njih.

Rad se sastoji od sedam poglavlja:

1. Uvod
2. Iskustvena kvaliteta usluge umreženog igranja
3. Mrežni parametri i vrste igara
4. Igranje u oblaku i rubno računalstvo
5. Karakteristike mrežnog prometa kod umreženog igranja
6. Budućnost mobilnog umreženog igranja
7. Zaključak

U drugom poglavlju objašnjeno je što je to kvaliteta usluge i kako se gleda te što je iskustvena kvaliteta. Isto tako se spominju faktori koji utječu na iskustvenu kvalitetu.

5G mreža i njeni parametri predstavljeni su u trećem poglavlju, a zatim su nabrojane vrste igara i informacije kako se igraju te koji su zahtjevi od mreže.

U četvrtom je poglavlju opisan novi način igranja igara koji ima dosta sličnih elemenata kao umreženo igranje i vrlo je popularan te se predviđa da bi mogao preuzeti industriju, a zove se igranje u oblaku (engl. *cloud gaming*, CG). Zbog njega je potrebno objasniti i tehnologiju rubnog računalstva (engl. *edge computing*) od koje profitira i umreženo igranje.

U petom se poglavlju radi usporedba između triju vrsta mrežnih igara. Usporedbom njihovih gornjih granica kašnjenja koje se mogu tolerirati i veličine paketa dolazi se do saznanja o radu 5G mreže, ali i o samim uređajima na kojima se igre pokreću. Svaka se igra zatim uspoređuje sa svojim žanrom.

U šestom poglavlju predstavljene su neke od pretpostavki kako će izgledati umreženo igranje na 5G mreži u budućnosti. Spominju se i novi trendovi za koje se misli da će imati veliki utjecaj na *gaming* svijet, kao što su virtualna stvarnost (engl. *virtual reality*) i proširena stvarnost (engl. *augmented reality*).

U zaključku se daje sumirani prikaz rada s iznesenim rezultatima i zaključcima koje oni donose.

2. Iskustvena kvaliteta usluge umreženog igranja

2.1. Quality of Experience – QoE

Umreženo igranje je u današnje doba postalo multimilijunski posao, pa čak i sport. Zato tvrtke koje se bave igrama pokušavaju korisniku pružiti što bolje iskustvo igranja, odnosno iskustvenu kvalitetu (engl. *Quality of Experience*), skraćeno QoE (još se koristi i QoX), a sve u cilju zadržavanja ili pridobivanja korisnika na svoju stranu. Velika je konkurencija na tržištu video igra, tako da stvari poput QoE korisniku stvaraju razliku pri odabiru igre. QoE se ne koristi samo u svijetu video igara, nego u skoro svim branšama koji imaju nekakav proizvod za ponuditi korisniku; primjerice automobili, teleoperateri ili čak u filmskom svijetu gdje se napravi nekoliko verzija filma koja se pušta testnoj publici. Izrazito je teško izmjeriti i identificirati QoE, jer je iskustvena kvaliteta vrlo subjektivna te ovisi o parametrima kao što su ljudska percepcija, socijalni aspekt igre, kvaliteta usluge (engl. *Quality of Service*, QoS) i kvaliteta samog sadržaja. Iskustvena kvaliteta je mjera zadovoljstva korisnika proizvodom, a njeno je mjerenje skupo, jer su potrebni ispitanici na kojima će se slučaj ispitivati, što zahtijeva dosta vremena [1].

QoE je nadopuna QoS-a. Bez vrlo visoke razine QoS-a koja podrazumijeva dobru propusnost, malo kašnjenje i što manji gubitak paketa ne može se očekivati niti dobra razina QoE-a. Iz razloga što je iskustvena kvaliteta unutarnja percepcija korisnika, perceptivni testovi kvalitete su jedino sredstvo za dobru procjenu kvalitete [2]. Ima nekoliko definicija QoE-a. Definicija QoE-a prema [3] je u nastavku:

1. iskustvena kvaliteta: mjera korisničkog učinka koja se temelji na objektivnim i subjektivnim psihološkim mjerama korištenja ICT usluge ili proizvoda. Ako je davatelj usluge utvrdio da za određenu razinu QoS-a za neke usluge korisnicima nudi dobar QoE, to ne mora nužno biti tako za neku drugu ponuđenu razinu QoS-a.

2. iskustvena kvaliteta: sveukupna prihvatljivost aplikacije ili usluge kako je subjektivno percipira krajnji korisnik

3. iskustvena kvaliteta: ukupnost karakteristika telekomunikacijske usluge koje utječu na njezinu sposobnost da zadovolji navedene i podrazumijevane potrebe korisnika usluge

U zadnje je vrijeme iskustvena kvaliteta uvelike dobila na značaju, tako da se za njeno mjerenje koriste sve više prošireni parametri po kojima se ona analizira.

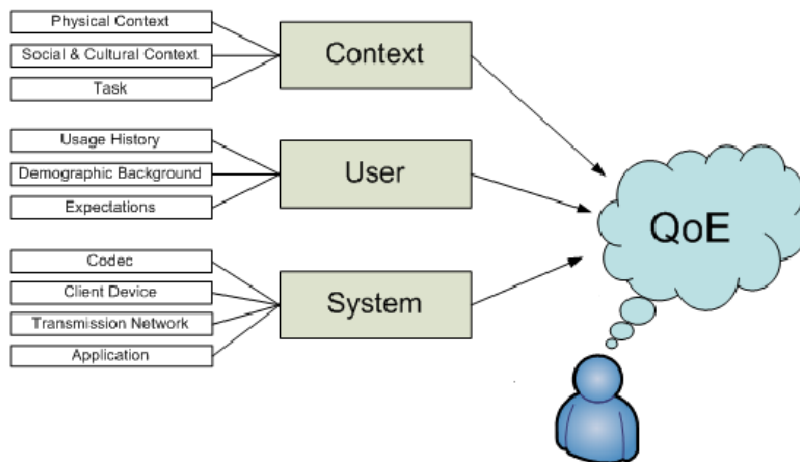
2.1.1. Faktori koji utječu na iskustvenu kvalitetu

Faktori utjecaja (FU) prema grupi autora članka [4] su „bilo koja karakteristika korisnika, sustava, usluge, aplikacije ili konteksta čije stvarno stanje ili postavka može utjecati na kvalitetu iskustva za korisnika.“ Isto se tako faktore utjecaja ne smije izolirati jednog od drugog jer oni mogu korelirati. Kada se radi model za neki sustav, ne uzimaju se svi faktori podjednako nego se za svaki pojedini model određuje koji bi to faktori bili od najvećeg značaja, a koji ne bi imali nikakav utjecaj na izračun QoE-a. Faktori koji utječu na iskustvenu kvalitetu svrstavaju se u tri grupe, a to su ljudski FU, sustavni FU i kontekstni FU kao što je to i prikazano na slici 1.

Ljudski/korisnički (engl. *user*) FU su bilo koja promjenjiva ili nepromjenjiva svojstva ili karakteristike korisnika. Ovi faktori mogu biti razni i uzimaju u obzir čak i socioekonomsku pozadinu, stanje uma korisnika i njegovo emocionalno stanje. Ljudski faktori utjecaja vrlo su kompleksni te su također i promjenjivi, što dodatno otežava njihovu identifikaciju. Ljudski faktori zato su najbitniji, budući da o njima najviše utječe iskustvena kvaliteta korisnika.

Sustavni (engl. *system*) FU odnose se na kvalitetu usluge, to jest njena svojstva i karakteristike, odnosno kodiranje, prijenos, pohranjivanje, renderiranje, reprodukciju te kolanje informacija od davatelja usluge do samog korisnika. Sustavni FU se prema članku [4] još dodatno dijele na 4 potkategorije: (1) Sustavni FU koji se odnose na sadržaj (engl. *content-related*), odnose se na tip sadržaja i njegovu pouzdanost, (2) Sustavni FU koji se odnose na medije (engl. *media-related*), referiraju se na način konfiguracije medija, (3) Sustavni FU koji se odnose na mrežu (engl. *network-related*), odnose se na podatkovnu transmisiju preko mreže, (4) Sustavni FU koji se odnose na uređaj (engl. *device-related*), podrazumijevaju krajnje sustave ili uređaje koji su uključeni duž komunikacijskog puta od kraja do kraja, uključujući specifikacije sustava, specifikacije opreme, mogućnosti uređaja te specifikacije i mogućnosti pružatelja.

Kontekstni (engl. *context*) FU su svi oni faktori koji opisuju korisnikovo okruženje kao što su fizičke, vremenske, društvene, ekonomske i tehničke karakteristike. Takvi se faktori mogu pojavljivati sporadično, dinamički, očekivano periodički. U obzir se uzimaju parametri kao što su doba dana, trajanje i učestalost korištenja, korisnikova lokacija, vrsta pretplate, je li korisnik u pokretu, je li korisnik sam ili s drugim ljudima – ovo su samo neki od primjera, jer konteksta ima jako puno i treba se gledati koji pravovremeno izabrati.



Slika 1. Faktori koji utječu na QoE, [5]

2.1.2. Načini mjerenja iskustvene kvalitete

QoE se može mjeriti subjektivno i objektivno. Kada se mjeri subjektivno, mjerenje se radi na po mogućnosti što većem broju ispitanika koji ispunjavaju upitnike u testnom okruženju odabirući vrijedjednosti na unaprijed definiranoj ljestvici o izvedbi kvalitete sustava. Nažalost, takav način nikada ne može simulirati u potpunosti stvarno okruženje pa se još koristi *crowdsourcing*, što je pribavljanje dovoljnog broja ispitanika na platformama koje se time bave. *Crowdsourcing* je skup i dugotrajan.

S druge strane, objektivno mjerenje i automatski izračun korištenjem odgovarajućih modela procjene kvalitete općenito je puno brži i jeftiniji način izračunavanja QoE-a, ali točnost konačne ocjene ovisi o točnosti tih modela. Prema [3] postoje tri načina testiranja objektivnog mjerenja: nametljiv način, nenametljiv način ili način planiranja.

Nenametljiv način testira okolinu samim ulaskom u nju i gleda izlazne parametre koje je skupio. Na ovaj način moraju se trošiti resurse koji su inače rezervirani za korisnika. Nametljiv način skuplja podatke od korisnika koji koristi igru pa ne zauzima njegov kapacitet. Način planiranja testira sustav kada se on ne koristi.

2.2. Quality of Service – QoS

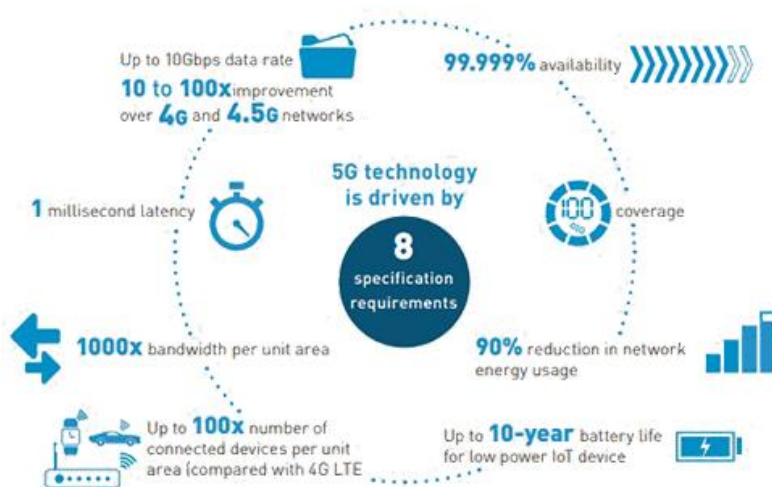
Kvaliteta usluge (engl. *Quality of Service*, QoS) odnosi se na mrežni dio koji isporučuje uslugu, odnosno mrežni dio koji je zadužen za komunikaciju između korisnika i poslužitelja. Kada se radi o igrama koje zahtijevaju korisničku interakciju u realnom vremenu (engl. *real time*), onda su bitni QoS parametri kašnjenje, gubitak paketa i dostupna propusnost. U *gaming* svijetu se spominju parametri syncing i latency/lag, ali oni su posljedica ranije

navedenih parametara. Online igre iziskuju jako visoku razinu kvalitete usluge pa se sve odvija uz pomoć relativno nove tehnologije koja upravlja mrežnim prometom i koja pri bilo kakvoj promjeni u mreži može reagirati. Davatelji usluga umreženog igranja mogu utjecati na uslugu do neke granice, a nakon toga sve ovisi o mreži teleoperatera koju korisnik koristi. Online igrice nude i opciju pri odabiru poslužitelja na kojem će korisnik igrati, koliki je *ping time*, što je zapravo *round trip time* (RTT) uz pomoć kojeg korisnik može sam odrediti koji će mu poslužitelj imati najbrži odaziv. O QoS-u ovisi hoće li korisnik biti zadovoljan igrom u kojoj sve teče glatko i gdje se njegova pravovremena reakcija pravovremeno prenosi u igricu i radi razliku između pobjede i poraza. Ukoliko razina QoS-a nije zadovoljavajuća, korisnici će biti frustrirani i isto će rezultirati ranijim izlaskom iz meča i naposljetku odustajanjem od igrice. Istraživanje [6] tvrdi da će i nešto niža razina QoS-a biti tolerirana od strane igrača ako je QoE zadovoljavajuć. Primjerice, ako korisnik s prijateljima igra određenu igru koja ima nešto veći ping, svejedno neće odustajati, jer zadovoljstvo nadjačava frustraciju.

