

Analiza performansi Round Robin metode dodjele kapaciteta u višeuslužnim mrežama

Bago, Antonia

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:148424>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-18**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Antonia Bago

**ANALIZA PERFORMANSI ROUND ROBIN METODE
DODJELE KAPACITETA U VIŠEUSLUŽNIM MREŽAMA**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2019.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

DIPLOMSKI RAD

**ANALIZA PERFORMANSI ROUND ROBIN METODE DODJELE
KAPACITETA U VIŠEUSLUŽNIM MREŽAMA**
**PERFORMANCE ANALYSIS OF ROUND ROBIN METHOD FOR
CAPACITY ALLOCATION IN MULTISERVICE NETWORKS**

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin

Studentica: Antonia Bago, 0135 217 519

Zagreb, rujan 2019.

SAŽETAK

U ovom radu provedena je analiza vremena čekanja u čvoru višeslužne (*MultiService Network*) u ovisnosti o broju paketa, duljini paketa te kapacitetu odlaznog kanala. U svrhu analize napravljene su tri simulacije rada čvora višeslužne mreže u kojemu je implementirana metoda dodjele kapaciteta kružnog posluživanja (*Round Robin*). Temeljem proračuna vremena trajanja posluživanja te vremena odlaska paketa iz sustava, odnosno čvora, izračunata su vremena čekanja pojedinog paketa kao i prosječne vrijednosti za svaku simulaciju.

Ključne riječi: višeslužna mreža, komutacijski čvor, *Round Robin*

SUMMARY

In this thesis an analysis of packet waiting time in the MultiService Network node has been conducted, depending on the number of packet, their length and capacity of the outgoing link. Three simulations of MSN node performance with implemented Round Robin queue scheduling discipline have been made. Based on the serving time and serving ending time of each packet that has arrived at the node, it has been calculated the expected waiting time of each packet and the average value for every simulation.

Keywords: MultiService Network, comutation node, Round Robin

SADRŽAJ

1.	UVOD.....	1
2.	KARAKTERISTIKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA.....	3
2.1.	Razvoj višeuslužnih mreža.....	4
2.2.	OSI referentni model.....	5
2.3.	TCP/IP protokolni složaj.....	6
2.3.1.	TCP protokol.....	7
2.3.2.	IP protokol.....	8
2.4.	Protokoli u višeuslužnim mrežama.....	8
2.4.1.	SIP (Session Initiation Protocol).....	8
2.4.2.	RTCP (Real Time Control Protocol).....	9
2.4.3.	Signalizacijski protokoli.....	9
3.	ULOGA KOMUTACIJSKOG ČVORA VIŠEUSLUŽNE MREŽE.....	11
3.1.	Pojam čvora.....	11
3.2.	Vrste čvorova.....	11
3.3.	Fizička topologija čvorova u računalnim mrežama.....	12
3.4.	Komutacija informacija.....	13
3.4.1.	Komutacija kanala.....	14
3.4.2.	Komutacija paketa.....	15
4.	ZNAČAJKE METODE POSLUŽIVANJA ROUND ROBIN.....	17
4.1.	Općenito o metodama posluživanja.....	17
4.2.	Round Robin.....	18
4.3.	Weighted Round Robin.....	20
4.4.	Deficit Round Robin.....	22

5.	GENERIRANJE ULAZNOG TOKA ČVORA PAKETNE MREŽE.....	23
6.	ANALIZA PROSJEČNOG VREMENA ČEKANJA OVISNO O RAZLIČITIM PROMETNIM OPTEREĆENJIMA.....	28
6.1.	Analiza prometnih opterećenja po klasama i simulacijama	28
6.2.	Analiza distribucije vremena čekanja pojedinih klasa kroz simulacije.....	30
6.2.1.	Distribucije vremena čekanja u prvoj simulaciji.....	30
6.2.2.	Distribucije vremena čekanja u drugoj simulaciji	33
6.2.3.	Distribucije vremena čekanja u trećoj simulaciji	35
6.3.	Analiza vremena čekanja s obzirom na prometno opterećenje	38
7.	ZAKLJUČAK.....	41

1. UVOD

U današnje vrijeme svijet se bazira na modernim tehnologijama. Za internet bi se možda moglo reći da je najveći i najbolji izum ikada. Pokriva širok spektar usluga koje su u ljudskim interesima; od komuniciranja, učenja preko poslovanja, kupnje do zabave i razonode. Kako bi se sve te funkcije mogle nesmetano odvijati, potrebne su tehnologije koje će i omogućiti nesmetano korištenje određenih usluga. Mnogi znanstvenici rade na poboljšanju mreža koje ostvaruju mogućnost korištenja raznih usluga. U tom slučaju bitan je svaki segment, od najmanjeg do najvećeg. Tako se dolazi i do segmenta komutacijskog čvora koji ima veoma bitnu ulogu u ostvarenju rada mreže.

U ovom radu će se analizirati performanse mrežnog komutacijskog čvora kada se primjenjuje metoda dodjele kapaciteta *Round Robin* (RR). Definirat će se ulazni podatci točnije klase prometnih tokova, svaki s određenim brojem paketa, za koje će se izračunati vrijeme čekanja. Kroz tri simulacije mijenjat će se prometno opterećenje (ρ) koje će pokazati kako ono utječe na prosječno vrijeme čekanja. Na temelju rezultata vidjet će se performanse komutacijskog čvora.

Diplomski rad nosi naziv „Analiza performansi Round Robin metode dodjele kapaciteta“ i sastoji se od sljedećih poglavlja:

1. Uvod
2. Karakteristike višeslužnih mreža
3. Uloga komutacijskog čvora višeslužne mreže
4. Značajke metode posluživanja *Round Robin*
5. Generiranje ulaznog toka čvora paketne mreže
6. Analiza prosječnog vremena čekanja paketa ovisno o različitim prometnim opterećenjima
7. Zaključak.

U drugom poglavlju objašnjene su karakteristike višeslužnih mreža i njihov razvoj. Prikazana je i arhitektura mreža kroz OSI (eng. *Open System Interconnection*) model i TCP/IP (eng. *Transmission Control Protocol - TCP*, eng. *Internet Protocol - IP*) protokolni složaj te opisani značajniji protokoli u mreži.

Treće poglavlje pojašnjava komutacijski čvor i njegovu ulogu. Također opisuje i vrste komutacije koje postoje i koje se koriste u telekomunikacijskim i računalnim sustavima.

U četvrtom poglavlju opisane su metode posluživanja paketa u komutacijskom čvoru. Nadalje se objašnjava metoda dodjele kapaciteta po imenu *Round Robin*, te njegove modifikacije *Weighted Round Robin* te *Deficit Weighted Round Robin*.

U petom poglavlju opisane su značajke koje su korištene u analiziranju metode *Round Robin*.

Šesto poglavlje prikazuje rezultate analize vremena čekanja kroz tri različite simulacije. U svakoj simulaciji nalaze se po četiri prometne klase s određenim brojem paketa. Cilj analize i istraživanja bilo je prikazivanje vremena čekanja s obzirom na prometno opterećenje.

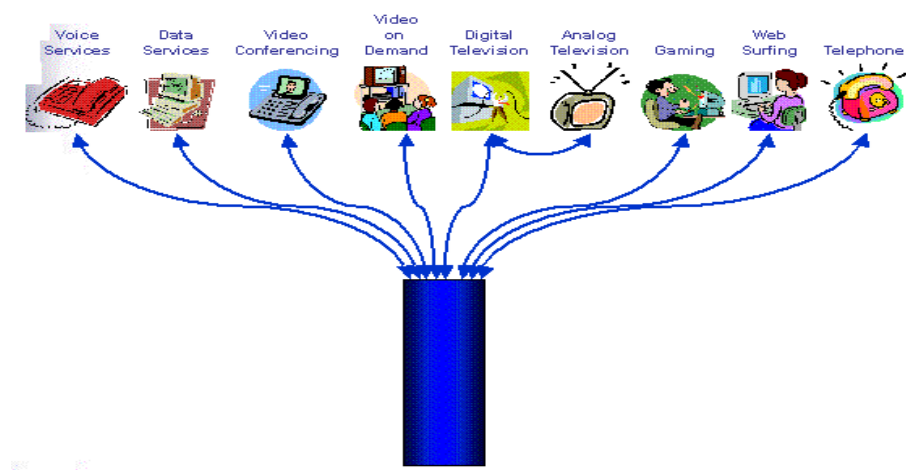
U sedmom poglavlju iznosi se zaključak o istraživanju koji predstavlja i posljednji dio rada.

2. KARAKTERISTIKE VIŠEUSLUŽNIH MREŽA

Višeuslužna mreža (eng. *Multi-service network*), također i mreža nove generacije (eng. *Next Generation Network - NGN*), jedinstvena je telekomunikacijska infrastruktura koja se koristi za prijenos velikog broja informacija u više različitih formata (govor, slika, video, pokretna slika itd.), kao što je prikazano na slici 1. Takva mreža podrazumijeva velike brzine prijenosa koje su i do desetak puta veće od brzina tradicionalnih klasičnih mreža. Kako je prikazano na slici 1, tehnologija višeuslužnih mreža omogućuje povezivanje velikog broja korisnika na jedinstvenu širokopoljansku mrežu koja podržava sve vrste usluga, od brzog pristupa internetu, TV emitiranja, preko IP telefonije i organizacije kućne ili poslovne mreže do raznih multimedijских usluga, [1].

Cilj takvih mreža nije samo mogućnost prijenosa različitih tipova usluga nego i sposobnost mreže da podrži različite aplikacije bez ugrožavanja kvalitete usluge (eng. *Quality of Service - QoS*) bilo koje od njih, [2].

U suprotnosti s višeuslužnim mrežama, klasične mreže kreirane su za prijenos samo jedne vrste usluge, kao što je naprimjer telefonska mreža koja nudi uslugu prijenosa govora. Iako je s razvojem tehnologije telefonska mreža (eng. *Public Switched Telephone Network - PSTN*) osim prijenosa govornog prometa, razvila mogućnost prijenosa i internet prometa, ona se i dalje ne svrstava u razred višeuslužnih mreža budući da nije dizajnirana s tim ciljem, [3].



Slika 1. Višeuslužna mreža, [4]

2.1. Razvoj višeslužnih mreža

Ideje o razvoju novog tipa mreže pojavile su se 80-ih godina prošlog stoljeća. Izgradnja infrastrukture za svaku uslugu zasebno kao i nadogradnja postojećih mreža iziskivali su prevelike troškove, a osim toga došlo se do zaključka kako su resursi takvih zasebnih mreža nedovoljno iskorišteni. Ključ za rješavanje tog problema ležao je u izgradnji jedinstvene infrastrukture koja bi imala mogućnost podržati više različitih usluga.

Smjernice za razvoj takve infrastrukture donijeli su Međunarodna telekomunikacijska unija ITU-T (eng. *International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector*) te forum ATM (eng. *Asynchronous Transfer Mode*) zajedno s ostalim standardizacijskim tijelima. Zajedničkim snagama donijeli su niz preporuka za implementaciju inteligentnih mreža koje se baziraju na optici čime su se uklonili postojeći nedostaci, a mreža unaprijedila i poboljšala. Između ostalog za razvoj takve mreže nužno je bilo donijeti nove standarde za transmisiju (eng. *Synchronous Optical Network - SONET*), multipleksiranje (eng. *Synchronous Digital Hierarchy - SDH*) te za komutaciju (eng. *switching*) ATM standard.

Mreža u kojoj su operatori započeli implementaciju ATM jezgrene mreže dobila je naziv ISDN (eng. *Integrated Services for Digital Network*), a omogućavala je usluge digitalnog prijenosa podataka i govora. Pored ATM-a, koristila se i prijenosna tehnologija komutacije kanala FR (eng. *Frame Relay*).

Iako smatrana višeslužnom mrežom, ponajprije zbog ugrađenih QoS mehanizama, ATM mreža nije bila dizajnirana za prijenos IP datagrama. S vremenom se u ATM implementirao transport IP prometa, a ATM komutaciju zamijenio Ethernet. Time se omogućio razvoj LAN (eng. *Local Area Network*) mreža. Daljnjim razvojem višeslužnih mreža ATM je dobio mjesto u jezgrenoj mreži a Ethernetu su pridruženi IP, VPN (eng. *Virtual Private Network*), MPLS (eng. *MultiProtocol Label Switching*) i ostale tehnologije temeljene na IP-u. Time je stvorena mreža koja mnogo učinkovitije obavlja prijenos IP datagrama, [5].