3. Mrežni parametri i vrste igara

3.1. Mrežni parametri

Kao što je već prije spomenuto, QoS je od velikog značaja za umreženo igranje, odnosno kašnjenje, ping i sinkronizaciju; međutim, davatelj usluga ne može utjecati na one parametre koji su kod korisnika lokalno, tj. na mrežu koju on koristi (teleoperater). Mreža pete generacije, točnije „new radio“ (NR), mijenja situaciju u potpunosti. 5G je zadnja iteracija globalnog bežičnog standarda. Iako je četvrta generacija bila jako brza, nije imala niti približno malo kašnjenje kao peta generacija što nudi nezamislive prednosti i primjene. Na slici 2 prikazano je osam zadanih parametara na kojima je bazirana 5G tehnologija. Dostupnost mreže bi trebala biti skoro 100%, što za sada još nije niti blizu, barem u Hrvatskoj. Područje pokrivenosti isto bi trebalo biti 100% – ova stavka ovisi o hrvatskim telekomima, ali za sada pokrivenost 5G signalom nije niti blizu potpunoj pokrivenosti. Pitanje je utječe li nepotpuna pokrivenost signalom i na ostale parametre. Sama mreža bi trebala smanjiti potrošnju struje naspram ostalih starijih tehnologija. Uređaji umreženi u Internet stvari (engl. *Internet of Things*, IoT) koji su namijenjeni radu u 5G okolini imaju bateriju vijeka trajanja 10 godina. Između ostaloga, 5G tehnologija omogućava 100 puta više povezanih uređaja po baznoj stanici, 1000 puta veću propusnost, *datarate* (izmjena podataka) do 10 Gb/s te teoretsku 1 milisekundu kašnjenja, što je možda i najbitnija stavka za umreženo igranje.



Slika 2. Zadani parametri 5G tehnologije, [7]

Kašnjenja od 1 milisekunde stavlja korisnike bežične mreže skoro u istu situaciju, kao i korisničke žičane mreže. Štoviše, stavlja ih i u prednost nad korisnicima žičane mreže. O kašnjenju od 1 milisekunde će još biti riječi kasnije u ovom radu, jer je toliko malo kašnjenje fizički neizvedivo u realnom slučaju. Zbog malog kašnjenja igre, mogu igrati i između platformi (engl. *cross-platform*), što znači da korisnik recimo na mobitelu igra istu igru s korisnikom na stolnom računalu. Naravno da nije isto igrati igru na mobitelu i na nekoj konzoli koja je

specijalizirana za igre, ali što se tiče same mreže, odnosno sinkronizacije, kašnjenja i pinga, za korisnika nema razlike.

5G mreža koristi ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje (OFDM) kao i 4G mreža. Principi rada su jednaki, samo što 5G mreža na zračnom sučelju (engl. *air interface*) dodatno unaprjeđuje OFDM i daje mu veći stupanj fleksibilnosti i skalabilnosti. U tablici 1 vidljive su razlike između 4G mreže i 5G mreže i promatrajući usporedbu parametara može se primijetiti veliki skok u tehnologiji.

Tablica 1. Razlike između 4G i 5G

Parametri	5G	4G
Najveće podatkovne brzine	20Gb/s	1Gb/s
Kašnjenje	<1ms	10ms
Gustoća veze	1000000 konekcija/km ²	100000 konekcija/km ²
Podatkovni promet	50 exabajta/mjesec (2021)	7.2 exabajta/mjesec
Dostupan spektar	30GHz	3GHz

Izvor: [7]

Iako 5G više nije na početku i tehnologija je koja se koristi svakodnevno, svejedno još uvijek raste i neka od predviđanja još nisu viđena u svakodnevici, a neka se rijetko susreću; kao što su proširena stvarnost (engl. *augmented reality*, AR), autonomna vozila i telemedicina. 5G je tehnologija koja mijenja svijet i najveći je iskorak što se tiče performansi u bežičnim mrežama do sada.

3.2. Transportni protokoli

Postoje dva protokola transportnog sloja: *User Datagram Protocol* (UDP) i *Transmission Control Protocol* (TCP).

UDP je protokol korisničkog datagrama definiran da učini dostupnim datagramski način paketno komutirane računalne komunikacije u računalnim mrežama [8]. Ovaj se protokol oslanja na IP protokol kao temeljni protokol. UDP ne uspostavlja vezu i ne garantira isporuku paketa, zbog čega je „nepouzdan“. Ovaj protokol je namjerno nepouzdan kako bi mogao prenositi sadržaj usluga koje zahtijevaju brz prijenos u stvarnom vremenu. Pogodan je za većinu igara koji zahtijevaju reakcije u realnom vremenu. Sve zakašnjele informacije u ovom su slučaju nepotrebne pa se iste i odbacuju.

TCP je namijenjen za korištenje kao visoko-pouzdan host-to-host protokol između hostova u računalnoj mreži s komutacijom paketa [9]. TCP je konekcijski protokol transportnog sloja te koristi segmentaciju i multipleksiranje/demultipleksiranje, posjeduje funkcije pouzdanog prijenosa podataka, kontrole toka i upravljanja zagušenjima. TCP

mehanizmi pomažu da podatci sigurno stignu na odredište i sprječavaju zagušenost mreže, ali usporavaju prijenos podataka. Ovaj protokol nije pogodan za prijenos podataka tijekom umreženog igranja u većini slučajeva.

3.3. Igranje preko hotspota

Svaki igrač neke online igre preferira imati žičanu vezu na Internet, jer ona pruža stabilnost i pouzdanost. Međutim, s novim mobilnim tehnologijama (kao što je 5G) dolaze razne nove mogućnosti umreženog igranja. Primjenom hotspota na mobilnom uređaju ili samim hotspot uređajem koji se priključuje USB-om u računalo ili neku konzolu sve dosadašnje online igre postaju igre koje se igraju na mobilnim mrežama. Neki od razloga zašto je 5G poželjno rješenje za umreženo igranje su naravno njegova brzina i malo kašnjenje, ali osim toga korisnik može igrati svoju omiljenu igru gdje god se nalazio. Nažalost, kod hotspota s mobilnog uređaja postoji dodatno kašnjenje, jer je primjerice računalo spojeno bežičnim putem do pametnog telefona koji dobiva 5G signal. Skoro je isti razlog zašto korisnici brzih igara ne koriste bežične ulazne jedinice. Postoje i USB internet stickovi (T-com ih tako naziva) koji idu direktno u USB utor te nemaju problem kao hotspotovi. Međutim, svaki igrač voli imati svoj pametni telefon pri ruci, jer ako bude nekakvih problema na fiksnom internetu, on se lako može prebaciti na svoj hotspot i, ako je u pokrivenosti 5G signala, može nastaviti igrati skoro bez ikakve razlike – a i na 4G mreži će usluga vrlo vjerojatno isto zadovoljavajuće raditi. Postoje i specijalizirani hotspot uređaji kojima je jedina funkcija spajanje korisnika na mrežu pa takvi uređaji imaju puno bolje performanse i mala kašnjenja od pametnih telefona. Primjer jednog takvog uređaja je Horizon MH500C i njegove specifikacije su sljedeće: podržava 5G LTE CBRS, koristi 802.11ac (Wi-Fi 6), podržava 32 spojena uređaja, a baterija traje 24 sata [10].

3.4. Vrste (online) igara

Pod online igre spadaju sve one igre koje se igraju djelomično ili u potpunosti preko interneta ili preko bilo koje druge računalne mreže. Prve takve igre bile su igrane na samo nekoliko računala povezanih mrežnim kablom. Neke su igre primarno offline igre, ali imaju pristup internetu samo u nekim elementima te se onda svejedno svrstavaju u online igre. Primjer takve igra je Red Dead Redemption, koji prvenstveno korisniku pruža offline iskustvo s ponuđenom pričom koju korisnik može iskusiti, a kako to iskustvo ne bi završilo prerano i kako bi se resursi koji su već stavljeni u izradu svijeta i mehanike u potpunosti iskoristili, dostupna je i PvP (igrač protiv igrača, engl. *Player versus Player*) inačica koja je online.

Svaki korisnik preferira određeni tip ili više tipova online igara. Nekim korisnicima odgovara da se ono što rade svaki dan skuplja i njihovi avatari u igrama konstantno napreduju u svojoj karijeri. Neki korisnici više vole da svaka partija kreće iz nule za sve igrače. Ne postoji

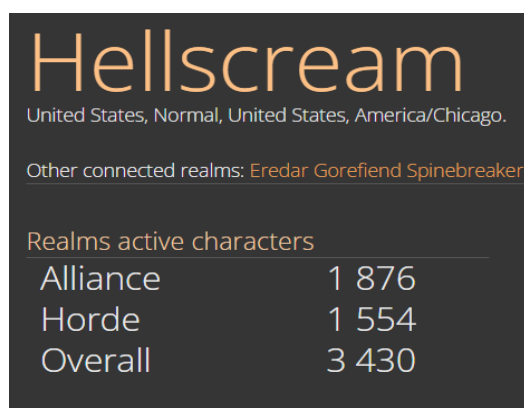
pravilo po kojem korisnici biraju tip igre koji im najviše odgovara: to je osobni odabir ili možda odabir nastao sredinom koja ih okružuje.

3.4.1. MMORPG – Massively Multiplayer Online Role-Playing Game

MMORPG su online igre u kojima korisnik kreira svoga avatara koji će ga predstavljati u igri. *Massively Multiplayer* podrazumijeva da u igri sudjeluje izrazito velik broj korisnika, a *Role-Playing* znači da korisnik ulazi u ulogu spomenutog avatara koji će, nakon što mu je odabrao rasu, klasu i izgled, koristiti na dulji vremenski period u prostorno velikom i sadržajno opsežnom svijetu.

World of Warcraft (WoW) tvrtke Blizzard Entertainment, Inc. je najbolji predstavnik MMORPG žanra. Kad je igra izdana 2004. godine, postala je omiljena online igra i do 2010. je skupila preko 12 milijuna igrača [11]. Današnje brojke nisu toliko dobre, ali pozitivna je informacija da je igra još uvijek vrlo aktivna i redovno dobiva nova proširenja i nakon 20 godina rada. Svijet koji korisnik može obići i istražiti u WoW-u obuhvaća četiri kontinenta i dva planeta.

Na slici 3 vidi se koliko je aktivnih korisnika pod stavkom „Overall“ na datum 10. kolovoza 2024. na poslužitelju Hellscream igre World of Warcraft. Isto tako se i vidi podjela na frakcije Alliance i Horde, što su dvije zaraćene strane te korisnik bira kojoj strani pripada.



Realms active characters	
Alliance	1 876
Horde	1 554
Overall	3 430

Slika 3. Broj aktivnih korisnika u igri World of Warcraft na poslužitelju Hellscream 10.08.2024., [12]

Na slici 4 prikazana je gužva u aukcijskoj kući (engl. *Auction House*) u kojoj korisnici kupuju i prodaju stavke. Slika dobro dočarava najbolje dane World of Warcrafta i kolika je gužva znala biti na poslužiteljima.



Slika 4. Gužva u aukcijskoj kući u igrici World of Warcraft, [13]

Zanimljivo je da novac iz igrice ima pravu vrijednost: trenutno 1 200 000 WoW Golda (hrv. zlatnika; novac u igrici) vrijedi otprilike 70 američkih dolara [14], što samo potvrđuje popularnost i masivnost ove igre.

Igranje ovakvih igara odvija se na poslužiteljima zatvorenog tipa od strane izdavačke kuće. Kako bi online performanse bile što bolje, korisnicima se savjetuje da biraju poslužitelje koji su im u regiji, iako ih to ne obvezuje. Korisnik iz Hrvatske može igrati na američkom poslužitelju, ali će mu se QoS zbog udaljenosti smanjiti. MMORPG uobičajeno se služi TCP protokolom, jer mu nije od velike važnosti da se stvari događaju trenutno, nego ima određeni vremenski interval koji može tolerirati kašnjenje pa dobiva na pouzdanosti. Poslužiteljski paketi su između 4 i 636 bajta, a klijentski paketi su od 1 do 156 bajta. Vrijeme među dolascima paketa kod poslužitelja je od 0-3179 ms a kod klijenta od 0-1264 ms [1].