2.2. OSI referentni model

Internacionalna organizacija za standardizaciju ISO (eng. *International Organization for Standardization*) 1977. godine pokrenula je razvoj referentnog modela za povezivanje otvorenih računalnih sustava i međusobnu razmjenu sadržaja - OSI model. OSI model nastao je iz potrebe drugačijeg pristupa telekomunikacijskim mrežama koji je uzrokovan razvojem višeslužnih mreža čija arhitektura nije bila jednostavna kao kod klasičnih jednouslužnih mreža.

Model predstavlja koncepciju slojevitog strukturiranja gdje se komunikacijski sustav promatra u okruženjima i razlaže na određeni broj slojeva od kojih svaki sadrži jedan ili više protokola i obavlja funkciju za koju je zadužen. Primarni je model koji se koristi kao smjernica za mrežne komunikacije, definira radnje koje se događaju na različitim slojevima mreže te je okosnica koja olakšava razumijevanje putovanja informacija kroz mrežu. Glavni nedostatak koji čini ovaj model referentnim je nepostojanje konkretnih standarda.

OSI model se sastoji od sedam slojeva od kojih svaki ima svoju zadaću, a zajedno omogućavaju prikaz prenesenih podataka, signalizaciju, autorizaciju i otkrivanje pogrešaka prenesenog sadržaja. Slojevi modela i njihova zadaća navedeni su u nastavku, [6].

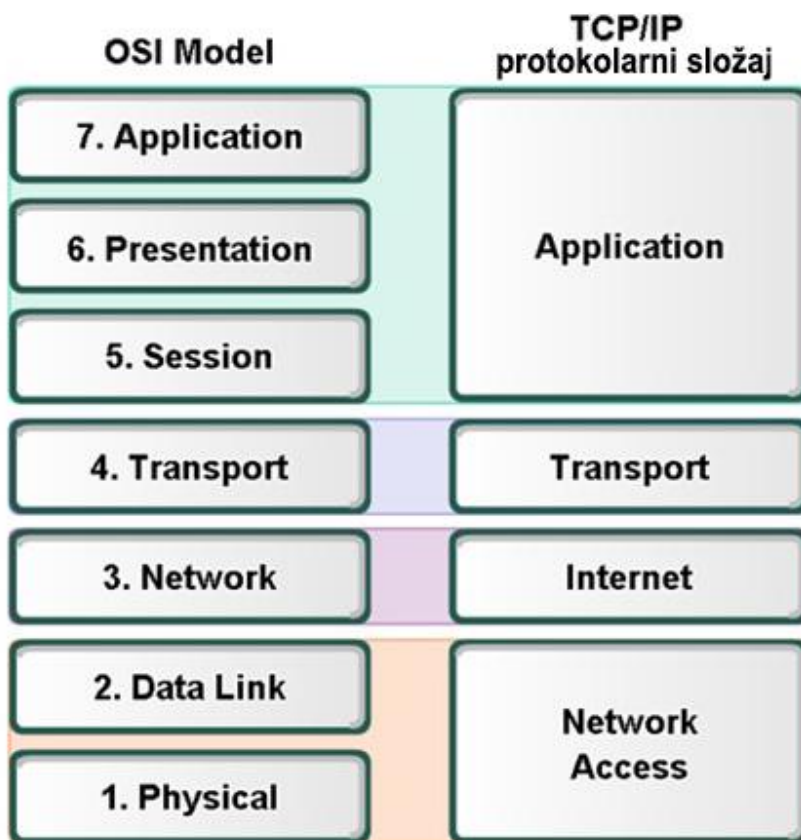
1. Fizički sloj (eng. *physical layer*) koji je najniži sloj ovog modela, sustav je hardverske razine koji ostvaruje prijenos nizova bitova između dvaju čvorova, odnosno između elemenata koji te čvorove vezuju na mrežu. Prije slanja susjednom čvoru, bitovi se uređuju u zadane strukture i kao takvi nose naziv okviri (eng. *frames*). Može se reći da je okvir neka vrsta paketa niže razine koji ima ugrađeno zaglavlje s adresom čvora kojem će biti upućen. Adresa u zaglavlju nije tipična logička IP adresa nego jednostavna fizička adresa.
2. Podatkovni (eng. *data-link layer*) sloj omogućava pouzdan prijenos podataka preko fizičkog linka. Osim toga, ovaj sloj se bavi pitanjima fizičkog adresiranja, mrežne topologije i mrežnog pristupa te se na njemu obavlja kontrola greške, odnosno osiguravanje detekcije i korekcije greške te se provjerava integritet prispjelog paketa na odredištu.

3. Mrežni sloj (eng. *network layer*) ima zadatak prijenosa paketa između krajnjih stanica, točnije između izvorišta i odredišta. S obzirom da fizički i podatkovni sloj uspostavljaju veze i prenose okvire (pakete) samo između dva direktno povezana čvora, potrebno je definirati cjeloviti put paketa podataka kroz mrežu i upravo to obavlja mrežni sloj.
4. Transportni sloj (eng. *transport layer*) najprikladniji naziv ovog sloja bio bi „Upravljanje prijenosom“ ili „Kontrola prijenosa“ budući da se ne bavi transportom podataka nego je usmjeren na upravljanje tokom podataka. Osim upravljanja tokom, transportni sloj obavlja i kontrolu ispravnosti prijenosa.
5. Sloj sesije (eng. *session layer*) povezuje različite sadržaje koji su dio iste komunikacije. Primjerice, ako je u pitanju prijenos video snimke, ovaj sloj bi trebao ujediniti video i audio sadržaj na prijemnoj strani.
6. Prezentacijski sloj (eng. *presentation layer*) rješava probleme koji mogu nastati zbog različitih načina zapisivanja sadržaja na prijemnoj i na odredišnoj strani. Sadržaji poput boja i brojeva mogu se zapisati na različite načine, stoga prezentacijski sloj brine o ispravnom prikazu na terminalu primatelja.
7. Aplikacijski sloj (eng. *application layer*) je sloj na kojemu rade aplikacije koje korisnicima pružaju razne mogućnosti rada s računalnom mrežom. Postoji veliki broj aplikacija, i on neprestano raste, a izdvojiti se mogu aplikacije e-pošte te aplikacije za rad sa web stranicama.

2.3. TCP/IP protokolni složaj

TCP/IP protokolni složaj predstavlja slojevitú arhitekturu Interneta, odnosno obitelj komunikacijskih protokola za povezivanje mrežnih uređaja. Naziv modela potječe od dva najvažnija protokola u modelu: TCP i IP. TCP/IP složaj specificira način razmjene podataka putem Interneta pružajući komunikaciju od kraja do kraja koja identificira načine na koji bi

pakete trebalo adresirati, prenijeti, usmjeravati i primiti na odredištu. Od OSI modela razlikuje se ponajprije po broju slojeva te po ulogama pojedinog sloja kao što je prikazano na slici 2. TCP/IP protokolni složaj čine četiri sloja: korisnički sloj, prijenosni sloj, internet sloj te sloj pristupa mreži.



Slika 2. Usporedba TCP/IP protokolnog složaja i OSI RM modela, [8]

2.3.1. TCP protokol

TCP je spojni, prijenosni mrežni protokol koji garantira pouzdanu isporuku podataka od izvorišta do odredišta. Konekcijski je orijentiran, što znači da prije slanja podataka uspostavlja logičku vezu između aplikacija. Osim toga, TCP ima mogućnost uspostave višestrukih istovremenih konekcija prema jednoj aplikaciji od strane više korisnika. Budući da zbog zaštitnih mehanizama koji su implementirani u mrežu ne tolerira gubitke, značajna odlika ovog protokola je pouzdanost. To podrazumijeva poruke s kraja na kraj kojima se potvrđuje isporuka paketa i

ako se primitak ne potvrdi, paket se šalje iznova. Potvrda o isporuci paketa ujedno jamči i autentičnost prenesenih podataka.

2.3.2. IP protokol

Internet protokol mrežni je protokol za prijenos podataka kojeg koriste izvorišna i odredišna računala kako bi uspostavili podatkovnu komunikaciju putem računalne mreže. On definira strukturu paketa podataka koji se prenose mrežom, adresni prostor¹ u kojem se paketi kreću te način prosljeđivanja (usmjeravanja) paketa kroz mrežu. Podaci se šalju u formi datagrama, a specifičan je zbog mogućnosti fragmentacije² i defragmentacije datagrama kao i zaštitnog koda kojeg koristi samo prilikom detekcije datagrama s pogreškom. IP se, dakle, uglavnom koristi za prijenos dok kontrolu o datagramima prepušta višim slojevima.

2.4. Protokoli u višeuslužnim mrežama

2.4.1. SIP (Session Initiation Protocol)

SIP je protokol razvijen u svrhu kreiranja, promjene i prekida višemedijskih sesija ili poziva između dva ili više sudionika, lociranja korisnika i preusmjeravanja poziva, omogućavanja mobilnosti preusmjeravanjem poziva, upotrebom *proxy* poslužitelja. Razvijen je od strane IETF-a (eng. *Internet Engineere Task Force*), međutim, prihvaćen je i od ostalih standardizacijskih tijela kao glavni protokol u višemedijskim domenama 3G mobilnih sustava, *IP Multimedia Subsystem* (IMS), te kao okosnica mreža sljedeće generacije (NGN).

Temeljen je na HTTP (eng. *hyper text transfer protocol*) transakcijskom modelu zahtjeva i odgovora. SIP se ne koristi za opis obilježja sesije, nego tijelo SIP poruke nosi karakteristike sesije za čiji se opis koristi SDP (eng. *Session Description Protocol*) protokol ili neki drugi protokol razvijen u tu svrhu. Važna karakteristika koja SIP predstavlja kao učinkovit protokol je

¹ Adresni prostor podrazumijeva način adresiranja čvorova.

² Ako je veličina paketa koji se prenosi kroz mrežu prevelika, on se rastavlja na manje dijelove i pakira u manje pakete koje će mreža lakše prenijeti. Taj postupak se naziva fragmentacija, dok se ponovno sastavljanje malih paketa u jedan veliki na odredištu naziva defragmentacija.

razdvajanje funkcije upravljanja uspostavom sesije od ugovaranja karakteristika sesije, budući da se može koristiti za uspostavljanje bilo kojeg tipa sesije. SIP je zajedno s drugim IETF protokolima sastavni dio arhitekture koja u potpunosti omogućava multimedijalne usluge. Budući da je kreiran za uspostavu sesije, SIP ne može ponuditi garanciju kvalitete usluga stoga su potrebni drugi protokoli koji će se za to pobrinuti, [3].

2.4.2. RTCP (Real Time Control Protocol)

RTCP kontrolni je protokol koji služi za prijenos vremenski osjetljivih prometnih tokova. Temelji na periodičkoj razmjeni kontrolnih paketa između svih sudionika sesije koristeći iste mehanizme distribucije koji se koriste i za prijenos podataka. RTCP ne garantira QoS za vremenski osjetljive usluge nego se za ovu funkciju moraju koristiti protokoli koji se nalaze ispod TCP-a u protokolarnom složaju.

Primarna funkcija RTCP protokola je osiguranje povratne informacije o kvaliteti prijema vremenski osjetljivih podataka uporabom izvještaja pošiljatelja (eng. *Sender Report*, SR) i izvještaja primatelja (eng. *Receiver Report*, RR). Korištenjem ovih upravljačkih poruka RTCP protokol obavlja prikupljanje i razmjenu statističkih podataka kao što su ukupan broj prenesenih RTP paketa i okteta, ukupan broj izgubljenih RTP paketa, kašnjenje paketa i slično, [3].

2.4.3. Signalizacijski protokoli

Ključni izazov u višeuslužnim mrežama predstavlja osiguranje kvalitete usluge (QoS) za krajnje korisničke aplikacije uz učinkovito i pametno iskorištavanje mrežnih resursa. Prethodno opisana dva protokola osiguravaju uspostavu veze i prijenos podataka u mreži, međutim, nisu zaduženi za osiguravanje QoS-a u IP mrežama. Skalabilno rješenje koje se pojavljuje za ostvarenje željene kvalitete i osigurava višestruke klase unutar mreže je arhitektura diferenciranih usluga (eng. *Differentiated Services*, skraćeno *DiffServ*) u kombinaciji s MPLS tehnologijom.

DiffServ arhitektura pruža efikasno i skalabilno rješenje koje osigurava QoS na temelju klasificiranja prometa u definirani skup klasa usluga. Definicije klasa usluga se temelje na karakteristikama različitih vrsta prometa i zahtijevanim performansama aplikacija/usluga.

Specifični zahtjevi prometnih tokova se realiziraju primjenom DSCP (eng. *Differentiated Services Code Point*) klasificiranja prometa, kondicioniranja prometa, PHB (eng. *Per Hop Behavior*) i AQM (eng. *Active Queue Management*) mehanizama.

U MPLS mreži postoje tri signalizacijska protokola koja su standardizirana za korištenje, a to su: LDP (eng. *Label Distribution Protocol*), CR-LDP (eng. *Constraint-based Routing Label Distribution Protocol*) te RSVP-TE (eng. *Resource Reservation Protocol – Traffic Engineering*). U ispunjavanju QoS zahtjeva dominiraju CR-LDP i RSVP-TE protokoli jer omogućavaju funkcionalnosti kao što su uspostava LSP-a (eng. *Label Switched Path*), rezervacija propusnog opsega za LSP te mehanizme FRR (eng. *Fast Rerouting*), [8].

3. ULOGA KOMUTACIJSKOG ČVORA VIŠEUSLUŽNE MREŽE

3.1. Pojam čvora

Dva osnovna elementa čine strukturu komunikacijske mreže a to su: mrežni čvorovi i grane, nešto poznatije pod imenom „linkovi“ (engl. *links*). Mrežni čvorovi međusobno su povezani u mrežu s pomoću glavnih grana, a krajnji se uređaji s čvorovima povezuju prijenosnim granama.

U mrežne čvorove implementirane su funkcije komutiranja i usmjeravanja prometnih tokova. Komutacija ili prospajanje (*switching*) u svijetu telekomunikacija podrazumijeva postupak kojim se informacija prenosi s kraja na kraj mreže, odnosno postupak kojim se informacija prenosi od predajnika do prijemnika. Funkciju komutiranja obavlja uređaj koji se naziva komutacijski čvor ili komutator. Čvorišta su mrežni elementi u kojima se koncentriraju, križaju, slijevaju ili odlijevaju prometni tokovi. Zadaća komutacijskih čvorova jest međusobna razmjena informacija o smjerovima koji su raspoloživi za prijenos informacija do odredišta te o prijenosnim kapacitetima koji su dostupni na tim smjerovima. Ključno obilježje čvorova je naizmjenično korištenje kapaciteta, a glavno načelo je da se prometni tokovi ne smiju međusobno ometati, [9].

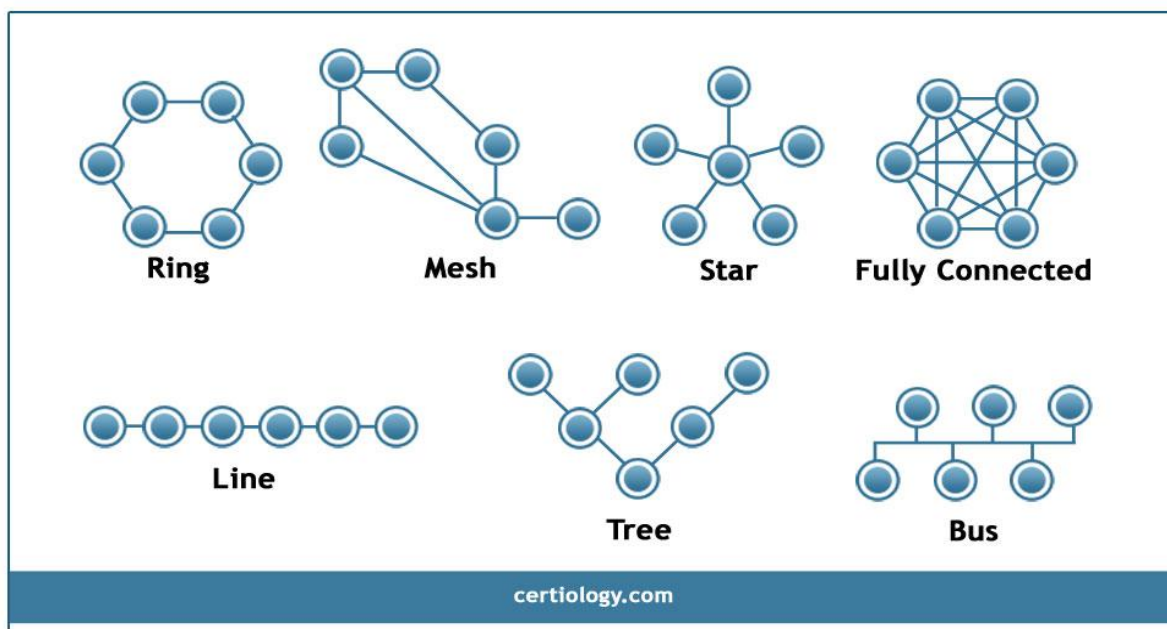
3.2. Vrste čvorova

U osnovi postoje dvije vrste čvorova i to čvorovi koji se nalaze u unutrašnjosti mreže i imaju funkciju usmjeravanja te rubni čvorovi koji se, kao što im samo ime kaže, nalaze na samim rubovima mreže. Uloga unutrašnjeg čvora može biti dodijeljena različitim mrežnim uređajima kao što su preklopnici (eng. *switches*), usmjerivači (eng. *routers*), mostovi (eng. *bridges*) i vrata (eng. *gateways*). Svaki od njih ima svoj položaj i posebnu ulogu u mreži. Čvorove koji se nalaze na rubovima mreže često se naziva host-čvorovima (domaćinima) jer na njima rade raznovrsni serveri na koje se spajaju korisnici te tako postaju dio mreže. Prema tome, unutrašnji čvorovi nude i obavljaju prijenos a rubni čvorovi koriste te usluge prijenosa, [6].

3.3. Fizička topologija čvorova u računalnim mrežama

Mrežna topologija definira nekoliko kategorija prema kojima se mogu utvrditi sastavni dijelovi mreže. Baziranjem na te kategorije, mreže je moguće razložiti na manje dijelove te na temelju toga napraviti raspored njenih elemenata. Podjela mrežne topologije najčešće se odnosi na fizičku i logičku topologiju. Mrežna topologija opisuje raspored i veze između pojedinih čvorova ali i putanju podataka u mreži.

Fizička topologija daje sliku fizičkog rasporeda čvorova u mreži, stoga postoji nekoliko različitih vrsta topologije što i prikazuje slika 3.



Slika 3. Fizička topologija čvorova, [11]

Ring topologija sastoji se od čvorova od kojih je svaki povezan samo s dva susjedna čvora, s jedne i druge strane, a prvi i posljednji međusobno su povezani tako da čine fizički prsten. U ovakvoj mreži podaci putuju u krug od čvora do čvora uglavnom samo u jednom pravcu. Osim uobičajene ring topologije, postoji i dvostruka (eng. *dual-ring*) topologija u kojoj među čvorovima postoji dvostruka veza. Koristi se samo jedan prsten dok drugi služi kao *backup* u slučaju kvara na prvom.

Mesh topologija sastoji se od čvorova koji mogu imati direktne veze s više ili sa svim čvorovima ako se radi o *full mesh* topologiji. *Full mesh* topologija je presložena i preskupa za

primjenu stoga se koristi samo na mjestima na kojima je nužna, i tada obično nema veliki broj čvorova koji se međusobno moraju povezati.

Star topologija je topologija koja na sredini sadrži središnji čvor (koncentrator) na kojeg su ostali čvorovi u mreži spojeni direktno čineći tako izgled zvijezde. Međusobna komunikacija čvorova odvija se kroz središnji čvor čija je uloga najčešće dodijeljena *switch*-u, a nešto rjeđe i *hub*-u. *Hub* se koristi rjeđe iz razloga što preko huba istovremeno mogu komunicirati samo dva čvora, za razliku od *switcha* koji omogućava istovremenu komunikaciju više parova čvorova.

Tree topologija također sadrži centralni čvor koji je u najvišem hijerarhijskom rasporedu čvorova. Ostali čvorovi nalaze se na nižim slojevima, a svaki od tih čvorova mogu imati još niže podslojeve. Potrebna su najmanje tri sloja čvorova kako bi se ostvarila tree topologija.

Bus topologija sastoji se od centralnog vodiča na koji su spojeni čvorovi koji komuniciraju. Kako bi se onemogućila refleksija ili odbijanje signala centralni vodič ima dva kraja koji moraju biti pravilno terminirani. Podaci koji se razmjenjuju šalju se preko centralnog vodiča te na taj način svaki čvor ima doticaj sa svim podacima, a prestanak rada jednog čvora znači i prestanak rada cijele mreže.

3.4. Komutacija informacija

Pri prijenosu informacija od izvorišta ka odredištu obavlja se prijenos informacijskih tokova, odnosno proces transmisije, i usmjeravanje tih tokova prema zahtijevanom odredištu što se naziva proces komutacije. Komutacija obuhvaća skup svih zahtjeva i aktivnosti koji se postavljaju pred komunikacijski sustav, konkretnije pred komutacijski čvor, kako bi se uspostavili željeni spojni putovi odnosno kako bi se podaci uspješno prenijeli od izvorišta do odredišta. Osim ovih osnovnih zahtjeva, komutacijski čvor mora zadovoljiti i neke druge zahtjeve kao što su naprimjer kvaliteta ostvarene veze i brzina prijenosa.

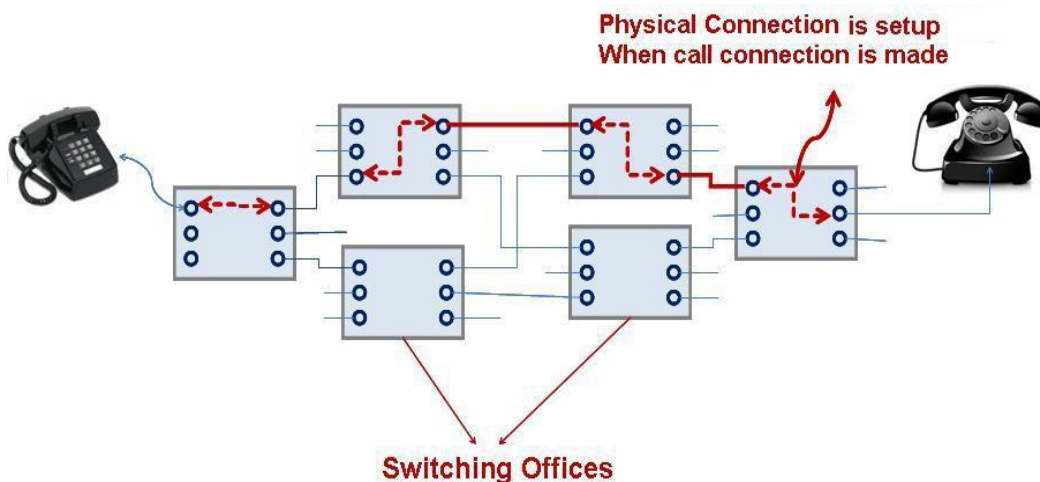
Proces komutacije ima dvije osnovne funkcije: funkciju odlučivanja, odnosno procesiranja korisničkog zahtjeva i funkciju prospajanja. S obzirom na funkcije koje se obavljaju u komutacijskom sustavu razlikuju se direktni komutacijski sustavi (koncentrirano prospajanje i odlučivanje) i indirektni komutacijski sustavi (samo prospajanje), [10].

Pored toga, postoje i dva osnovna načina prijenosa informacija kroz mrežu stoga se razlikuju dva principa komutacije:

- Komutacija kanala ili *circuit switching*
- Komutacija paketa ili *packet switching*.