3.4.2. MOBA – Multiplayer Online Battle Arena

MOBA igre spadaju pod kategoriju strateških igara. U ovakvim igrama korisnici svaku partiju počinju od nule s gradnjom svoga lika. Ovakve igre zahtijevaju veliku vještinu, a znači da su za pobjedu bitni i refleksi i relativno duboko shvaćanje strategije, mape i još niza stvari koje se pojavljuju. Budući da refleksi imaju veliku ulogu, lako je zaključiti da lag i ping moraju biti zadovoljavajući. Bitno je napomenuti da ovakve igre većinom i imaju stavke ping i lag vidljive na ekranu i u slučaju da performanse nisu zadovoljavajuće, uvijek je moguće informaciju o svom pingu podijeliti sa suigračima kako bi oni znali da ste u određenoj akciji bili ili još uvijek jeste u problemima te tako i oni mogu prilagoditi svoje akcije tome. Zanimljivo je za napomenuti da je prva moba nastala kao mod igrice Warcraft pa tako još jednom se vidi važnost i utjecaj kompanije Blizzard Entertainment Inc. u online igranju.

Nije pravilo, ali većina moba partija sastoji se od dva tima od po pet igrača svaki koji malo po malo osvajaju neprijateljev teritorij dok ne osvoje i zadnji toranj. Na slici 6 vidi se

MOBA igra League of Legends: Wild Rift koja je, za razliku od igre League of Legends, dorađena i specijalizirana za mobilne terminalne uređaje, tako da se može reći da je to MOBA koja se uvelike koristi na mobilnim mrežama.



Slika 5. League of Legends: Wild Rift, [15]

Kasnije u radu postat će jasno da strateške igre ne zahtijevaju UDP protokol, ali MOBA-e kao potkategorija strateških igara zahtijevaju UDP protokol, budući da su to igre koje traže postojanje vrlo brze reakcije kod igrača.

3.4.3. Battle Royale

Battle Royale je žanr online igara u kojemu najčešće 100 igrača sudjeluje u jednoj partiji. Svaki igrač ima jedan život i cilj partije je ostati zadnji na mapi koja se postepeno smanjuje kako bi igrače natjerala na borbu. *Battle Royale* može biti iz prvog ili trećeg lica. Žanr je vrlo sličan *first person shooter* igrama, ali je razlika u broju igrača te ovakav tip spada pod *massively multiplayer*. Svaka partija počinje iz nule, tako da korisnici moraju istraživati mapu kako bi skupili pribor za preživljavanje. Na slici 6 vide se prizori iz igre Fortnite koja nudi još modova koji ne spadaju svi u *massively multiplayer*, ali kada se govori o Fortniteu ili PUBG-u ili drugim popularnim *Battle Royale* igrama danas, smatra se da se priča o takozvanom „last man standing“ modu u kojem sudjeluje 100 igrača.



Slika 6. Fortnite, [21]

Što se tiče performansi, očekuje se također jako velika razina QoS-a. Ukoliko je u nekoj od partija kašnjenje preveliko, korisnici su skloni odustajanju jer se nove partije brzo nađu. Da ne bi dolazilo do velikog kašnjenja, paketi u ovakvim igrama kompresiraju se tehnikama kao što su Huffman *coding*, *run-length encoding*, *delta encoding* i još mnoge druge kada se spremaju za pošiljanje. Dodatno se još kompresiraju na mrežnom sloju TCP i IP kompresijom kako bi se paketi još umanjili. Nužno je osigurati normalno igranje čak i onim korisnicima koji su na mreži s manjim performansama od preporučene [16]. Transmisijski protokol koji se koristi u ovakvim igrama je UDP.

3.4.4. Online utrke

Online utrke (engl. *online racing*) spadaju pod *Massively Multiplayer* žanr te, iako on podrazumijeva otvoreni svijet, to ne mora nužno biti tako. *Online racing* simulira stvarne utrke kao što su Formula 1 ili Rally, ali može simulirati i avionske utrke ili utrke brodova i mnoge druge. Ovakve igre su vrlo brze pa se koristi UDP protokol kako bi se što više smanjilo kašnjenje. Isto kao i u primjeru *Battle Royale* igara, paketi se što više kompresiraju kako bi komunikacija bila što brža. Na slici 7 prikazana je igra Rocket League koja je dobar prikaz igre koja spada pod dvije kategorije, a to su utrke (engl. *racing*) i sport (engl. *sports*), jer kombinira vožnju automobilima koji igraju nogomet, što ujedno pokazuje i da se različite vrste igara mogu kombinirati.



Slika 7. Rocket League, [17]

3.4.5. Online FPS – First Person Shooter

Kako i samo ime kaže, radi se o igrama gdje korisnik kontrolira avatara iz prvog lica i radnja je nužno povezana s pucanjem. U puno je pogleda FPS jako sličan *Battle Royale* igrama, ali se ovdje radi o manjem broju ljudi koji igraju u timovima. Same su mape manje i ima ih nekoliko pa se za svaku mapu posebno pripremaju taktike. FPS igre su dosta zastupljene kao eSports, što je profesionalno bavljenje igrama. Na slici 8 vidljiva je igra Valorant koja je na dan 11.08.2024. trenutno najpopularnija u zadnjih 7 dana i ima 32 778 875 sati gledanja preko 2 813 256 streamova 1 045 687 gledatelja [18].



Slika 8. Valorant, [19]

Brzina je u ovakvim igrama ključna pa je jasno da online FPS igre koriste UDP protokol. Paketi se istim principom smanjuju kao i kod *Battle Royale* igri. Sa strane poslužitelja paketi iznose 5-300 bitova, a paketi od strane klijenta iznose 15-110 bitova, pa je odaziv od strane poslužitelja 10-200 ms, a odaziv od klijenta 5-120 ms. Smanjenje paketa na korisničkoj strani povećava razinu QoS pa posljedično i QoE-a [1].

3.4.6. Strategija u stvarnom vremenu

Strategija u stvarnom vremenu (engl. *Real Time Strategy*, RTS) je ratni tip igara u kojemu najčešće dva korisnika grade svoju bazu i vojsku, upravljaju resursima i pokušavaju pobijediti neprijatelja. Maksimalan zabilježen broj korisnika u RTS igrama je 16 protiv 16, što bi značilo 32 korisnika u igri *Age of Mythology*, ali takav meč nije uobičajeno vidjeti, a pogotovo ne na eSports *eventima*. Ovaj tip igre ne ovisi toliko o reakciji koliko o pomnom planiranju pa se mogu tolerirati relativno velika kašnjenja. RTS koristi i TCP i UDP transportne protokole, ovisno koja igra se promatra. Na slici 9 prikazan je isječak iz igre *Starcraft 2* koja je vrlo popularna u Južnoj Koreji, gdje se organizira mnogo eSports turnira. *Starcraft 2* još je jedna uspješnica firme *Blizzard Entertainment, Inc.*, koja je i ranije spomenuta u ovom radu.



Slika 9. *Starcraft 2*, [20]

3.4.7. Borilačke igre

Borilačke igre izdaju se prvenstveno kao offline igre, ali svaka u današnje vrijeme ima online modove. Borilačke igre su svakako u kategoriji eSports i uživaju veliku popularnost s velikim brojem igrača. Pretežno su igrane na konzolama, jer je joystick u ovom slučaju u velikoj prednosti nad tipkovnicom. Važno je napomenuti da svi profesionalni igrači koriste žičane joysticke kako bi smanjili kašnjenja koje stvaraju bežične ulazne jedinice. To nije pravilo samo za borilačke igre, nego za sve igre koje se igraju profesionalno. Kada se uzmu sva kašnjenja na mreži u radu konzole ili računala, svakako nitko ne želi još imati jedan čimbenik dodatnog kašnjenja. Borilačke igre kada se igraju online najčešće uključuju dva igrača koji igraju jedan protiv drugoga. Postoje i igre poput *Super Smash Bros* koji podržavaju do osam igrača kao što je to vidljivo na slici 10.



Slika 10. Super Smash Bros, [21]

Također se borilačke igre koriste UDP protokolom kako bi kašnjenje bilo što manje. Veličina paketa mora biti što manja kako bi komunikacija bila što brža pa se i u ovakvom tipu igara implementira kompresija paketa.

3.4.8. Sportske igre

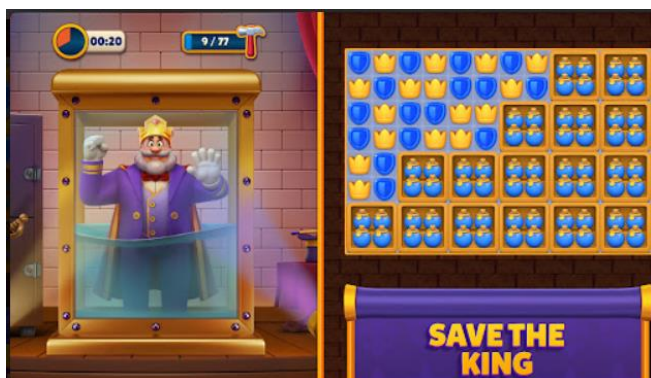
Sportske igre su simulacija sportskih događaja. Kao i u pravom životu, najzastupljenije sportske igre su nogometne igre. Sportske igre isto imaju eSports inačicu, ali nisu toliko zastupljene. Sportske igre najčešće se igraju s dva korisnika od kojih svatko preuzima kontrolu koja je potpomognuta umjetnom inteligencijom igre. Korisnik u zadanom trenu može kontrolirati samo jednog igrača te uz pomoć određenog gumba može promijeniti na sljedećeg ili prethodnog. Moguće su i varijante s četiri korisnika pa je podjela dva korisnika na jedan tim. Ovakav oblik igara koristi UDP transmisijski protokol jer zahtijeva reakcije u relanom vremenu. Odaziv poslužitelja mora biti što manji. Na slici 11 vidljive su dvije najpopularnije nogometne igre između kojih se uvijek vodi polemika koja je bolja: FIFA ili Pro Evolution Soccer.



Slika 11. FIFA i Pro Evolution Soccer, [22]

3.4.9. Puzzle igre (Igre zagonetki)

Puzzle igre se ne igraju kompetitivno protiv drugih igrača, nego su to vrlo jednostavne igre koje se mogu igrati čak i preko pretraživača interneta. Ovakve igre služe isključivo za zabavu. Nije od bitnog značaja da QoS bude na visokoj razini, tako da koriste TCP transmisijski protokol za komunikaciju prema poslužitelju. Postoje puzzle igre koje su kompetitivne pa postoji potreba za UDP protokolom, ali u većini slučajeva to su igre koje igra jedan igrač. Najpopularnija takva igra trenutno je Royal Match koja je u ožujku 2024. imala 85,14 milijuna dolara zarade [23]. Igra Royal Match vidljiva je na slici 12.

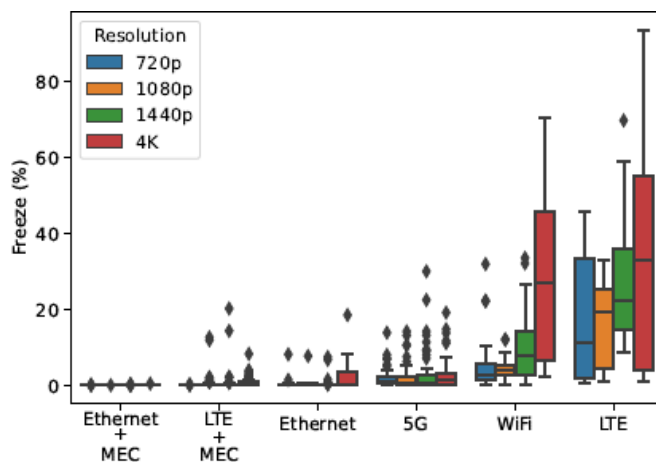


Slika 12. Royal Match, [24]

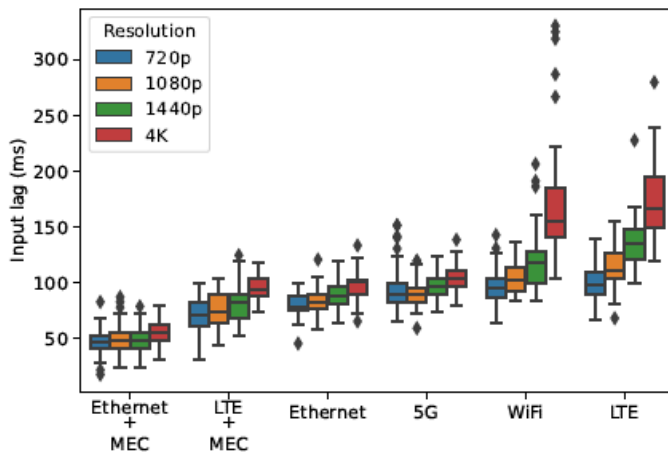
4. Igranje u oblaku i rubno računalstvo

4.1. 5G igranje u oblaku

5G igranje u oblaku (engl. *cloud gaming*, CG) dizajnirano je na način da prebacuje korisničke igranje operacije na superračunala u oblaku te tako korisnik ne mora imati jak hardver, odnosno jako računalo ili mobilni uređaj. S pojavom ovakvog načina igre poznate tvrtke su uvidjele važnost istoga te nude svoje usluge CG-a. Neke od poznatijih kompanija trenutno koje pružaju uslugu CG-a su Microsoft's xCloud i NVIDIA's GeForceNow. CG se može usporediti i s video streaming servisima, kao što je na primjer Netflix, jer se elementi igrice kodiraju i šalju na isti način kao i slike filma. Budući da je igranje igara interaktivna usluga, ona mora imati nisko kašnjenje najmanje vrijednosti od 60 do 100 milisekundi kako bi ponudila razumnu razinu QoS. Na slici 13 vidljive su usporedbe mrežnih tehnologija za postotak zamrznutih slika (engl. *freeze frame*) u prikazu kod igranja u oblaku, što bi značilo da kada se na vrijeme ne dobije nova slika događaja, korisnik vidi najstariju sliku koja mu je prikazana duži vremenski period nego je predviđeno. Na slici 14 vide se usporedbe za responzivnost ovisno o tehnologiji te oba grafa imaju podatke ovisno o željenoj kvaliteti slike. Tvrtka Nvidia je izdala grafove koji se koriste kao smjernice za pojedini tip mreže te se u usporedbama generiraju UDP paketi od 83 kilobajta i 1450 kilobajta i u dolazu i u odlazu.