3.4.1. Komutacija kanala

Komutacija kanala podrazumijeva uspostavu spojnog puta (kanala) prilikom svake uspostave veze. To bi značilo da se između dva korisnika uspostavlja veza koja traje za cijelo vrijeme trajanja poziva, pri čemu nije bitno šalju li se informacije ili ne, kao što prikazuje slika 4. Veza koja se uspostavlja ima fiksnu pojasnu širinu što znači da se rezervira fiksni prijenosni kapacitet koji ostaje zauzet cijelo vrijeme trajanja poziva. Po završetku poziva prekida se veza kao i uspostavljeni kanal. Prednosti ovakvog načina komutacije su garancija kvalitete usluge, upravo zbog „ugovaranja“ fiksnog prijenosnog kapaciteta i brzine te malo kašnjenje informacija. Što se tiče nedostataka, mogu se istaknuti brzine koje su jednake za sve veze kao i to što se rezervirani kapacitet pojasne širine ne može koristiti za više veza istovremeno. Ti nedostaci dovode do loše iskoristivosti spojnih vodova što nikako ne doprinosi razvoju višeslužnih mreža. Komutacija kanala prvenstveno je dizajnirana za prijenos govornih usluga i još uvijek se koristi u telekomunikacijskim mrežama.



Slika 4. Komutacija kanala, [12]

3.4.2. Komutacija paketa

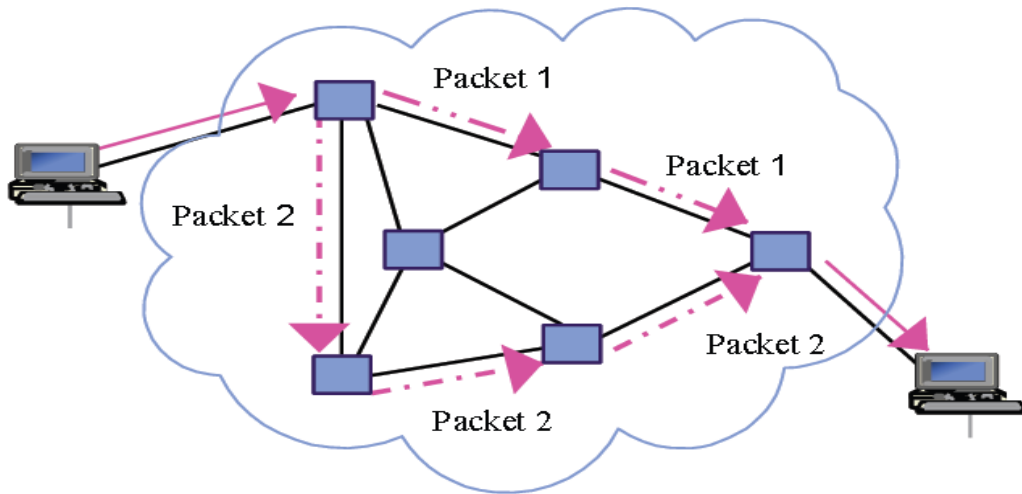
Paketski komutacijski sustavi primjenjuju se kod paketskog načina prijenosa informacija te statističkog multipleksiranja informacija. Informacija, odnosno podatak koji se želi prenijeti formira se u oblik paketa kojemu se dodaje upravljačka informacija. Paket se sastoji od korisničkog i upravljačkog dijela. Upravljački dio sadrži informacije o usmjeravanju i informacije potrebne za prijenos paketa. Osim tih informacija, u upravljačkom dijelu se nalaze i informacije potrebne za defragmentaciju (ponovno sastavljanje) paketa na odredištu, budući da se podaci koji su preveliki rastavljaju i pakiraju u više manjih paketa.

Postoje dva pristupa komutaciji paketa, a to su datagrami i virtualne veze, koji se vežu za spojno i nespojno orijentirane paketske mreže. Razlika između spojno i nespojno orijentiranih paketskih mreža je u tome uspostavlja li se spojni put prije slanja paketa ili ne.

Kada se govori o prijenosu datagrama, tada svaki paket putuje neovisno o prethodnom, a svako čvorište u mreži ima mogućnost odluke o načinu usmjeravanja paketa. Odluke o usmjeravanju pojedini čvor donosi na temelju informacija prikupljenih od susjednih čvorova. Ista odredišna adresa na paketu u ovom slučaju ne znači i isti put kroz mrežu, nego oni mogu putovati različitim putanjama. Prijenos datagrama može se uočiti na slici 5.

S druge strane, prvi korak kod slanja paketa putem virtualnih veza podrazumijeva uspostavu virtualnog puta od izvorišta do odredišta prije slanja prvog paketa. Nakon uspostave puta, svi paketi koji se šalju putuju istom putanjom. Čvor ne donosi odluku o ruti paketa tijekom slanja već se odluka donosi ranije - pri uspostavljanju virtualnog puta. Unatoč tome, svaki paket sadrži virtualni identifikator na temelju kojeg pojedini čvor usmjerava paket. Ovaj način komutiranja karakterističan je kod ATM komutacije virtualnih kanala.

Paketski komutacijski sustavi inicijalno su bili korišteni za podršku podatkovnim uslugama, međutim s trendom konvergencije mreža, ovi sustavi postali su dominantni u modernim telekomunikacijskim mrežama.



Slika 5. Komutacija paketa, [13]

4. ZNAČAJKE METODE POSLUŽIVANJA ROUND ROBIN

4.1. Općenito o metodama posluživanja

Do zagušenja prometa prilikom prijenosa informacija dolazi kada kapacitet usmjerivača premašuje propusnost linka ili onda kada je količina paketa koji dolaze na obradu značajno veća od količine paketa koja je obrađena i odlazi iz čvora. To rezultira kašnjenjima u isporuci i uzaludno utrošenom kapacitetu zbog blokiranih i izgubljenih paketa. Kako je otprije poznato, primarna uloga usmjerivača je prijenos paketa kroz mrežu. No, osim prosljeđivanja paketa usmjerivači su također uključeni i u kontroliranje zagušenja u mreži. Algoritmi usmjeravanja usredotočeni su na dvije stvari, a to su upravljanje redovima čekanja i načinom obrade paketa. Ti algoritmi često se nazivaju metodama ili disciplinama posluživanja, a koriste se za raspodjelu kapaciteta između više različitih prometnih tokova i imaju veoma bitnu ulogu u prijenosu informacija kroz mrežu.

Postoji mnoštvo metoda posluživanja, a neke od njih su: FIFO (eng. *First-In-First-Out*), LIFO (eng. *Last-In-First-Out*), PQ (eng. *Priority Queuing*), SST (eng. *Shortest Service Time*), RR (eng. *Round Robin*), WFQ (eng. *Weighted Fair Queuing*) i drugi. U nastavku su ukratko opisane neke od poznatijih i češće korištenih metoda.

Metoda FIFO, također poznata i pod nazivom FCFS (eng. *First Come First Served*) je jedna od osnovnih metoda upravljanja redovima. Radi na način da se najprije poslužuje paket koji je prvi došao u podvorbenu sustav, odnosno onaj koji ima najdulje vrijeme čekanja. Ne tolerira prioritete niti obavlja kategorizaciju prometnih tokova. U trenucima zagušenja mreže, pakete sprema u međuspremnik sve dokle se kapaciteti mreže ne oslobode, a potom ih poslužuje po redoslijedu prema kojem su došli u međuspremnik. Katkad se događa da zagušenje traje predugo i kapacitet međuspremnika se napuni, pa se paketi koji ne mogu doći u memoriju tih spremnika odbacuju.

PQ metoda, s druge strane, prioritetnom prometnom toku daje prednost nad drugim tokovima a samim time i najbolju razinu posluživanja. Princip rada je svrstavanje prometnih tokova u klase kojima se dodjeljuje određena razina prioriteta. Prva klasa uglavnom ima najveći prioritet, paketi iz te klase bivaju uvijek prvi posluženi a zatim redom ostale klase s nižim prioritetima. Ako se u

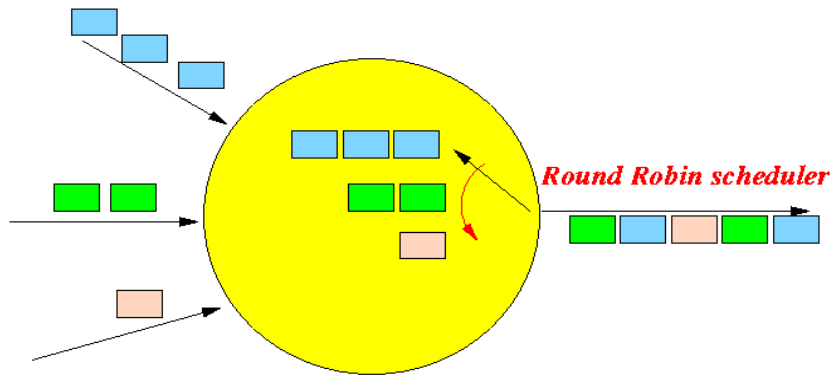
trenutku posluživanja niže klase pojavi paket s višim prioritetom, može doći do prekida posluživanje trenutne klase i preuzimanja prioritetne, ovisno o mehanizmu ili se pak, čeka dok se posluživanje niže klase završi, a zatim se ustupi usluga višoj klasi paketa. Mogućnost odbacivanja velikog broja paketa iz niže klase zbog velikog broja prioriteta nedostatak je ove metode stoga se ona uglavnom kombinira s mehanizmima za ograničavanje kapaciteta prioritetnom prometu.

WFQ obavlja razvrstavanje paketa prema izvorišnoj i odredišnoj IP adresi, TCP ili UDP³ (eng. *User Datagram Protocol*) portu na izvorišnoj ili odredišnoj strani i na taj način stvara grupe paketa koje “pripadaju” istom prometnom toku. Svaki tok potom dobiva jednak udio propusnosti što objašnjava engleski naziv ove discipline koji u prijevodu znači “pravedno čekanje”. Pravedno čekanje u obzir uzima veličinu paketa jer svakom paketu prilikom ulaska u red izračunava vrijeme završetka obrade i dodjeljuje mu težinu. Paketi izlaze iz sustava prema težini, odnosno prema izračunatom vremenu završetka, [19].

4.2. Round Robin

Metoda posluživanja *Round Robin* podrazumijeva algoritam koji se uglavnom koristi u operativnim sustavima i aplikacijama koje poslužuju više procesa ili prometnih tokova. *Round Robin* obrađuje sve zahtjeve u kružnom redosljedu kako je prikazano na slici 6, pa se često naziva i kružno posluživanje. Funkcionira tako što poslužuje sve elemente u skupini, često od vrha prema dnu i tako u krug. Zaobilazi prioritete kako bi svi procesi i aplikacije mogli koristiti iste resurse u jednakom vremenskom razdoblju i imati isti period vremena čekanja kroz svaki ciklus.

³ UDP se često kombinira sa TCP protokolom, ali za razliku od njega, nudi manje pouzdanu isporuku paketa te ne vodi računa o potrošnji kapaciteta.



Slika 6. Round Robin metoda, [17]

Round Robin jedan je od najstarijih, najjednostavnijih i najčešće korištenih algoritama za raspoređivanje, djelomice zato što je vrlo jednostavan za implementaciju. Zasnovan je na *FCFS* metodi, ali je dodano vremensko ograničenje korištenja procesora koji obrađuje podatke. Za svaki tok podataka uspostavlja poseban red čekanja, a potom ih naizmjenice poslužuje. Da bi posluživanje bilo što pravednije, vrijeme se dijeli u male odsječke jednake veličine, takozvane vremenske kriške (eng. *time slices*). Za vremenske kriške uvriježen je i naziv kvant (eng. *quantum*). Svaki red čekanja, odnosno svaki proces dobije svoju krišku, ili jednostavnije rečeno, poslužuje se u određenom vremenskom periodu. Nakon što istekne definirani vremenski period, prelazi se na drugi red čekanja koji se obrađuje u jednakom vremenskom intervalu. Može se dogoditi da se obrada zahtjeva nije dovršila u određenom vremenskom periodu i tada se njegova obrada prekida, a zahtjev šalje na zadnje mjesto u redu čekanja do kojeg će se opet doći naizmjeničnim posluživanjem. U tom slučaju, obrada zahtjeva nastaviti će se od one točke u kojoj je prekinuta. Katkad se događa i da u nekom od redova nema paketa koji čekaju obradu stoga se u taj red preskače sve dok se u njemu ne pojavi novi zahtjev.

Iako pravedan algoritam, *Round Robin* za sobom vuče i određene nedostatke kao što su: veliko prosječno vrijeme čekanja, niska propusnost, velik broj „kruženja“ te veliko vrijeme obrade. Nedostatci su najčešće posljedica veličine vremenskog kvanta; ako je kvant premalen kruženje je preveliko te se smanjuje efikasnost obrade. S druge strane, prevelik vremenski period ne smanjuje efikasnost sustava ili obrade, ali uzrokuje produljenje vremena čekanja. Dakle, može se reći da je kod *Round Robin* algoritma najteži zadatak definiranje kvanta, [15].

Metoda *Round Robin* se često računa uz pomoć grafa koji se naziva gantogram. Gantogram je stupčasti grafikoni koji se koristi za slikoviti prikaz nekog projekta, raspored zadataka, poslova i slično. Osim rasporeda tijeka poslova, gantogram se koristi kako bi se prikazalo i trajanje svakog zadatka, što na kraju daje sliku o ukupnom vremenu koje je potrebno kako bi se zadaci izvršili, odnosno zahtjevi obradili.

Na slici 7 prikazani su zahtjevi koji čekaju obradu i nazvani su P1, P2 i P3. U tablici se vidi koliko je vremenskih jedinica potrebno da se pojedini zahtjev obradi. Osim toga, vidi se i redoslijed kojim zahtjevi, to jest paketi trebaju biti obrađeni. Na gantogramu se vidi poredak obrade zahtjeva ako veličina kvanta iznosi jednu jedinicu vremena, a osim redoslijeda može se iščitati i vrijeme čekanja kako pojedinog zahtjeva tako i prosječno vrijeme čekanja.

Process	Duration	Order	Arrival Time
P1	3	1	0
P2	4	2	0
P3	3	3	0

Suppose time quantum is 1 unit.

P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P2
0									10

P1 waiting time : 4

The average waiting time(AWT) : $(4+6+6)/3=5.33$

P2 waiting time: 6

P3 waiting time: 6

Slika 7. Računanje RR metode, [20]

4.3. Weighted Round Robin

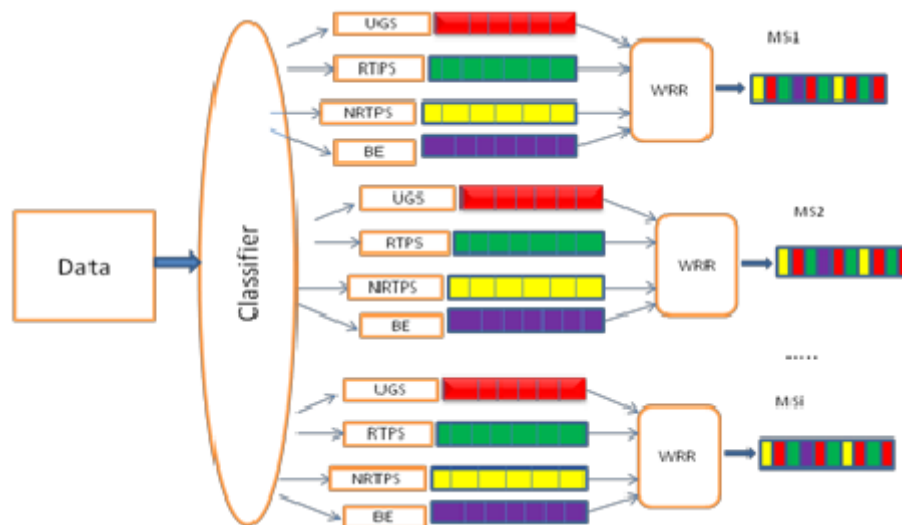
Weighted Round Robin (WRR) napredna je verzija algoritma *Round Robin* koji je stvoren uslijed pokušaja uklanjanja nedostataka klasičnog algoritma. Pri tome se misli na nemogućnost stvaranja prioriteta za redove čekanja.

WRR zadržava neke odlike klasičnog RR kao što su pravednost prilikom obrade zahtjeva, no ima integrirano svojstvo dodjele prioriteta. Funkcionira na način da redovima, tj. zahtjevima dodjeljuje određenu težinu. Težina se odnosi na prioritet, pa će tako zahtjevi s većim prioritetom

dobiti i veću težinu. Nadalje, dodijeljena težina se vezuje na vremenski kvant. Kod WRR algoritma, vremenski odsječci nisu jednake veličine nego se pojedini odsječak direktno veže na težinu zahtjeva, što veća težina, to veći kvant za obradu. Na ovaj način manji zahtjevi mogu dobiti težinu koja će im omogućiti da budu obrađeni do kraja pa se tako smanjuje i sveukupno vrijeme čekanja u sustavu.

Logično je zaključiti da se ovaj algoritam ne zasniva na FCFS nego na metodi prioriteta (PQ). To znači da se prije početka posluživanja redovi čekanja reorganiziraju na način da oni s višim prioritetima imaju najmanje vrijeme čekanja, odnosno budu prvi u redu u kružnom posluživanju.

Iako se zahtjevima dodjeljuje težina ipak dolazi do prekida posluživanja, kruženja posluživanja, a samim time i čekanja. Stoga je, osim težine, u WRR je implementiran koncept „starenja“. Starenje se odnosi na zahtjeve nad kojima se iteracija obavlja i koji u sustavu provedu neko vrijeme. Određeno je pravilo prema kojem se nakon tri iteracije, zahtjevu koji još uvijek nije obrađen, na već dodijeljenu težinu pridodaje jedna težinska jedinica. Time se sprječava produljeni boravak u sustavu te produljeno vrijeme čekanja.



Slika 8. Weighted Round Robin, [18]

4.4. Deficit Round Robin

Deficit Round Robin ili *Deficit Weighted Round Robin* predstavlja modifikaciju WRR algoritma koji je dizajniran u svrhu rješavanja njegovih nedostataka. Umjesto na vremenskom kvantu, DRR radi na principu propuštanja definiranog broja okteta za svaki zahtjev, nakon čega se prebacuje na sljedeći zahtjev i tako u krug.

U posluživanju DRR metodom svaki red čekanja konfiguriran je sljedećim parametrima:

- Težina, koja postoji i kod WRR, a sada određuje postotak propusnosti izlaznog porta koji je dodijeljen pojedinom redu čekanja;
- *Deficit Counter*- brojač koji određuje pravednu propusnost, tj. koliko se bajtova (ili okteta) može obraditi u pojedinom redu. Predstavlja zbroj kvanta i kredita. Zahtjevi se obrađuju sve dokle brojač ne dosegne vrijednost nula, ili kad veličina paketa premašuje sumu na brojaču. Ako dođe do prevelikog paketa, suma na brojaču se „čuva“ za sljedeći krug posluživanja;
- Kvant koji je proporcionalan težini zahtjeva, ali mjerna jedinica ove vrste kvanta nije vrijeme nego bit ili bajt. Sa svakim kruženjem (posluživanjem) vrijednost kvanta se dodaje sukladno težini zahtjeva;
- Takozvani „kredit“ može imati pozitivne ili negativne vrijednosti. Pozitivne vrijednosti kredita se pojavljuju onda kada na kraju obrade zahtjeva ostane višak bajtova (nije iskorišten sav prijenosni kapacitet) koje se zatim prebacuju u sljedeći krug posluživanja. Negativan kredit nastaje kada se prenese više bajtova nego je predviđeno, a to znači da je sljedeći krug posluživanja u nedostatku.

Dakle, DWRR algoritam smisleno dodjeljuje prijenosni kapacitet i obavlja posluživanje propuštanjem određenog broja bajta (okteta) u svakom krugu. Odlično funkcionira u slučaju kada su veličine paketa koji čekaju na obradu varijabilne, [16].

5. GENERIRANJE ULAZNOG TOKA ČVORA PAKETNE MREŽE

U nastavku ovoga rada napravljena je analiza prosječnog vremena čekanja paketa u čvoru višeslužne mreže s disciplinom posluživanja Round Robin kroz simulacije. U tri simulacije generirano je sveukupno 459 paketa, slučajnim redoslijedom i s različitim vremenima dolaska. Paketi su raspoređeni u četiri različite klase na temelju duljine paketa. U simulacijama je korišten kapacitet u iznosu od $C = 2 \text{ Mbit/s}$ te $1,5 \text{ Mbit/s}$.

Analiza je provedena u alatu Microsoft Excel. Iz zadanih vrijednosti izračunata su vremena posluživanja svakog pristiglog paketa prema izrazu, [21]:

$$T_s = \frac{\bar{p}}{C} \cdot 1000 \quad (1)$$

gdje je T_s vrijeme trajanja posluživanja, \bar{p} je oznaka za prosječnu duljinu paketa, a C je oznaka za kapacitet. Množenje s tisuću označava pretvorbu vremena iz sekundi u milisekunde.

S obzirom da je vrijeme dolaska paketa u čvor bilo određeno simulacijom, vrijeme završetka posluživanja je računato prema izrazu, [21]:

$$T_{odl} = T_{dol} + T_s \quad (2)$$

gdje T_{odl} označava vrijeme završetka posluživanja, a T_{dol} vrijeme pristizanja paketa u čvor. Uz pomoć ovih vrijednosti izračunato je vrijeme čekanja za svaki paket i to prema izrazu, [21]:

$$T_w = T_{odl} - T_{dol} - T_s \quad (3)$$

Izračunata su i prosječna vremena čekanja za svaku pojedinu klasu, te prosječno prometno opterećenje, odnosno iskorištenje kanala koje nosi oznaku ρ za zadani kapacitet i popunjenost međuspremnika izraženu u bitima. ρ je dobiven na temelju sljedećeg izraza, [21]:

$$\rho = \lambda \cdot T_s \quad (4)$$

gdje λ označava broj paketa pristiglih u sekundi, a T_s vrijeme potrebno za obradu paketa.

Tabela 1 prikazuje broj paketa u prvoj simulaciji koji su podijeljeni u četiri klase. Klase se međusobno razlikuju prema veličini paketa.

Tabela 1. Broj i veličina paketa po klasama u prvoj simulaciji

Simulacija 1	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4
Broj paketa	60	55	58	34
Veličina paketa [bit]	320	640	1280	2560

U tabelama 2 i 3 također se vidi broj i veličina paketa po klasama u drugoj i trećoj simulaciji.

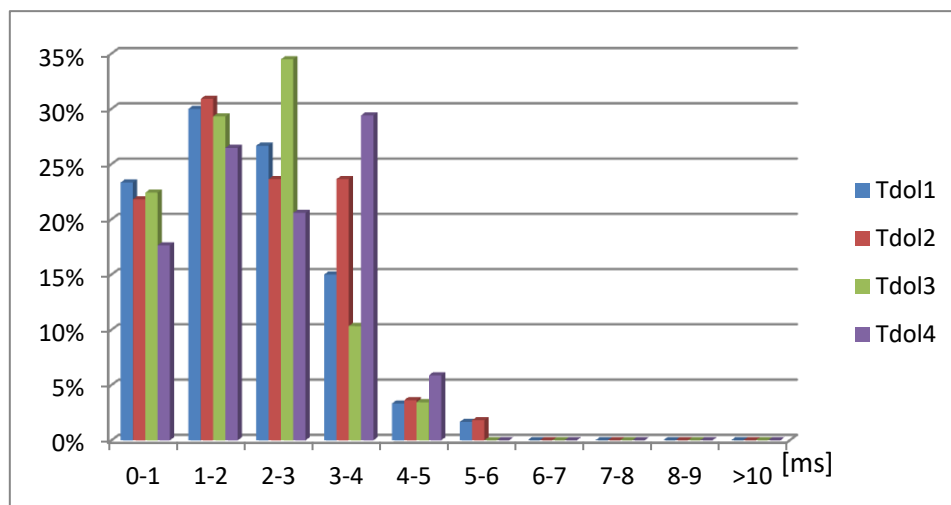
Tabela 2. Broj i veličina paketa po klasama u drugoj simulaciji

Simulacija 2	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4
Broj paketa	40	40	30	30
Veličina paketa [bit]	2880	1920	1440	480

Tabela 3. Broj i veličina paketa po klasama u trećoj simulaciji

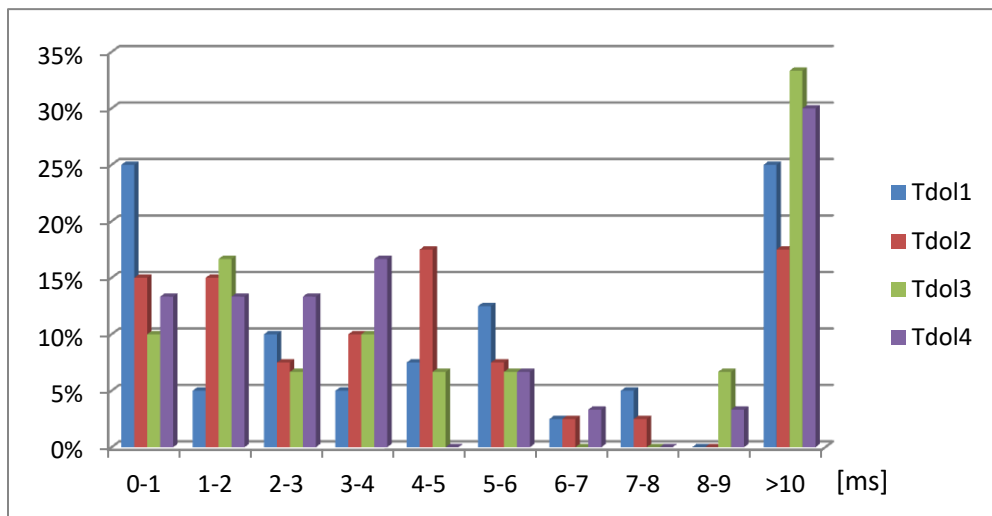
Simulacija 3	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	Klasa 4
Broj paketa	29	28	28	27
Veličina paketa [bit]	320	640	1280	2560

Na grafovima u nastavku prikazana je razdioba međudolaznih vremena za sve tri simulacije i sve četiri klase.