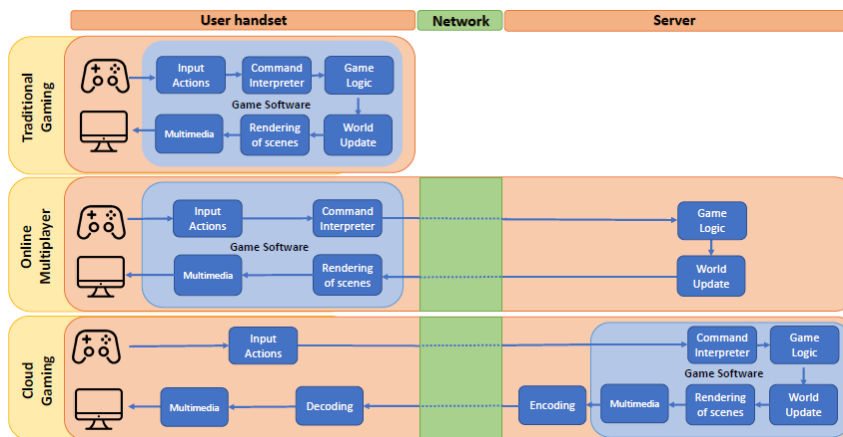
Slika 13. Glatkoća igranja u oblaku, [25]



Slika 14. Responzivnost igranja u oblaku, [25]

Iz grafova se jasno vidi koje tehnologije dolaze u obzir kada se govori o CG. Bitno je napomenuti da na grafu nije običan LTE, nego je unaprijeđena verzija s implementiranom *Mobile edge computing* tehnologijom; zato su podatci skoro isti kao kod 5G mreže i puno bolji nego kod obične LTE mreže, čiji su podatci isto tako vidljivi na grafu. CG preko WiFi LTE mreže ne dolaze u obzir jer jednostavno kašnjenje nije dovoljno malo i podatci o kašnjenju su na rubu QoS kašnjenja, a za igranje u 4K rezoluciji idu i daleko iznad preporučenih mjera. Isto je i s glatkoćom koju korisnik vidi. Wifi i LTE tehnologija imaju previše trzanja u 1440p, a u 4k još i više. Naravno, 3G tehnologija nije niti uspoređivana, jer se podrazumijeva da ne može nikako zadovoljiti QoS pri CG-u.

Razlika između umreženog igranja, običnog igranja i CG-a prikazana je na slici 15 koja predstavlja arhitekturu pojedinog tipa igranja. Tradicionalni način igranja podrazumijeva da korisnikove ulazne jedinice konzola interpretira te unosi u igrači svijet i stvara u njima promjene koje se zatim prenose u sliku i daju korisniku na ekran. Mrežni dio i poslužitelj niti ne postoje, kao što je to vidljivo, jer konzola odradi sve potrebne akcije. Umreženo igranje radi velikim dijelom na sličan način, ali prošireno na mrežni dio koji prenosi i vraća podatke s poslužitelja koji je na udaljenoj lokaciji. To bi značilo da korisnikove ulazne jedinice interpretira konzola, potom preko mreže šalje na poslužitelj, gdje poslužitelj radi promjenu u svijetu i takav podatak vraća opet preko mreže konzoli, koja to renderira i prenosi na ekran korisniku. Kod CG-a stvari rade na dosta drugačiji način. Korisničke se akcije odmah prenose mrežom na poslužitelj pa ih poslužitelj interpretira te potom radi promjene u igri. Zatim ih poslužitelj i renderira i priprema za multimedijalni prikaz te kodira kako bi takav prikaz mogao poslati u mrežu, a onda vraća na konzolu, koja mora samo dobiti signal raspakirati i prikazati korisniku na ekranu.



Slika 15. Arhitektura igranja u oblaku, [25]

Nakon ovakve usporedbe između načina igranja odmah je jasno da za CG mreža najznačajni dio CG-a, barem iz korisničke perspektive, budući da će korisnik podnositi trzanja i responzivnost. 5G je ključni faktor za CG jer donosi igranje visokozahvatnih igara na dlan.

5G je povećao brzine prijenosa podataka korištenjem ultraširoke propusnosti. To je podržano korištenjem viših frekvencija koje dosežu centimetarske i milimetarske raspone. NR ima dva nova frekvencijska raspona, a to su do 7,1 GHz, koji će davati propusnost od 100 MHz, i u rasponu od 24,25 GHz do 52,6 GHz, koji će davati propusnost od 400 MHz, što su vrijednosti puno bolje od LTE vrijednosti koje daju propusnost do 20 MHz [25], što znači da se brzina uvelike povećala. Korištenje ovakvih visokofrekvencijskih pojaseva kao što je mmWaves donosi ograničenja kod širenja i slabljenja. Tako da se MIMO (Multiple Input Multiple Output) tehnologija brine da takav signal koji slabi počne dolaziti iz raznih smjerova, što opet omogućava normalnu uslugu. Ovo su samo performanse u pristupnom dijelu 5G mreže, odnosno, ulaznom djelu gdje se korisnik spaja na baznu stanicu. Jezgreni dio 5G mreže je isto tako poboljšana u odnosu na starije tehnologije i ima značajnu ulogu u poboljšanju performansi igranja. Radi se o novoj tehnologiji koja se naziva rubno računalstvo.

4.2. Rubno računalstvo

Kako bi se unaprijedila usluga 5G-a i u jezgrenom djelu mreže, pojavila se nova tehnologija koja se naziva rubno računalstvo (engl. *edge computing*, EC). Budući da je u slučaju online igranja ili CG-a potreban prijenos podataka u realnom vremenu i malo kašnjenje, tradicionalna obrada podataka na poslužiteljima više ne daje zadovoljavajuće rezultate. Postoji i *cloud computing* koji isto tako više nije dovoljno brz. Zbog toga je obrada ulaznih podataka od korisnika dovedena na sam rub mreže što bliže korisniku kako se ne bi „gubilo vrijeme“. Rubno računalstvo je nastalo negdje pred kraj 2010. godine s rastom IoT uređaja koji generiraju mnoštvo podataka koje se mora obraditi u realnom vremenu. Ovakav pristup smanjuje kašnjenje i poboljšava vrijeme odgovora. Lokalna obrada i pohrana na rubu mogu

smanjiti količinu podataka koje je potrebno prenijeti na poslužitelje te štedi propusnost i smanjuje opterećenje mrežne infrastrukture. Rubno računalstvo nudi skalabilnost za rukovanje golemim količinama podataka koje se generiraju sveukupnim korisničkim aktivnostima na mreži, jer omogućuje distribuiranu obradu i pohranu na više rubnih čvorova. Sigurnost korisnika se povećava jer podatci ne struje kroz mrežu nego ostaju relativno blizu.

Komponente EC arhitekture dijele se na rubne uređaje, što bi bili svi uređaji koji daju bilo kakve ulazne informacije u mrežu, kao recimo mobilni uređaji ili IoT uređaji. Rubni čvorovi su dio mreže koji su posredni računalni i mrežni uređaji te oni povezuju rubne uređaje s ostatkom mreže i pružaju dodatne mogućnosti obrade, pohrane i umrežavanja. Nakon rubnih čvorova dolaze rubni ili regionalni podatkovni centri, koji su manji i bliži rubnim uređajima i po potrebi imaju mogućnost obrade, pohrane i analize za zahtjevnije zadatke ako se ukaže potreba. Najveći dio arhitekture su svakako centralizirani data centri ili poslužitelji u oblaku za one zadatke koji se nisu riješili u prije navedenim dijelovima ili za njih nije bilo dovoljno mjesta da se pohrane; a može se dogoditi i da je potrebna detaljnija analiza i ostali uređaji nemaju dovoljno kapaciteta za tako zahtjevne proračune. Sve je naravno povezano korištenjem žične i bežične komunikacijske tehnologije i protokola koji se koriste za povezivanje rubnih uređaja, čvorova i podatkovnih centara. Dobra mrežna i komunikacijska infrastruktura ključna je za omogućavanje razmjene podataka, sinkronizacije i koordinacije među komponentama arhitekture EC-a.

Cloud gaming i 5G igranje ovise o ovoj tehnologiji i kako će igranje postajati sve pristupnije, ovakva će tehnologija postajati sve zastupljenija u arhitekturama mobilnih mreža te će svakom teleoperateru biti u cilju da i on posjeduje EC tehnologiju.

5. Karakteristike mrežnog prometa kod umreženog igranja

5.1. Usporedba mrežnog prometa MMORPG-a i puzzle igre

Za predstavljanje karakteristika mrežnog prometa kod umreženog igranja koristit će se primjeri dvaju igara, od kojih je jedna MMORPG žanra, a druga je puzzle igra koja ima elemente umreženog igranja. Obje se igre igraju na pametnim telefonima. Podatci o prometu su dobiveni iz članka [26], a same igre nisu imenovane. Radi se o dva žanra koja imaju dijametralno suprotne zahtjeve za mrežu pa će i pregled njihovog mrežnog prometa očekivano biti različit. Obje su igre igrane na terminalnim mobilnim uređajima. MMORPG igra ima nekoliko tisuća korisnika koji dijele isti svijet i surađuju ili se natječu jedan protiv drugih kako bi osvojili nagrade u igri. U puzzle igri korisnici samostalno rješavaju zagonetke, a ako ne uspiju riješiti zagonetku, mogu tražiti pomoć drugih igrača te isto tako mogu posjetiti virtualni prostor drugih igrača.

MMORPG koristi TCP transmisijski protokol, jer igre ovog tipa toleriraju veće kašnjenje u većini slučajeva, a bitno je da podatci budu dostavljeni i da se ne generiraju greške kroz dulje sesije igranja koje obično traju po nekoliko sati. Aplikacijske poruke su u međuspremnicima protokola (engl. *protocol buffers*) na TCP-u. Međuspremnicima protokola Googleov su proširivi mehanizam neutralan prema jeziku, platformi za serijalizaciju strukturiranih podataka – kao XML, ali manji, brži i jednostavniji. Jednom definirano kako da podatci budu strukturirani, može se koristiti posebno generirani izvorni kod za jednostavno pisanje i čitanje strukturiranih podataka na i iz različitih tokova podataka i korištenjem različitih jezika [27].

Puzzle igra koristi protokol HTTP/1.1 i /2 gdje su aplikacijske poruke u JSON-u preko HTTPS (*Hypertext Transfer Protocol Secure*) koristeći TCP protokol. JSON se najčešće koristi za slanje podataka na web aplikacije, odnosno slanje podataka od poslužitelja prema korisnicima tako da budu vidljive na web stranicama i u obrnutom smjeru da korisnik može slati poslužitelju. HTTPS proširenje je protokola Hypertext Transfer Protocol (HTTP) koji koristi enkripciju za sigurnu komunikaciju preko računalne mreže. HTTP je protokol aplikacijskog sloja dizajniran za prijenos informacija između umreženih uređaja i on je standard za komuniciranje na world wide webu. HTTP/1.1 jedna je od osnovnih varijanti protokola koja je od samog nastanka doživjela nekoliko unapređenja. HTTP/2 je potpuno nova verzija protokola koja smanjuje kašnjenje učitavanja web stranice korištenjem tehnika kao što su kompresija, multipleksiranje i određivanje prioriteta [28].