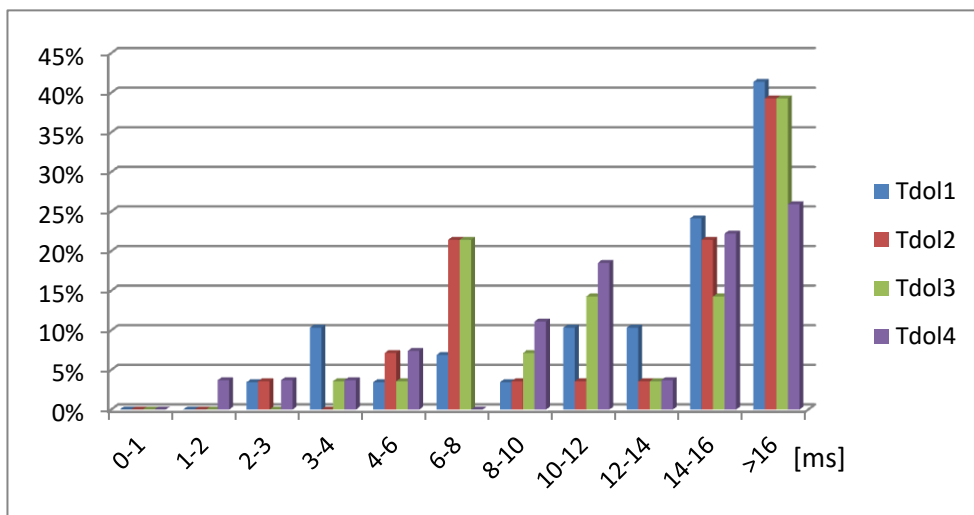
Graf 1: Međudolazna vremena paketa u prvoj simulaciji

Graf broj 1 prikazuje međudolazna vremena paketa u prvoj simulaciji. Plava boja označava klasu jedan, crvena klasu broj dva, zelenom bojom označena je treća klasa dok četvrta ima ljubičastu boju. Za 23% paketa iz prve klase, vremenski interval koji je protekao između dolaska dvaju susjednih paketa iznosio je od nula do jedne milisekunde. Isti vremenski interval je protekao za nešto više od 20% paketa druge klase i nešto više od 20% klase broj tri. Paketi iz četvrte klase imaju malo manji postotak, blizu 18% paketa je pristiglo u vremenskom razmaku do jedne milisekunde. Ako se promotri vremenski razmak samo jedne klase, iz grafa je vidljivo da ne postoje pravila vremena dolaska susjednih paketa u čvor, ali isto tako ne postoji poveznica koja bi stvorila utjecaj dolazaka paketa jedne klase na drugu. Najčešći vremenski razmaci između dolaska paketa za prvu simulaciju jesu i najmanji intervali, i to razmaci od jedne do dvije te od dvije do tri milisekunde. Najveći vremenski interval od tri do četiri milisekunde imaju paketi četvrte klase, kojih ujedno ima i najmanje u ovoj simulaciji.



Graf 2: Međudolazna vremena paketa u drugoj simulaciji

Međudolazna vremena paketa pojedinih klasa u drugoj simulaciji značajno variraju. Tako su vremenski intervali koji su protekli između dolaska dvaju susjednih paketa veći. Za prvu, treću i četvrtu klasu paketa za više od 20% paketa proteklo više od deset milisekundi prije nego se pojavio novi paket koji je zahtijevao obradu. Ostali zastupljeniji periodi „čekanja“ na pakete su razmaci od nula do jedne ms, od jedne do dvije ms te razmak od tri do četiri milisekunde.



Graf 3: Međudolazna vremena paketa u trećoj simulaciji

U trećoj simulaciji međudolazna vremena paketa svih klasa su se također povećala. Iz grafa se može primijetiti da klasa 1 ima preko 5% paketa sa razmakom dolazaka od šest do osam milisekundi. Druga i treća klasa imaju oko 22% paketa koji su pristigli u čvor sa istim razmakom. Ako se pogleda s lijeva prema desnom rubu grafa, može se vidjeti da graf raste, točnije, rastu

vremenski intervali između dolaska paketa. Za treću simulaciju, koja ima najmanje prometno opterećenje, periodi bez zahtjeva su porasli na razdoblje od deset do četrnaest sekundi, a najveći udio paketa svih klasa pristizao je s razmakom većim od 16 milisekundi

6. ANALIZA PROSJEČNOG VREMENA ČEKANJA OVISNO O RAZLIČITIM PROMETNIM OPTEREĆENJIMA

U ovom radu napravljena je analiza prosječnog vremena čekanja paketa za četiri klase s različitim brojem i veličinom paketa kroz tri simulacije. Analiza se obavljala sa metodom posluživanja Round Robin, a na grafovima koji slijede prikazani su rezultati simulacija.

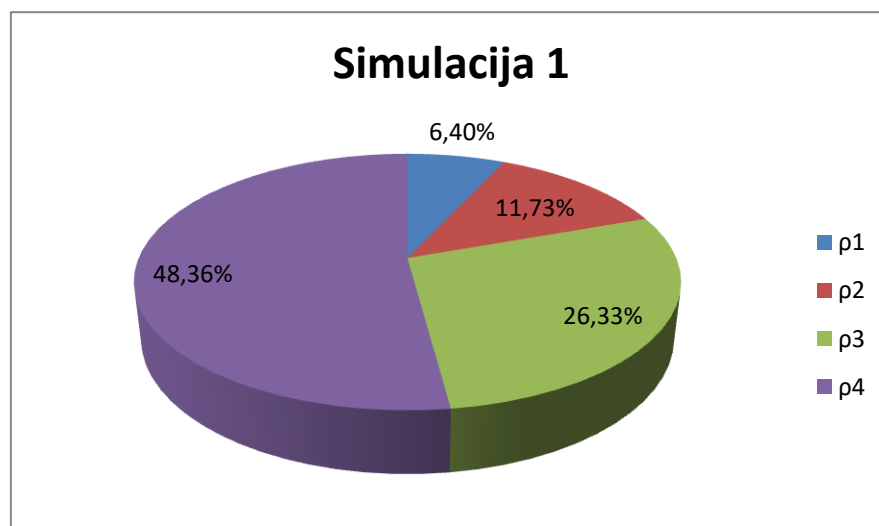
U prvoj simulaciji generirano je sveukupno 207 paketa. Prva klasa ima 60 paketa, druga klasa 55 paketa, u trećoj klasi ih je 58, a u četvrtoj 34. Svaki paket ima različito vrijeme pristizanja u čvor, ali svi zajedno pristižu u razdoblju od 150 ms.

U drugoj simulaciji generirano je 140 paketa u vremenskom razdoblju od 250 ms. Prva klasa ima 40 paketa, druga također 40 a treća i četvrta klasa imaju po 30 paketa.

Treća simulacija ima najmanji broj generiranih paketa, 112 paketa. Prva klasa ima 29, druga klasa 28, treća klasa 28 i četvrta klasa ima 27 paketa generiranih u razdoblju od 410 ms.

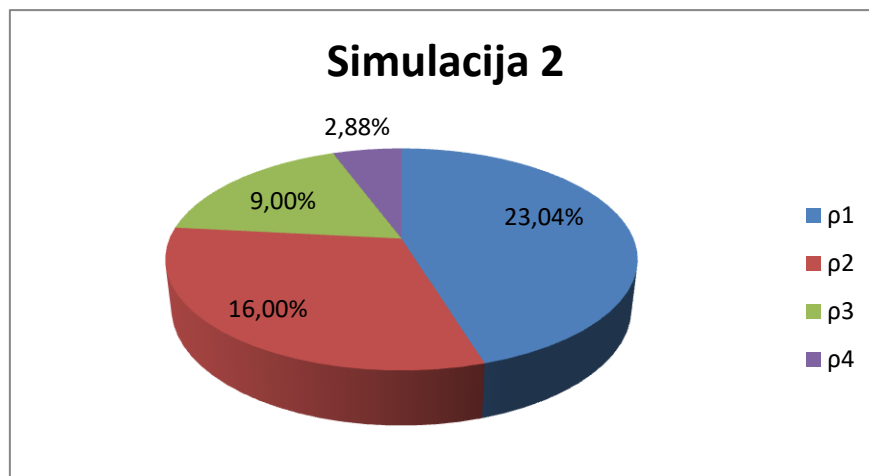
6.1. Analiza prometnih opterećenja po klasama i simulacijama

U nastavku rada grafovima će biti prikazana prometna opterećenja po klasama u pojedinoj simulaciji.



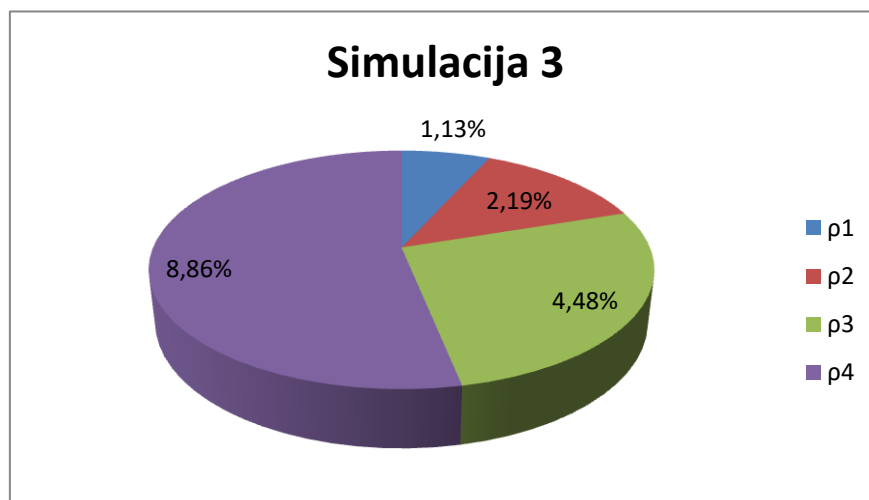
Graf 4: Udio prometnog opterećenja po klasama u prvoj simulaciji

Na grafu 4 prikazano je prometno opterećenje po klasama u prvoj simulaciji. S grafa je vidljivo da prva klasa ima udio od tek 6,40% sa iznosom od $\rho_1=0,064$, klasa 2 zauzima 11,73% sveukupnog prometnog opterećenja i ima vrijednost $\rho_2=0,1173$. Treća klasa ima udio od 26,33% sveukupnog opterećenja, a klasa 4 ima daleko najveći udio, čak 48,36% i iznos $\rho_4=0,4836$. Ukupno prometno opterećenje prve simulacije iznosi 0,92.