U tablici 2 vidljivi su sveukupni podatci o mjerenju, ukupno vrijeme igranja, koliko poruka je bilo između poslužitelja i korisnika te korisnika i poslužitelja, koliko je sveukupno sesija odigrano, podatci o trajanju sesija, broj poruka po sesiji, stopa bita (engl. *bit rate*) i koliko iznosi veličina zapisnika (engl. *log*). Igra A je MMORPG, a igra B je puzzle.

Tablica 2. Ključni aspekti mjerenja prometa

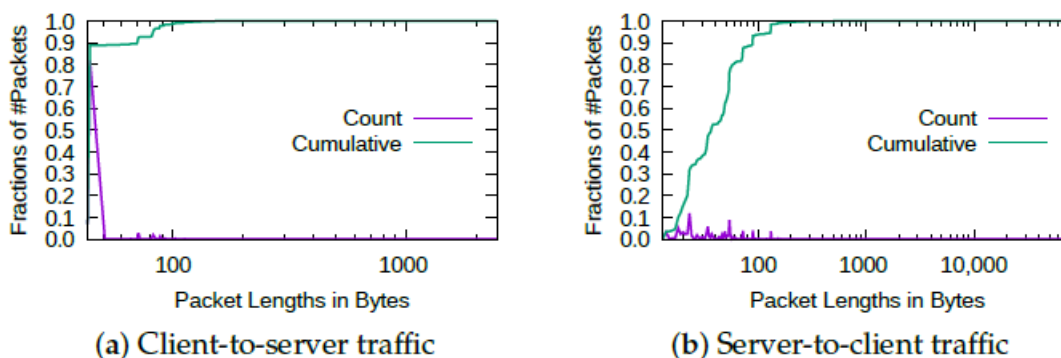
	MMORPG igra	Puzzle igra
Duljina igranja	2h	2 dana
Poruke klijenta prema poslužitelju	19010841	335145778
Poruke poslužitelja prema klijentu	16917007	335145778
Broj promatranih sesija	408	53749009
Duljine sesija (s) (prosječna/srednja/std.dev)	1819.1/1305.2/2359.4	1563.7/629.4/2382.1
Broj poruka po sesiji (prosječna/srednja/std.dev)	49540.8/15429/86622.8	448.2/210/478.9
Stopa bita (KB/s) (prosječna/srednja/std.dev)	240.2/237.3/30.8	14219.9/13997.2/3648.0
Ukupna veličina zapisnika	5GB	150GB

Izvor: [26]

Svi navedeni parametri u tablici naizgled daju puzzle igri veće brojke u svim aspektima, ali bitno je uzeti u obzir vrijeme igranja puzzle igre, koja je igrana 2 dana, za razliku od vremena igranja MMORPG igre, koja iznosi samo 2 sata. Gledajući stavku stopa bita po sekundi jasno je da je MMORPG igra puno zahtjevnija igra od puzzle igre sa skoro 17 puta više podataka u sekundi.

5.2. Usporedba duljine paketa

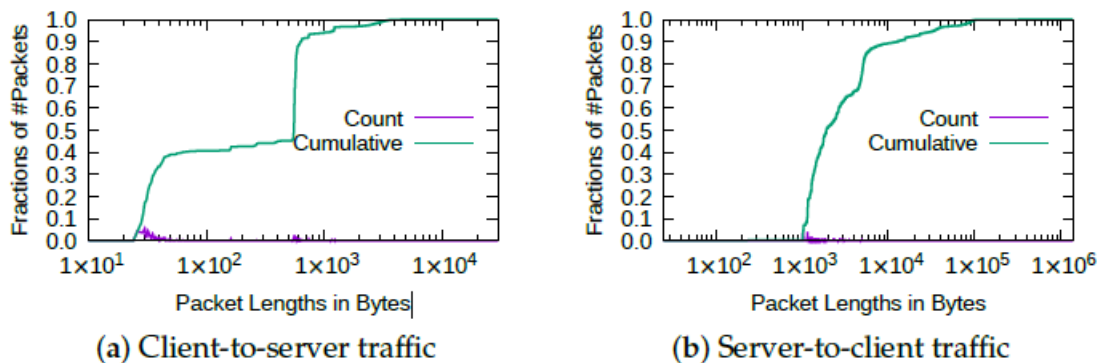
Svaki unos u dnevnik MMORPG igre bilježi poruku aplikacije (poruku međuspremnik protokola) i njenu duljinu. Ne broji duljine IP zaglavlja i TCP zaglavlja. Slika 16 predstavlja distribuciju izmjerenih duljina paketa u bajtima. Vidljivo je da za se MMORPG igru šalju vrlo mali paketi (aplikacijske poruke) u oba smjera, prikazan je puno duži rep, dok promet klijent-poslužitelj pokazuje da nekoliko paketa dominira. U 81,9% slučajeva paketi su veličine 44 bajta koji su učestali, jer su to poruke o igračevom kretanju.



Slika 16. Distribucija duljina paketa za MMORPG igru, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu, [26]

Kod puzzle igre vidljivo je da se u slučaju klijent prema poslužitelju šalje mali broj dominantnih podataka vezanih za poteze korisnika u igri. U oba slučaja vidljivo je na slici 17 da je većina paketa veličine oko 500 bajta, kao i što je kod MMORPG igre prevladavala jedna

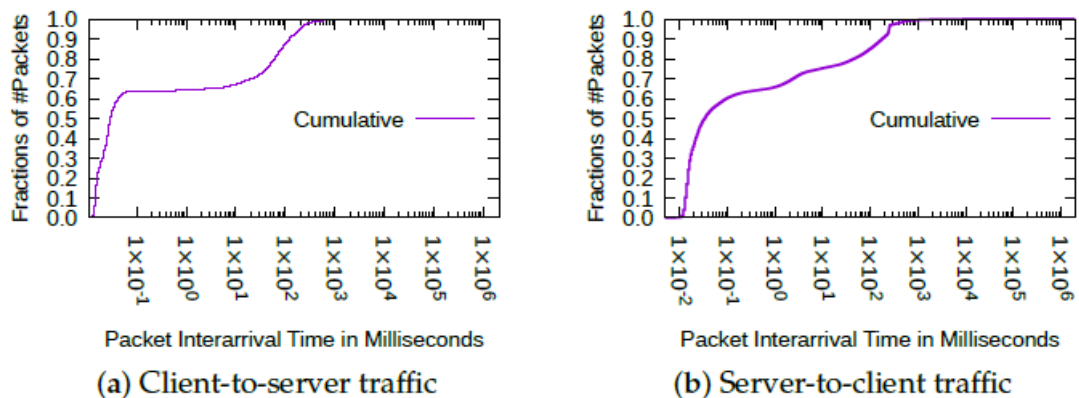
veličina. Napomena je da puzzle igra radi na HTTP protokolu pa ima i zaglavlje, dok kod TCP protokola za MMORPG igru zaglavlje nije uključeno, kao ni IP zaglavlje; zato su paketi puzzle igre veći od paketa MMORPG igre na slici 17.



Slika 17. Distribucija duljina paketa za puzzle igru s uključenim HTTP zaglavljima, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu, [26]

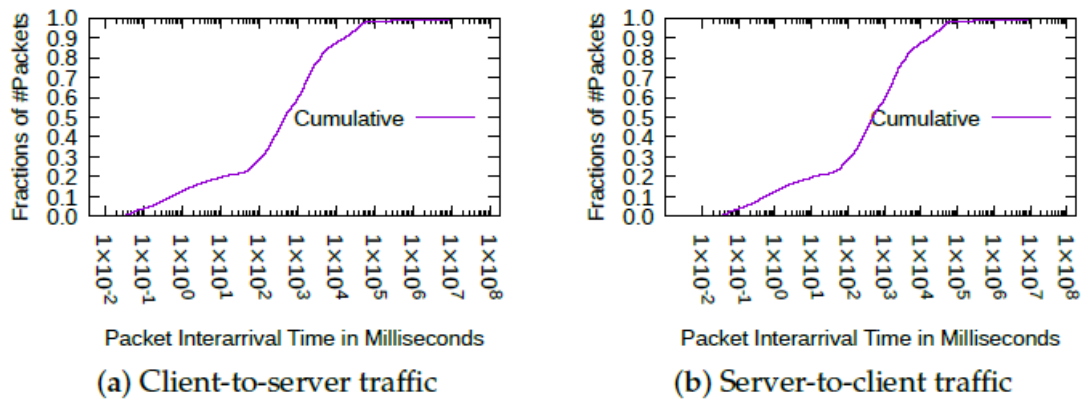
5.3. Vremena dolaska između paketa

Na slici 18 vidljivo je vrijeme između dolazaka paketa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu za MMORPG igru. U oba slučaja je vidljivo da u 99,5% slučajeva vrijeme dolazaka paketa iznosi 1 000 milisekundi, odnosno 1 sekundu.



Slika 18. Distribucija međudolazaka paketa za MMORPG igru, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu, [26]

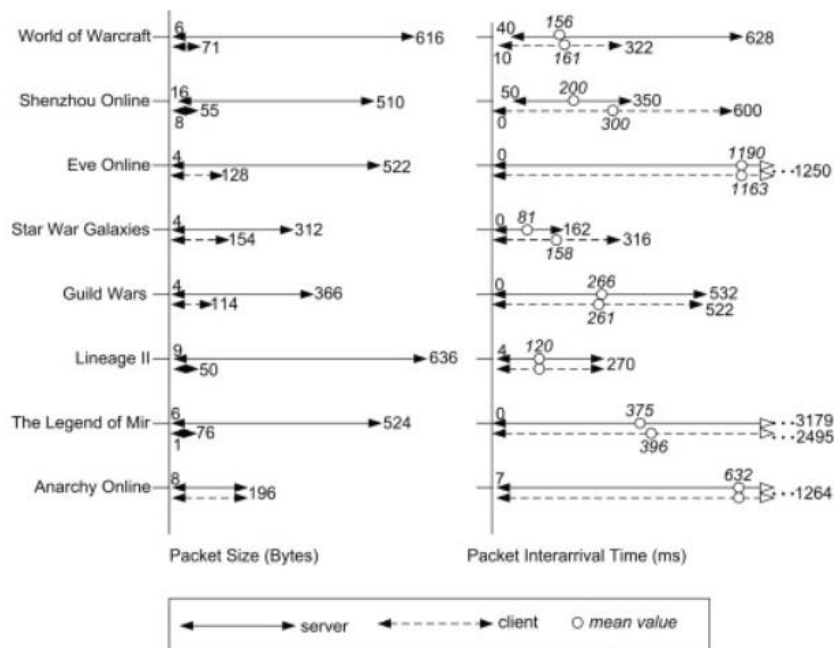
Za slučaj puzzle igre, kao što je vidljivo na slici 19, jasno je da 87,2% prometa ima međudolazke od 10 000 ms. Distribucije pokazuju dugačak rep koji je primijećen i u MMORPG igri. To pokazuje da način rada mobilnog uređaja ima značajan utjecaj na vrijeme dolaska među paketima.



Slika 19. Distribucija međudolazaka paketa za puzzle igru, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu, [26]

5.4. Analiza rezultata mjerenja za MMORPG i puzzle igre

Radi izbora igara očekivanja su bila da će mjerenja biti međusobno različita (što i jesu), ali krivulje obaju mjerenja imaju mnogo zajedničkih točaka. Kod MMORPG igre dolazi se do saznanja da se, iako se igra na pametnom telefonu, zahtjevi ove igre uvelike oslanjaju na mobilnu mrežu da bude pouzdana, jer se podatci koje smo dobili poklapaju s podacima ostalih MMORPG-ova koji su zamišljeni da se igraju na stolnom računalu povezano žičanim putem. Slika 20 prikazuje veličine paketa i međudolazke paketa popularnih MMORPG igara, a podatci koji se vide na njoj svrstavaju zadanu MMORPG igru u nekakvu srednju zonu. Ne može se reći niti da ima brzo, ni sporo vrijeme dolazaka; ali velika je razlika što je ovo mobilna igrice, a na slici su podatci za PC igrice, tako da igra ima i više nego zadovoljavajuće karakteristike mrežnog prometa.



Slika 20. Veličina paketa i vrijeme međudolazaka paketa poznatih MMORPG igara, [29]

Uspoređujući MMORPG igre sa slike 20, vidljivo je da ne dijele svi iste ili barem slične karakteristike mrežnog prometa, kao što bi to bilo logično za pretpostaviti. Izgleda da varijacije mogu doći iz razlika u žanru i načina igranja, odnosno obrascima ponašanja igrača ili uređaju na kojem se igra.

Kod puzzle igre nešto su veći paketi, kao što je već navedeno. To se događa zato što se koristi drugačiji protokol i u mjerenje je uvršteno i zaglavlje paketa. Naizgled dugo vrijeme kašnjenja od 10 sekundi (koje bi u drugim igricama bilo apsolutno neprihvatljivo) u puzzle igricama je i više nego prihvatljivo – ipak se radi o skoro *single player* igri koja ima HTTP protokol koji radi na *request-response* način, što bi značilo kada korisnik da zahtjev prema poslužitelju, tek onda dobije odgovor.

Dolazi se do zaključka da je teško kreirati prometni standardni model za online igre bilo kojeg tipa. MMORPG i puzzle igra nažalost ne pokazuju 5G mrežu u punom sjaju, jer imaju veliku toleranciju na kašnjenje. U ova dva slučaja mobilni uređaj je taj koji ograničava brzine, što je i u članku [26] jasno htjelo biti predloženo na grafovima gdje se za sve smjerove komunikacije i obje igre vide repovi.

5.4.1. Analiza prometa za Battle Royale igru

Budući da izbor igara MMORPG i puzzle nije reprezentativan primjer igranja na 5G mreži, u ovom se poglavlju prezentira mrežna analiza igre Fortnite tipa *Battle Royale*. Ovaj tip igre kao što je već spomenuto iziskuje što manje kašnjenje. Paketi koji pristižu u obje strane

su što je više moguće kompresirani. Bitno je napomenuti da ovakve igre imaju dva načina igranja; prvi je kada korisnik aktivno igra igru i on šalje komande koje želi na poslužitelj, a drugi je način kada korisnik umre u igri. Tada korisnik ima priliku gledati svoje suigrače, ali ako i njih isto više nema u igri, onda ima priliku gledati igrača koji ga je pobijedio. Svi načini igranja će biti prikazani u grafovima koji su preuzeti iz članka [30].

5.4.2. Ping u online igrama i u Fortniteu

Svaki je igrač zabrinut kada vidi da mu je ping skočio u odnosu na vrijednost koju inače vidi. Ping je vrijeme koje je potrebno da korisnički paket dođe do poslužitelja i potom od poslužitelja do korisnika. Vrijeme pinga mjeri se u milisekundama, kao što se to vidi i kod MMORPG igre, samo što je tamo bilo navedeno koliko paketu treba u jednom smjeru, a koliko u drugom. Na kašnjenje utječe nekoliko faktora, kao što su propusnost, *throughput* i rutiranje. Igra Fortnite nudi korisniku sve poslužitelje koje imaju pa su za ovaj rad testirani sjevernoamerički i europski poslužitelji, samo da bi se pokazala razlika u kašnjenju. Mjerenje se izvodilo žičanim putem.

```
C:\Users\mkorbel>ping ping-nae.ds.on.epicgames.com

Pinging ping-nae.ds.on.epicgames.com [3.129.132.172] with 32 bytes of data:
Reply from 3.129.132.172: bytes=32 time=120ms TTL=53
Reply from 3.129.132.172: bytes=32 time=121ms TTL=53
Reply from 3.129.132.172: bytes=32 time=127ms TTL=53
Reply from 3.129.132.172: bytes=32 time=125ms TTL=53

Ping statistics for 3.129.132.172:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 120ms, Maximum = 127ms, Average = 123ms

C:\Users\mkorbel>ping ping-naw.ds.on.epicgames.com

Pinging ping-naw.ds.on.epicgames.com [35.86.57.246] with 32 bytes of data:
Reply from 35.86.57.246: bytes=32 time=168ms TTL=52
Reply from 35.86.57.246: bytes=32 time=170ms TTL=52
Reply from 35.86.57.246: bytes=32 time=169ms TTL=52
Reply from 35.86.57.246: bytes=32 time=166ms TTL=52

Ping statistics for 35.86.57.246:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 166ms, Maximum = 170ms, Average = 168ms
```

Slika 21. Ping prema Fortnite poslužiteljima (1)

```
C:\Users\mkorbel>ping ping-eu.ds.on.epicgames.com

Pinging ping-eu.ds.on.epicgames.com [3.66.90.29] with 32 bytes of data:
Reply from 3.66.90.29: bytes=32 time=35ms TTL=48
Reply from 3.66.90.29: bytes=32 time=34ms TTL=48
Reply from 3.66.90.29: bytes=32 time=38ms TTL=48
Reply from 3.66.90.29: bytes=32 time=35ms TTL=48

Ping statistics for 3.66.90.29:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 34ms, Maximum = 38ms, Average = 35ms

C:\Users\mkorbel>ping ping-nac.ds.on.epicgames.com

Pinging ping-nac.ds.on.epicgames.com [18.88.1.126] with 32 bytes of data:
Reply from 18.88.1.126: bytes=32 time=135ms TTL=50
Reply from 18.88.1.126: bytes=32 time=134ms TTL=50
Reply from 18.88.1.126: bytes=32 time=134ms TTL=50
Reply from 18.88.1.126: bytes=32 time=137ms TTL=50

Ping statistics for 18.88.1.126:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 134ms, Maximum = 137ms, Average = 135ms
```

Slika 22. Ping prema Fortnite poslužiteljima (2)

Na slikama 21 i 22 vidljivo je da europski poslužitelj ima najmanje kašnjenje od 35 milisekundi srednje vrijednosti. Oznaka poslužitelja je „eu.ds.on.epicgames.com“.

Na slici 23 prikazano je pinganje s 5G mreže.

```
host: ping-eu.ds.on.€ >

PING ping-eu.ds.on.epicgames.com
(13.37.148.3) 56(84) bytes of data.
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=1
ttl=51 time=43.4 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=2
ttl=51 time=55.9 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=3
ttl=51 time=56.1 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=4
ttl=51 time=55.2 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=5
ttl=51 time=46.4 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=6
ttl=51 time=64.2 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=7
ttl=51 time=62.4 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=8
ttl=51 time=59.9 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=9
ttl=51 time=46.8 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=10
ttl=51 time=56.7 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=11
ttl=51 time=44.9 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmp_seq=12
ttl=51 time=63.5 ms
64 bytes from 13.37.148.3: icmpo seq=13
```

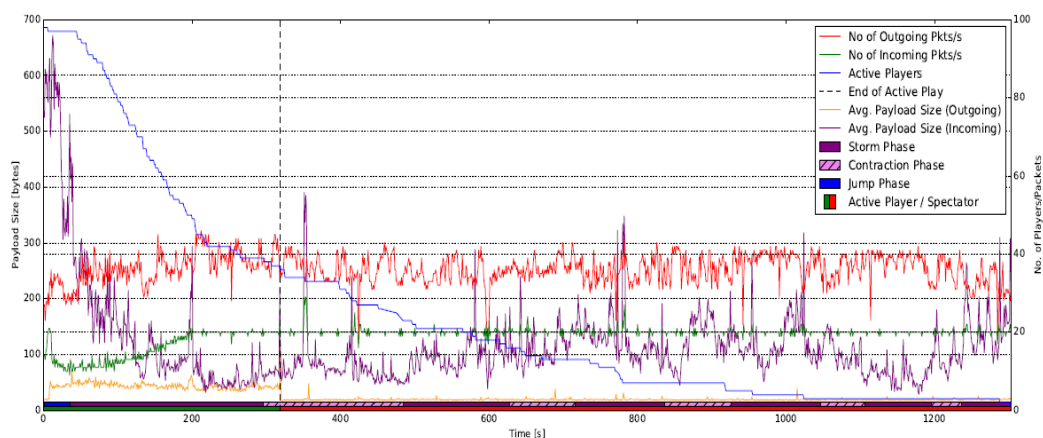
Slika 23. Ping prema Fortnite poslužitelju putem 5G mreže

Kada se uzmu u obzir 55,43 milisekunde srednje vrijednosti koliko je dobiveno pinganjem, uviđa se da se može ostvariti jako dobra igrivost usporedno s 4G mrežom koja ima

kašnjenje nešto slabije od 60-70 milisekundi. Uzme li se za primjer 3G kašnjenje od 100-125 milisekundi na kojoj je ovakav tip igre na rubu igrivosti, isto nije zadovoljavajuće za korisnika te bi korisnik odustao od igre nakon samo nekoliko partija.

5.4.3. Analiza mrežnog prometa Battle Royale igre

Mjerenja mrežnog prometa kao i grafovi preuzeti su iz članka [30]. Mjerenje je napravljeno na deset partija igre Fortnite i na slici 24 su prikazani dobiveni rezultati.



Slika 24. Duljina paketa ovisno o fazama u partiji igre Fortnite, [30]

Fortnite koristi samo UDP protokol kako bi se dostavili *real-time* podatci, kao što je to već bilo i naglašeno za ovaj tip igara. Graf na sebi ima i nekoliko dodatnih vrijednosti koje je potrebno znati da se može bolje shvatiti zašto su nekada paketi manji, a nekada veći.

Plavom bojom je označena faza skoka (eng. *jump phase*), koja označava kada korisnici iskoče iz aviona i lete prema otoku na kojem se igra. Igrači u zraku imaju ograničene mogućnosti upravljanja smjerom kretanja i brzog padanja ili sporog s otvorenim padobranom. Svi korisnici ne moraju iskočiti u isto vrijeme, ali moraju iskočiti do zadanog roka, što je kad avion preleti cijeli otok. Na grafu se vidi da plava krivulja u jednom trenutku dotakne nulu i ostaje na njoj.

Faza oluje (engl. *storm phase*) je krivulja ljubičaste boje na x-osi i ona označava najavu sljedeće faze kamo će se oluja kretati. Korisnici koji ostanu u oluji dobivaju određenu štetu na svome liku i ako ne izađu iz oluje naposljetku izgube igru.

Faza smanjivanja (engl. *contraction phase*) krivuljom roze boje na x-osi označava da se oluja počela kretati, odnosno teren za igru se počeo smanjivati. Po partiji ima nekoliko faza oluje i smanjivanja.

Aktivni igrač (engl. *active player*) i gledatelj (engl. *spectator*) su korisnici koji aktivno igraju igru ili samo promatraju druge igrače kako igraju. Igrači koji izgube postaju gledatelji.

Kraj aktivne igre (engl. *end of active play*) označava da je korisnik na kojem je mjeren promet izgubio i ta je linija isprekidana na grafu u otprilike tristotoj sekundi igranja.

Ovaj graf u sebi sadrži podatke u smjeru od korisnika prema poslužitelju i poslužitelja prema korisniku. Crvenom bojom su označeni paketi po sekundi, a žutom bojom veličina paketa. Broj odlaznih paketa cijelu partiju ostaje relativno stabilan s oko 35,9 paketa po sekundi. Dok je korisnik u aktivnom stanju, što znači da aktivno igra, paketi su veličine 43,9 bajta po paketu. Kada korisnik uđe u neaktivno stanje, veličina paketa se smanji. Točno na liniji „End of active play“ zabilježen je skok u grafu, jer korisnik dobije uvid u statistiku meča nakon smrti lika. U tablici 3 izvučene su srednje vrijednosti sa standardnim devijacijama.

Tablica 3. Veličine paketa i broj paketa po sekundi u igri Fortnite

		Duljina paketa (bajt) - srednja vrijednost (std.dev)	Broj paketa po sekundi - srednja vrijednost (std.dev)
Klijent prema poslužitelju	Normalna igra	43,9 (7,97)	35,9 (4,27)
	Gledanje	19,4 (2,65)	35,9(4,27)
Poslužitelj prema klijentu	Niska aktivnost	81,57 (34,47)	19,7 (1,6)
	Susret	267,65 (57,96)	19,7 (1,6)

Izvor: [30]

Iz mjerenja je vidljivo da korisnik (iako je završio aktivno igranje) i dalje dobiva jednak broj paketa po sekundi samo manjeg kapaciteta po paketu. Za dolazni promet s poslužitelja prema korisniku za pakete po sekundi označena je krivulja zelene boje. Za srednju veličinu paketa krivulja je ljubičaste boje, a veličina paketa se mijenja ovisno o fazi u kojoj je igra. Kada korisnici iskoče iz aviona veličina paketa dostiže 600 bajta, što je vjerojatno zato što se puno aktivnosti događa u malom prostoru na mapi. Tu se često događaju i trzanja te svaki korisnik vidi relativno velik broj drugih igrača. Taj se broj postepeno smanjuje kako korisnici dotiču otok na kojem se igra održava. Broj dolaznih paketa povezan je s brojem korisnika u meču. Na početku meča stiže samo 10 paketa po sekundi, što se postepeno podiže do trenutka kada ostane pedeset igrača u meču. Tada se broj paketa po sekundi stabilizira na 19,7 paketa po sekundi. Bilo da korisnik igra ili samo gleda drugog igrača, kada god se dogodi *encounter*, odnosno sukob između dvoje igrača, paketi u dolazu od poslužitelja naglo narastu.