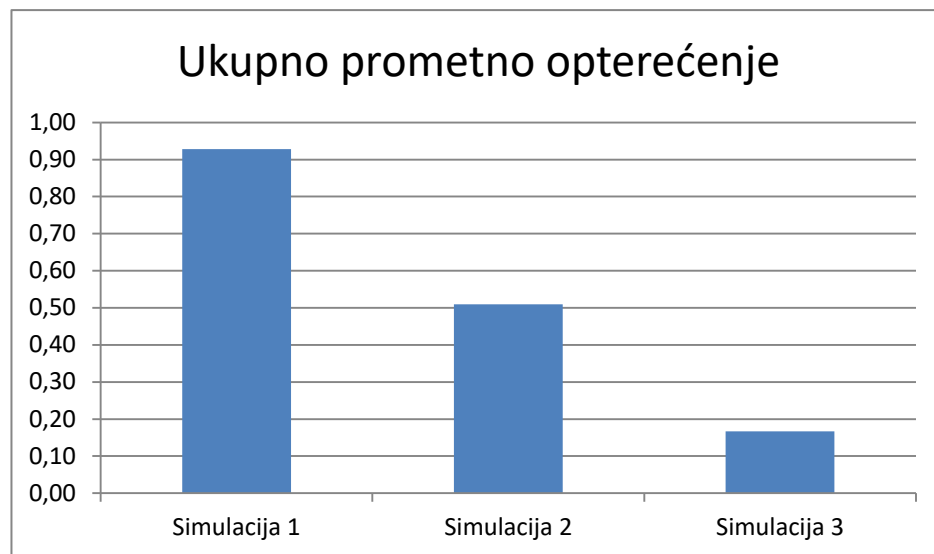
Graf 5: Udio prometnog opterećenja po klasama u drugoj simulaciji

U drugoj simulaciji došlo je do promjena vezanih za klase i opterećenja. Prva klasa ovdje zauzima 23,04% sveukupnog opterećenja i ima iznos $\rho_1=0,2304$. Druga klasa ima udio od 16% sa iznosom $\rho_2=0,16$. U drugoj simulaciji prometno opterećenje treće klase je $\rho_3=0,09$ i zauzima 9% a četvrta klasa paketa zauzima tek 2,88% sa iznosom od $\rho_4=0,0288$. Ukupno prometno opterećenje druge simulacije iznosi 0,51.



Graf 6: Udio prometnog opterećenja po klasama u trećoj simulaciji

Treća simulacija ima najmanje ukupno prometno opterećenje koje iznosi 0,16. Na grafu koji prikazuje treću simulaciju vidljivo je kako najveći udio u prometnom opterećenju zauzima četvrta klasa sa 8,86%, potom slijedi treća klasa sa dvostruko manjim opterećenjem od 4,48%. Druga klasa ima udio od 2,19%, a prva klasa zauzima tek 1,13% sveukupnog opterećenja. Iznosi opterećenja po klasama u ovoj simulaciji jesu $\rho_1=0,013$, $\rho_2=0,0219$, $\rho_3=0,0448$ i $\rho_4=0,0886$.



Graf 7: Ukupno prometno opterećenje po simulacijama

Graf 7 prikazuje ukupna prometna opterećenja u pojedinim simulacijama. Ukupno opterećenje u određenoj simulaciji predstavlja zbroj prometnih opterećenja svih klasa. Uočljivo je da se prometna opterećenja značajno razlikuju po simulacijama. Najveće prometno opterećenje je u prvoj simulaciji i iznosi 92,8%, a iznos tog opterećenja je 0,9282. Za drugu simulaciju iznos prometnog opterećenja iznosi 50,92% ili 0,5092. Moglo bi se reći da treća simulacija ima veoma nisko prometno opterećenje budući da zauzima tek 16,66% s iznosom od 0,1666. Razlike u iznosima opterećenja pokazat će i razlike u čekanju u analizi koja slijedi.

6.2. Analiza distribucije vremena čekanja pojedinih klasa kroz simulacije

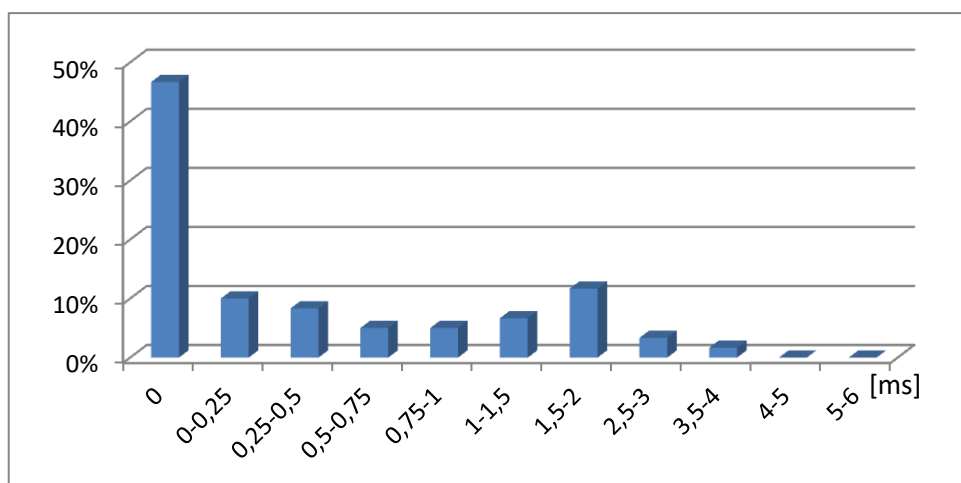
6.2.1. Distribucije vremena čekanja u prvoj simulaciji

Kod Round Robin metode na vrijeme čekanja uvelike utječe veličina kvanta, odnosno vremensko razdoblje koje je definirano za obradu pojedine klase paketa.

Veličina kvanta za prvu simulaciju iznosila je 1,28 milisekundi, što je bilo dovoljno za obradu jednog paketa veličine 2560 bit-ova.

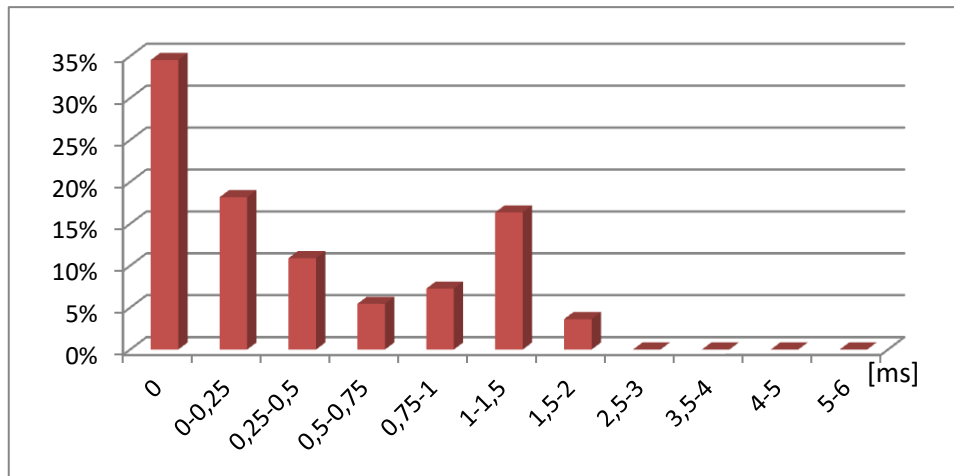
U drugoj simulaciji veličina kvanta iznosila je 2880 bit-ova, ili preračunato u vrijeme, kvant je iznosio 1,44 milisekundu.

Za treću simulaciju vrijeme posluživanja jedne klase trajalo je maksimalno 1,28 milisekundi.



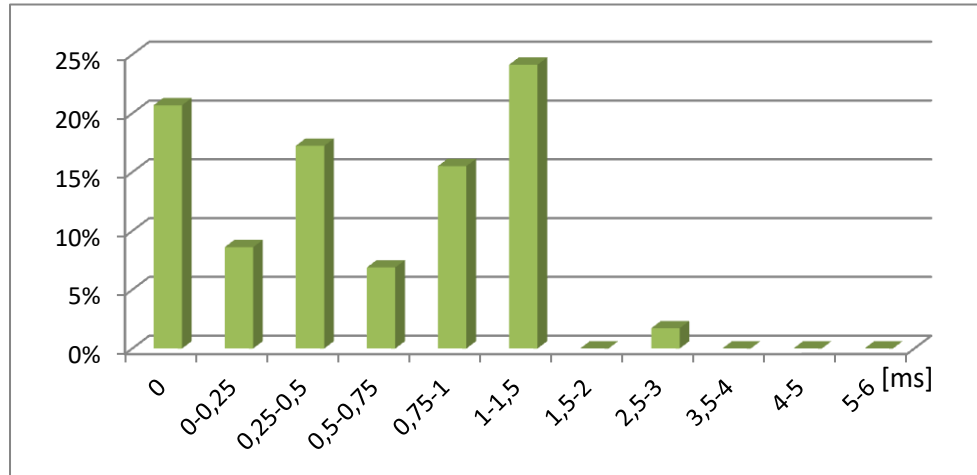
Graf 8: Distribucija vremena čekanja kod prve klase

Na grafu 8 prikazana je distribucija vremena paketa prve klase u prvoj simulaciji. Ovdje većina paketa, njih oko 44% ima vrijeme čekanja nula, što bi značilo da su zahtjevi obrađeni po dolasku u sustav te čekanje za njih ne postoji. Nešto više od 5% paketa čeka do jedne milisekunde, otprilike 10% paketa ima vrijeme čekanja od jedne i pol do dvije ms. Dulje od tri milisekunde na posluživanje čeka veoma malen broj paketa. Niti jedan paket ne čeka na posluživanje dulje od 6 ms.



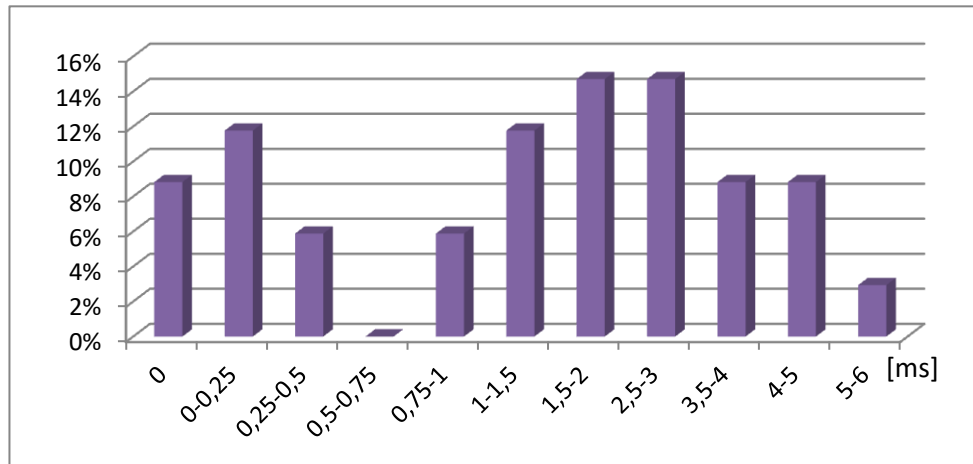
Graf 9: Distribucija vremena čekanja druge klase

Vrijeme čekanja za drugu klasu je veće nego za prvu. Kao što je prikazano na grafu 9, za gotovo 35% paketa ne postoji čekanje. Po grafu se dalje vidi kako je 16% paketa druge klase čekalo između jedne i jedne i pol milisekunde. Neznatan postotak paketa čeka do tri milisekunde, i ne postoje paketi koji čekaju dulje od toga.



Graf 10: Distribucija vremena čekanja treće klase

Kod treće klase u prvoj simulaciji također nema prevelikih čekanja, ali se za razliku od prve dvije klase smanjio postotak paketa koji ne čekaju na obradu. Najviše čekanja za većinu paketa bilo je u trajanju od jedne do jedne i pol milisekunde, a postotak paketa koji su upravo toliko čekali iznosi gotovo 25%.