5.4.4. Analiza rezultata mrežnog prometa Battle Royale igre

U podacima koji su dobiveni nije jasno zašto su paketi manje veličine u dolazu sve do trenutka kada ostane samo pedeset aktivnih igrača u igri. Vjerojatno se takve akcije poduzimaju da se poslužitelj ne preopteretiti. Kada se uzmu svi rezultati, vidljivo je da 4G mreža

ovakav promet može propustiti i dostaviti, ali performanse 5G mreže su puno bolje za takav zadatak. 5G ima kašnjenje od 55.43 milisekunde, što je relativno blizu kašnjenju žičane veze od 35 milisekundi, a to je nešto što ljudsko osjetilo ne može primijetiti. 5G nudi 13107200 bajta po sekundi srednje brzine. Izmjereni podatci u Fortnite igri za aktivno igranje iznose 1,584 bajta po sekundi pa 5G to bez problema prenosi. Kapacitet 5G mreže je 100 puta veći kao i efikasnost mreže, tako da bi se moglo reći da ako ovaj žanr igara radi na jako visokom QoS-u, radit će i sve druge [31].

Po slici 25 vidi se da *Battle Royale* igra sa svojim vrijednostima može spadati i u FPS žanr po mrežnom prometu koji generira.

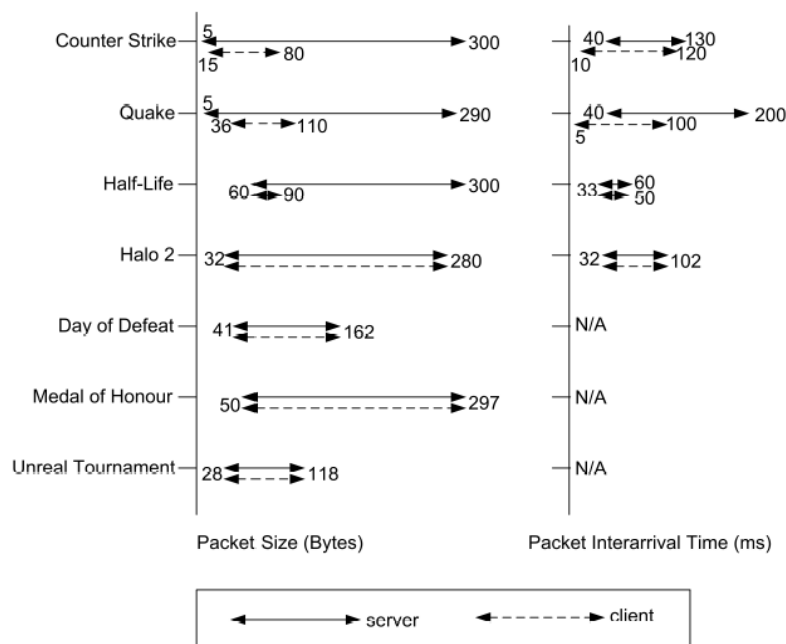


Figure 2: FPS traffic ranges obtained from existing studies:
 Counter-Strike [6, 7, 8, 9, 11, 12]
 Quake [14, 16, 17]
 Half-Life [18]
 Halo 2 [6, 19]
 Day of Defeat [8]
 Medal of Honour: Allied Assault [8]
 Unreal Tournament 2003 [8]

Slika 25. Veličine paketa i vrijeme između dolazaka paketa za Online FPS igre, [29]

Iz ovog se primjera može izvući da je kašnjenje od 1 milisekunde (kao što je to reklamirano za 5G) nešto što se može postići samo u laboratorijskim uvjetima, što je bitno za napomenuti da se ne bi dobio krivi dojam o 5G mreži. 5G je unapređenje, ali u granicama normalnog rada. Za kašnjenje od 1 milisekunde koristi se samo komunikacija do bazne stanice koja bi trebala biti unutar jednog kilometra od korisnika, kao i informacija koju korisnik zahtijeva. Tek bi onda možda bilo moguće ostvariti takvo kašnjenje od 1 milisekunde. Kako bi se objasnilo minimalno moguće kašnjenje koje se može postići u realnom svijetu, bitno je naglasiti da je brzina svjetlosti i elektriciteta ograničena i u jednoj milisekundi svjetlost može putovati samo oko 200 km kroz optički kabel. Dakle, čak i ako mrežna oprema ne dodaje

nikakvu latenciju, maksimalna je povratna udaljenost 100 km. Drugim riječima, ne postoji način igranja igrice s kašnjenjem od 1 milisekunde u jednom dijelu svijeta gdje je poslužitelj s drugog mjesta gdje je korisnik na jako velikim udaljenostima [32].

Vezano za QoS igara poput Fortnitea vrijede sljedeća pravila za kašnjenje [33]:

- do 30 milisekundi se smatra izvrsnim kašnjenjem
- 30 – 50 milisekundi je dobro kašnjenje
- 50 – 100 milisekundi je prihvatljivo
- preko 100 milisekundi je neprihvatljivo kašnjenje

Uzevši navedena pravila u obzir, Fortnite igran na 5G mreži u ovom slučaju spada u prihvatljivo kašnjenje blizu granice dobrog kašnjenja.

6. Budućnost mobilnog umreženog igranja

5G mreža danas se predstavlja kao *future-proof* tehnologija, što je u prijevodu tehnologija otporna na budućnost; što bi značilo da je to mreža koja će udovoljavati i budućim zahtjevima. 5G još nije zaživio u svijetu punim kapacitetom, tako da se njegova budućnost još uvijek predviđa. Tvrtke koje se bave mobilnom telefonijom polako pokušavaju pokazati kako bi 5G mreža mogla zamijeniti fiksnu mrežu u svijetu umreženih igara. Direktor Vodafone Grupe za mrežne strategije i arhitekturu mreže Santiago Tenorio tvrdi da je njihova 5G mreža dovoljno dobra i za eSports natjecanja. Vodafone grupa je organizirala eSports natjecanja preko 5G mreže u Milanu na tjednu igara. Također su davali usluge na asphalt 9:Legends i PUBG finalima te su sva natjecanja uredno prošla preko 5G mreže.

Postavlja se pitanje kako ovakav novi tip mreže mijenja igračku kulturu. Do sada se ozbiljnim igranjem smatralo samo igranje na stolnim računalima i konzolama. Novim trendom dolazi do popularnosti mobilnih igara, pa čak i do pojave mobilnog eSportsa, i mijenja se slika svijeta o igranju igrica na pametnim telefonima. Na slici 26 prikazane su dvije osobe koje igraju istu igru, ali na dvjema različitim platformama i obje, bar što se tiče mrežnog aspekta, imaju jednaku šansu pobijediti.



Slika 26. Cross-platform igranje, [34]

Očekuje se da će se mobilno igranje pomoću 5G mreže nastaviti razvijati i postati sve veći i (od strane *gaming* zajednice) sve cjenjeniji oblik igranja. Također se kroz nekoliko godina očekuje sve veća integracija proširene stvarnosti (AR) i virtualne stvarnosti (VR) u mobilni eSports. Predviđa se da će mobilno igranje postati razlog za dodatno unapređenje 5G tehnologije zbog svoje popularnosti i da će se pojaviti mobilni uređaji koji su dedikirani samo za igranje te su napravljeni s boljim komponentama od običnih pametnih telefona, baš za svrhu kompetitivnog igranja.

6.1. Mobilni *gaming* vođen umjetnom inteligencijom

Od kada se pojavila malo naprednija tehnologija umjetne inteligencije (poput chatGPT-a), ista je poharala svim zamislivim sferama. Nema tehnologije u kojoj se ne koristi i svugdje se gleda što će novo donijeti u budućnosti. Nema razlike ni u *gaming* svijetu. Za dočaravanje koliko je jaka umjetna inteligencija u igrama, dosta je spomenuti da se implementacijom chatGPT-a u igru Skyrim (staru 14 godina) omogućuje da svi su likovi unutar igre postali svjesni svega u igri. To znači da korisnik može sa svakim likom pričati što god želi, a lik u igri će odgovarati, ali samo sa znanjem o svijetu u kojem se nalazi i ničime izvana.

Umjetna inteligencija će u novijim igrama skalirati težinu nakon što napravi procjenu igrača ili tima na način da će svaki igrač igrati na rubu svojih mogućnosti, a opet neće biti frustriran sa stalnim porazima, što znači da će QoE rasti. Umjetna inteligencija će utjecati na realizam iskreiranog svijeta oponašajući stvarna ponašanja prirode i ljudi, što će korisnika puno više uvući u igru i povećati iskustvo igranja. Cijele će se igre moći više personalizirati po korisnicima. S tehničke strane, umjetna će inteligencija moći detektirati greške u igri – kontinuiranim čitanjem programskog koda igre bit će korak prije greške te je izbjeći ili popraviti. Zbog toga brzina u igri ne bi trebala nikada patiti. Bitno je napomenuti da sve nabrojano o umjetnoj inteligenciji može istovremeno biti i problem što se tiče ljudske psihe, koja igre može smatrati jednako stvarnim poput pravog svijeta.

6.2. Proširena stvarnost (AR) i virtualna stvarnost (VR) u umreženom igranju pete generacije

Proširena stvarnost je tehnologija koja se preklapa sa stvarnim svijetom. Primjerice, ona dodaje slike ili zvukove u pravi svijet, spaja digitalno i svijet koji okružuje korisnika. Na takav način pojačava korisnikovu percepciju stvarnosti s dodanim elementima. Ovakva tehnologija je izvrsna primjerice za sportaše, jer može običnu stazu za trčanje prenamijeniti u poligon sa zaprekama. Bitna stvar kod ovakve tehnologije, budući da je većinom uključeno kretanje korisnika, jest napraviti jasnu razliku između stvarnog i digitalnog kako bi se izbjegle ozljede. Na slici 27 vidi se kako je jedna turistička atrakcija starog grčkog hrama kroz AR tehnologiju na mobilnom uređaju prikazana kao da je tek izgrađena.



Slika 27. Akropola u proširenoj stvarnosti, [35]

Virtualna stvarnost (VR), za razliku od AR, korisnika u potpunosti stavlja u virtualni svijet. Za pokretanje ovakve tehnologije dovoljno je imati kacigu ili naočale, ovisno o proizvođaču. Virtualni svijet izgleda potpuno realno, jer je interaktivan i uz vid simulira i okolinu zvukovima. Uz korištenje 5G mreže korisnici mogu igrati partiju ping ponga preko pola svijeta bez da su napustili svoj dnevni boravak. Prikaz kako izgleda igrač s VR kacigom i kako on vidi vidljiv je na slici 28. VR ima sve žanrove kao i sve ostale platforme.



Slika 28. Ping pong u virtualnoj stvarnosti, [36]

AR i VR donose puno bolji doživljaj uključenosti u virtualni svijet od klasičnog načina igranja. Također povećavaju interaktivnost igre i otvaraju puno novih mogućnosti u *gameplayu* koje do sada nisu viđene.

7. Zaključak

Mobilne mreže pete generacije punim zamahom mijenjaju *gaming* kulturu. Nešto što se do jučer smatralo neprihvatljivim, a to je ozbiljno igranje igara na mobilnim uređajima, danas je novi trend. U ovom je radu prikazano kako 5G mreža može dati uslugu umreženog igranja upravo onako kako ona i treba biti isporučena. Niti jedan tip igara nema zahtjeve koje ovakva nova mobilna mreža ne bi mogla podnijeti, ako je korisnik u području koje je u potpunosti pokriveno 5G signalom. Na primjerima MMORPG i puzzle igara vidljivo je da neke igre ne moraju imati velike brzine i malo kašnjenje kako bi isporučile zadovoljavajuće korisničko iskustvo. Igre žanrova poput FPS, *Battle Royale* ili MOBA, koje od performansi zahtijevaju okruženje u kojemu će se refleksni potezi igrača prenijeti u realnom vremenu prema poslužitelju, odnosno imaju visoke QoS zahtjeve, ne bi se mogle igrati gotovo ni na jednoj mreži osim 5G. Čak i eSports natjecanja, koja gleda cijela *gaming* zajednica i koja su skupa za održati te su nagrade pobjednicima jako velike, mogu od sada biti održana i bežičnim putem.

Uz umreženo igranje, novi trend je igranje u oblaku koje radi na sličan način i uvelike ovisi o propusnosti i kašnjenju. Da bi korisnik igrao najnoviju igru visoke grafičke rezolucije i s pregršt poligona više ne mora nužno imati i jako hardversko računalo za pogon iste. Korisnik od sada streamanjem može dobivati sliku s udaljenih poslužitelja koji služe kao superračunala i može isto tako njima slati upravljačke komande koje mijenjaju sliku koju dobiva. Na ovaj se način jednostavnom pretplatom od svega desetak dolara mjesečno omogućava vrhunski *gaming*. Kako bi usluga igranja u oblaku još glađe radila, implementirana je tehnologija *edge computinga* na rubove mreže, s ciljem da svi podatci više ne kolaju od korisnika do poslužitelja, nego se većina obrađuje na rubovima bliže korisniku i tako daje još dodatno ubrzanje ovakvom načinu igranja.

Kroz nekoliko se godina očekuje da će igre prijeći u virtualnu stvarnost. Vrlo vjerojatno će se igrati svi isti žanrovi kao i danas, ali korisnik neće biti vezan za konzolu i bit će potpuno s osjetilima unutar virtualne stvarnosti. Realna slika je, kako se i vidi iz ovog rada, da 5G tehnologija još nije zasjala u punom sjaju i da se još uvelike razvija, ali prednosti i nove tehnologije koje donosi su nevjerovatne; kako za igranje, tako i za sve ostale branše. Još uvijek se predviđa što će sve biti moguće kada se u potpunosti implementira. Postavlja se pitanje što to može donijeti iduća generacija, jer iz današnje perspektive izgleda kao da 5G ima sve potrebno za neometano igranje koje daje vrhunsko iskustvo korisniku.

Popis literature

- [1] Dias E. A model to Evaluate QoE of Online Social Gaming. Magistarski rad. Delft University of Technology; 2014. Preuzeto s: https://repository.tudelft.nl/file/File_ba4ad589-4558-461b-94a4-bbb7616a0ee5?preview=1 [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [2] ITU-T - G.1011: "Recommendation ITU-T G.1011 - Reference guide to quality of experience assessment methodologies," 2013. Preuzeto s: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.1011/en> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [3] ETSI TR 102 783. Human Factors (HF); Web-based Guideline and Tutorial System for Real-time Communication Services; QoE (Quality of Experience) expressed in QoS (Quality of Service) terms; Supporting and maintenance information. V1.1.2. March 2010. Preuzeto s: https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/102700_102799/102783/01.01.02_60/tr_102783v010102p.pdf [pristupljeno 25. kolovoza 2024.]
- [4] Grupa autora. Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience. *Output from the fifth Qualinet meeting*. Novi Sad, 12 March 2013. Novi Sad, Serbia; Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/235769459_Qualinet_White_Paper_on_Definitions_of_Quality_of_Experience/link/55c0b69908ae092e9666dcbe/download?_tp=eyJjb250ZXh0ljp7ImZpcnNOUGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19 [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [5] Schatz R., Hoßfeld T., Janowski L. & Egger S. From Packets to People: Quality of Experience as a New Measurement Challenge. January 2013. Preuzeto s: https://www.researchgate.net/publication/261259719_From_Packets_to_People_Quality_of_Experience_as_a_New_Measurement_Challenge/link/54a293290cf256bf8bb0be63/download?_tp=eyJjb250ZXh0ljp7ImZpcnNOUGFnZSI6Il9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoicHVibGljYXRpb24iLCJwcmV2aW91c1BhZ2UiOiJfZGlyZW50In19 [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [6] Henderson T. & Bhatti S. Modelling user behaviour in networked games. *Proceedings of the ninth ACM international conference on Multimedia. 30 September 2001 – 5 October 2001. Ottawa, Canada*; Association for Computing Machinery; 2001. pp. 212 – 220. Preuzeto s: <https://www.cs.ubc.ca/~krasic/cpsc538a/papers/p212-henderson.pdf> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [7] Router-switch. *What is 5G?* Preuzeto s: <https://www.router-switch.com/what-is-5g.html> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [8] Postel J. User Datagram Protocol. 1980. Preuzeto s: <https://www.rfc-editor.org/pdf/rfc/rfc768.txt.pdf> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [9] Transmission Control Protocol. University of Southern California. September 1981. Preuzeto s: <https://www.ietf.org/rfc/rfc793.txt> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]

- [10] Horizon Powered. *Best Mobile Hotspot for Gaming*. Preuzeto s: <https://horizonpowered.com/best-mobile-hotspot-for-gaming/> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [11] GameSpot. *World of Warcraft registers 12 million*. Preuzeto s: <https://www.gamespot.com/articles/world-of-warcraft-registers-12-million/1100-6281081/> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [12] World of Warcraft Realm Population. *Hellscream*. Preuzeto s: <https://www.wowrealmpopulation.com/wow-us-realm.php?realm=hellscream> [pristupljeno 10. kolovoza 2024.]
- [13] Johnson L. *'World of Warcraft' Turned Its Auction Houses into Discos for a Day*. Vice, July 2017. Preuzeto s: <https://www.vice.com/en/article/world-of-warcraft-turned-its-auction-houses-into-discos-for-a-day> [pristupljeno 10. kolovoza 2024.]
- [14] PlayerAuctions. *How much is World of Warcraft: Dragonflight Gold worth in Dollars in 2024?* Preuzeto s: <https://www.playerauctions.com/market-price-tracker/wow/> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [15] Daley D. *Wild Rift is the League of Legends for Everyone*. MobileSyrup, April 2021. Preuzeto s: <https://mobilesyrup.com/2021/04/05/league-of-legends-wild-rift-hands-on> [pristupljeno 10. kolovoza 2024.]
- [16] Zhu T. Design Implementation and Performance Optimization of Battle Royale Games. *Proceedings of the International Conference on Global Politics and Socio-Humanities. 13 October 2023*. Communications in Humanities Research. Preuzeto s: <https://www.ewadirect.com/proceedings/chr/article/view/7397/pdf> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [17] Gebhart A. *Rocket League shifts into free-to-play mode on Sept. 23*. CNET, September 2020. Preuzeto s: <https://www.cnet.com/tech/gaming/rocket-league-shifts-into-free-to-play-mode-on-september-23> [pristupljeno 10. kolovoza 2024.]
- [18] Gamesight. *FPS Games Leaderboard*. Preuzeto s: <https://gamesight.io/leaderboards/fps-games> [pristupljeno 11. kolovoza 2024.]
- [19] Asarch S. *Riot Games Reveals 'Valorant' and Here's Everything We Know So Far About the FPS*. Newsweek, March 2020. Preuzeto s: <https://www.newsweek.com/riot-games-reveals-valorant-heres-everything-we-know-so-far-about-fps-1490061> [pristupljeno 11. kolovoza 2024.]
- [20] BattleNet. *StarCraft II*. Preuzeto s: <https://eu.shop.battle.net/en-us/product/starcraft-ii> [pristupljeno 11. kolovoza 2024.]
- [21] SmashWiki. *8-Player Smash*. Preuzeto s: https://www.ssbwiki.com/8-Player_Smash [pristupljeno 11. kolovoza 2024.]
- [22] Oberoi S. *Fifa Vs PES: Which is the Better Football Video Game?* Man's world. Preuzeto s: <https://www.mansworldindia.com/lifestyle/sports/fifa-vs-pes-which-is-the-better-football-video-game> [pristupljeno 2. rujna 2024.]

- [23] Statista. *Most popular puzzle gaming apps worldwide in March 2024, by revenue*. Preuzeto s: <https://www.statista.com/statistics/534194/mobile-in-game-spending-usa-by-game/> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [24] CafeBazaar. *Royal Match*. Preuzeto s: <https://cafebazaar.ir/app/com.dreamgames.royalmatch?l=en> [pristupljeno 11. kolovoza 2024.]
- [25] Baena C. *Gaming in the Cloud: 5G as the pillar for future gaming approaches*. TechRxiv. Preprint; 2022. Preuzeto s: <https://doi.org/10.36227/techrxiv.21665645.v1> [pristupljeno 25. kolovoza 2024.]
- [26] Moon D. *Network Traffic Characteristics and Analysis in Recent Mobile Games*. *Appl. Sci.* 2024, 14, 1397. Preuzeto s: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1397> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [27] Protocol Buffers Documentation. *Protocol Buffers*. Preuzeto s: <https://protobuf.dev/> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [28] DigitalOcean. *HTTP/1.1 vs HTTP/2: What's the Difference?* Preuzeto s: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/http-1-1-vs-http-2-what-s-the-difference> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [29] Che X. & Ip B. *Packet-Level Traffic Analysis of Online Games from the Genre Characteristics Perspective*. Swansea Metropolitan University, UK. Preuzeto s: https://www.research.herts.ac.uk/ws/portalfiles/portal/11267819/Game_Scientific_Research_Elsevier.pdf [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [30] Moll P., Lux M., Theuermann S. & Hellwagner H. *A Network Traffic and Player Movement Model to Improve Networking for Competitive Online Games*. IEEE Press; 2018. Preuzeto s: <https://www-itec.uni-klu.ac.at/bib/files/a1-moll.pdf> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [31] Qualcomm. *Everything you need to know about 5G*. Preuzeto s: <https://www.qualcomm.com/5g/what-is-5g> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [32] Sauter M. *The 1 Millisecond 5G Myth*. WirelessMoves. Preuzeto s: <https://blog.wirelessmoves.com/2015/04/the-1-millisecond-5g-myth.html> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [33] Ludwig R. *Who cares about latency in 5G?* Ericsson. Preuzeto s: <https://www.ericsson.com/en/blog/2022/8/who-cares-about-latency-in-5g> [pristupljeno 18. kolovoza 2024.]
- [34] Wired. *How 5G will revolutionise the future of mobile gaming*. Preuzeto s: <https://www.wired.com/sponsored/story/ericsson-5g-gaming> [pristupljeno 25. kolovoza 2024.]
- [35] euronews. *A new augmented reality app shows the Acropolis as ancient Greeks knew it*. Preuzeto s: <https://www.euronews.com/culture/2023/10/12/a-new-augmented-reality-app-shows-the-acropolis-as-ancient-greeks-knew-it> [pristupljeno 25. kolovoza 2024.]

- [36] Zyber. *What Are The Best VR Ping Pong Games For 2024 And Recommended Accessories*. Preuzeto s: <https://zybervr.com/en-eu/blogs/news/what-is-the-best-vr-ping-pong-games-for-2022-and-recommended-accessories> [pristupljeno 25. kolovoza 2024.]

Popis kratica i akronima

AR	augmented reality, proširena stvarnost
CG	cloud gaming, igranje u oblaku
EC	edge computing
FPS	First Person Shooter
FU	faktori utjecaja
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	Hypertext Transfer Protocol Secure
IoT	Internet of Things, Internet stvari
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMORPG	Massively Multiplayer Online Role-Playing Game
MOBA	Multiplayer Online Battle Arena
OFDM	ortogonalno frekvencijsko multipleksiranje
PvP	Player versus Player, igrač protiv igrača
QoE	Quality of Experience, iskustvena kvaliteta
QoS	Quality of Service, kvaliteta usluge
RTT	round trip time
TCP	Transmission Control Protocol
UDP	User Datagram Protocol

Popis slika

Slika 1. Faktori koji utječu na QoE.....	5
Slika 2. Zadani parametri 5G tehnologije.....	7
Slika 3. Broj aktivnih korisnika u igri World of Warcraft na poslužitelju Hellscream 10.08.2024.....	10
Slika 4. Gužva u aukcijskoj kući u igrici World of Warcraft	11
Slika 5. League of Legends: Wild Rift	12
Slika 6. Fortnite	13
Slika 7. Rocket League.....	14
Slika 8. Valorant	14
Slika 9. Starcraft 2	15
Slika 10. Super Smash Bros	16
Slika 11. FIFA i Pro Evolution Soccer	16
Slika 12. Royal Match	17
Slika 13. Glatkoća igranja u oblaku	18
Slika 14. Responzivnost igranja u oblaku	19
Slika 15. Arhitektura igranja u oblaku	20
Slika 16. Distribucija duljina paketa za MMORPG igru, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu.....	23
Slika 17. Distribucija duljina paketa za puzzle igru s uključenim HTTP zaglavljima, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu	24
Slika 18. Distribucija međudolazaka paketa za MMORPG igru, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu	24
Slika 19. Distribucija međudolazaka paketa za puzzle igru, prikaz prometa od klijenta prema poslužitelju i od poslužitelja prema klijentu	25
Slika 20. Veličina paketa i vrijeme međudolazaka paketa poznatih MMORPG igara	26
Slika 21. Ping prema Fortnite poslužiteljima (1)	27
Slika 22. Ping prema Fortnite poslužiteljima (2)	28
Slika 23. Ping prema Fortnite poslužitelju putem 5G mreže	28
Slika 24. Duljina paketa ovisno o fazama u partiji igre Fortnite	29
Slika 25. Veličine paketa i vrijeme između dolazaka paketa za Online FPS igre	31
Slika 26. Cross-platform igranje	33
Slika 27. Akropola u proširenoj stvarnosti	35
Slika 28. Ping pong u virtualnoj stvarnosti	35

Popis tablica

Tablica 1. Razlike između 4G i 5G	8
Tablica 2. Ključni aspekti mjerenja prometa.....	23
Tablica 3. Veličine paketa i broj paketa po sekundi u igri Fortnite	30

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
Vukelićeva 4, 10000 Zagreb

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad isključivo rezultat mogega vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu, a što pokazuju upotrijebljene bilješke i bibliografija. Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedopušten način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem, također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog/diplomskog rada pod naslovom „Analiza performansi umreženog igranja u mobilnim mrežama pete generacije“ u Nacionalni repozitorij završnih i diplomskih radova ZIR.

U Zagrebu, 5.9.2024

Student:


Krunoslav Petrović