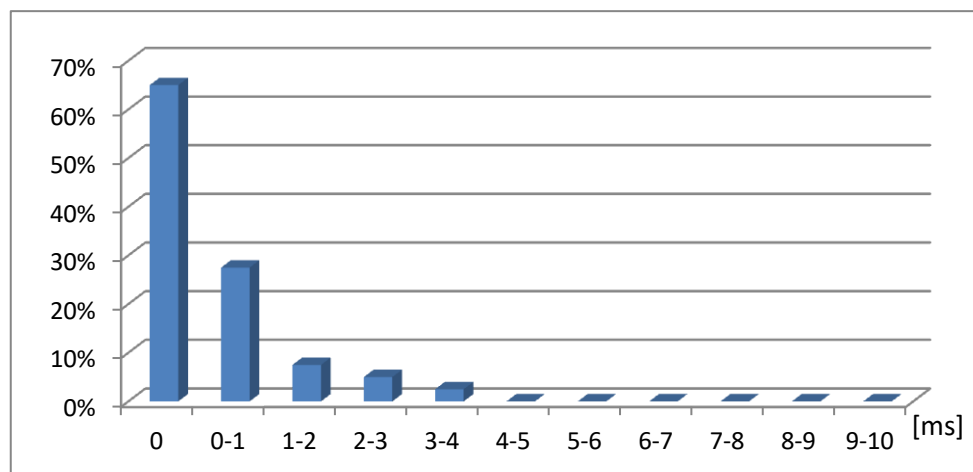


Graf 11: Distribucija vremena čekanja četvrte klase

Kod četvrte klase vremena čekanja su u rasponu od 0 do 6 ms. Tako 9% paketa ne čeka na posluživanje, a 12% paketa čeka do 0,25 ms. Blizu 14% paketa ima čekanje u rasponu od jedne i pol do tri ms, a zatim se postotak paketa koji čekaju dulje od toga smanjuje. Najdulje vrijeme čekanja u ovoj klasi je do 6 ms.

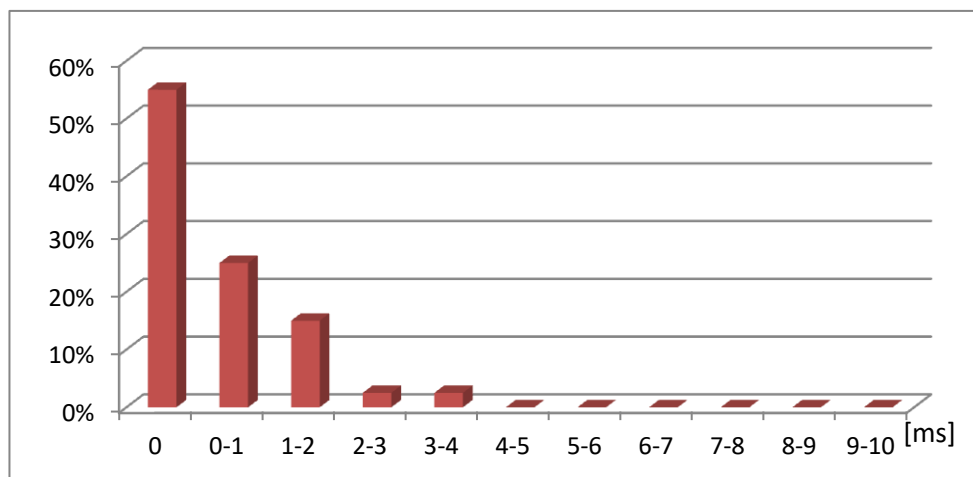
6.2.2. Distribucije vremena čekanja u drugoj simulaciji

Na grafovima u nastavku bit će prikazane distribucije vremena čekanja u drugoj simulaciji za sve klase prometa.



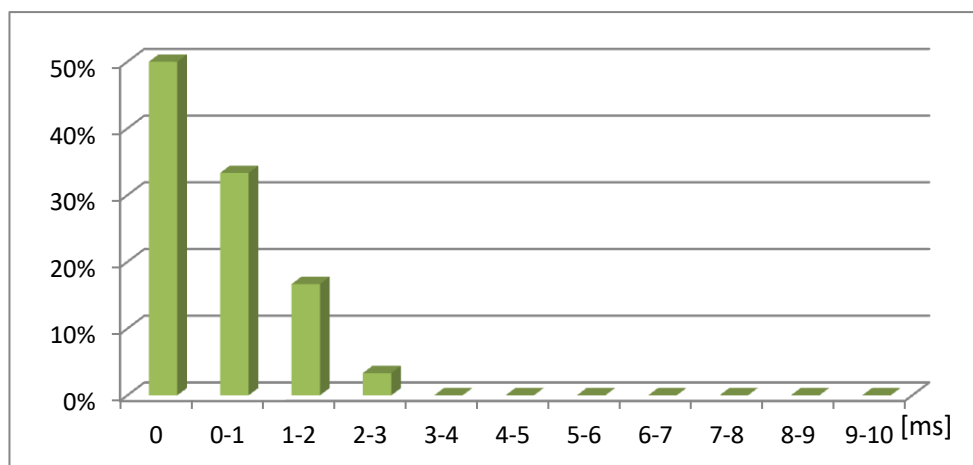
Graf 12 Distribucija vremena čekanja prve klase u drugoj simulaciji

U drugoj simulaciji oko 65% paketa prve klase uopće ne čeka na posluživanje. Oko 28% paketa čeka do jedne milisekunde, 8% paketa čeka u razdoblju od jedne do dvije milisekunde. Čekanja većih od četiri milisekunde ne postoje.



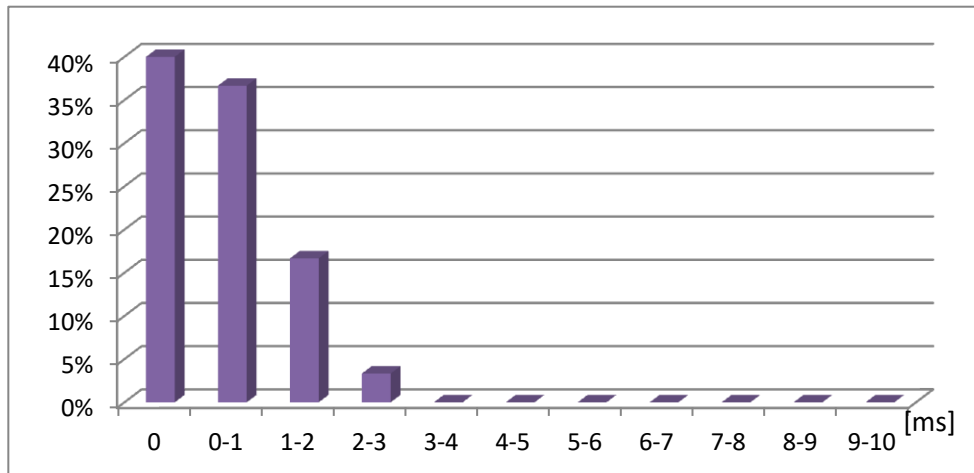
Graf 13: Distribucija vremena čekanja druge klase u drugoj simulaciji

U drugoj simulaciji većina paketa druge klase ne čeka na posluživanje, oko 52% njih. Blizu 23% paketa čeka do 1 ms, oko 12% paketa čeka od jedne do dvije 2 ms. Posljednji period čekanja za ovu grupu je od 3 do 4 ms, i tu čeka oko 3% od sveukupnog broja paketa druge klase.



Graf 14: Distribucija vremena čekanja treće klase u drugoj simulaciji

Ako se pogleda vrijeme čekanja treće klase u drugoj simulaciji, vidi se da blizu 50% paketa ne čeka na posluživanje. Oko 31% paketa čeka do jednu milisekundu a nešto više od 17% paketa čeka od jedne do dvije ms. Čekanje od dvije do tri ms ima tek 3% paketa.

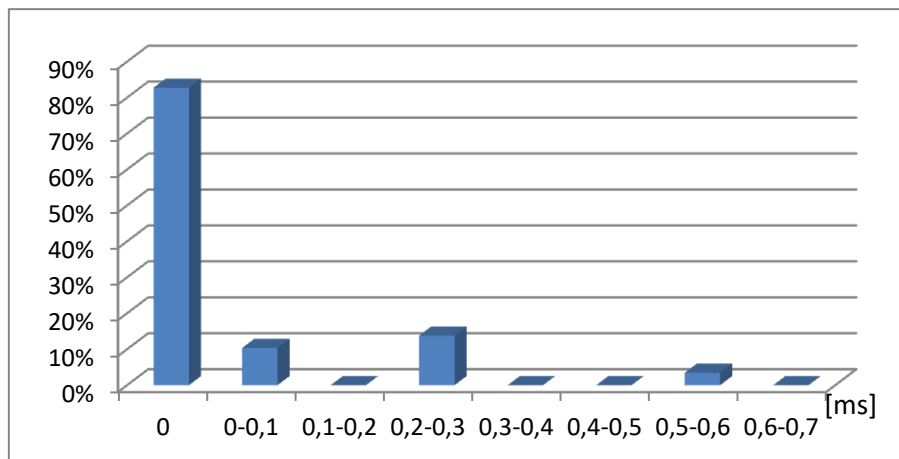


Graf 15: Distribucija vremena čekanja četvrte klase u drugoj simulaciji

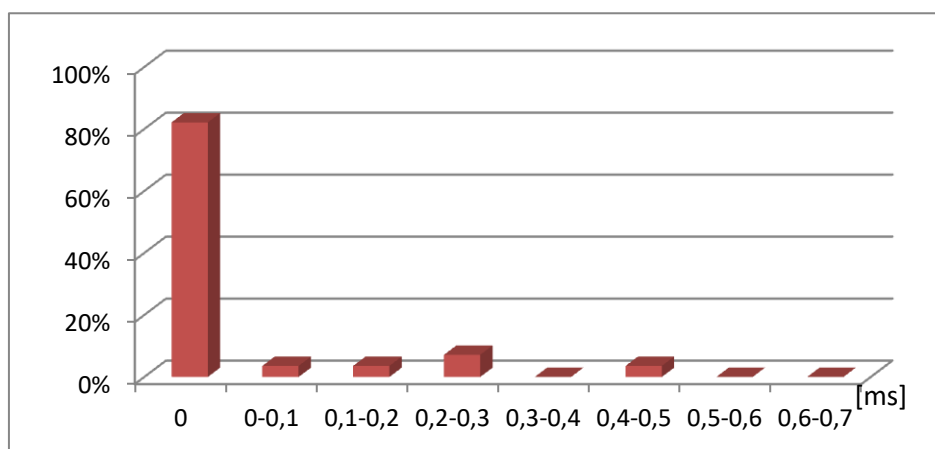
Četvrta klasa paketa u drugoj simulaciji ima jako mala čekanja u sveukupnom promatranju. Blizu 40% paketa je posluženo odmah po dolasku u sustav, nešto više od 35% paketa čekalo je najviše jednu milisekundu. Postoji i čekanje od jedne do dvije milisekunde i to za 17% paketa ove klase. Ostatak paketa koji uopće čekaju svodi se na period čekanja od dvije do tri milisekunde. Zaključno, smanjenje ukupnog prometnog opterećenja u drugoj simulaciji dovelo je do smanjenja čekanja. Tek 60% od ukupnog broja paketa u drugoj simulaciji čeka na posluživanje.

6.2.3. Distribucije vremena čekanja u trećoj simulaciji

Budući da je u trećoj simulaciji prometno opterećenje značajno manje nego u prve dvije, i čekanje paketa na posluživanje se smanjilo. Prva klasa tako u trećoj simulaciji ima blizu 83% paketa koji uopće ne čekaju već odmah pri dolasku u čvor bivaju posluženi. Oko 10% paketa čeka do 0,10 ms, a 14% paketa čeka od 0,2 do 0,3 ms.

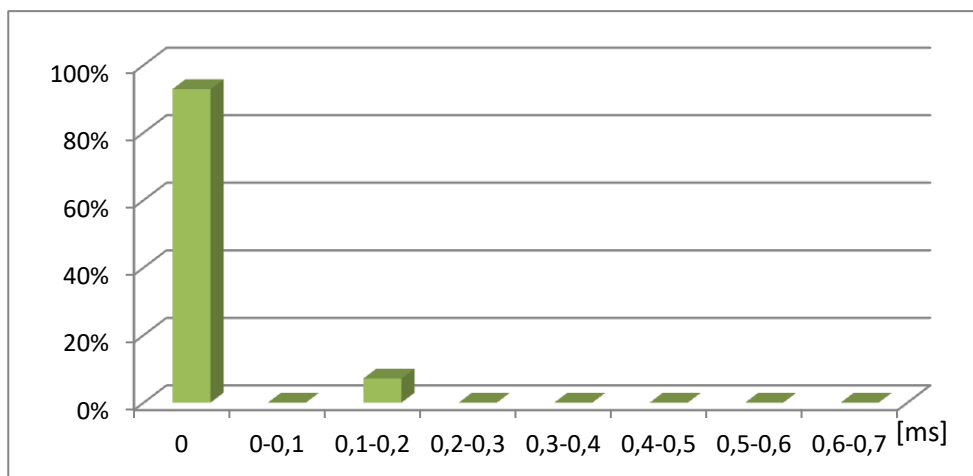


Graf 16: Distribucija vremena čekanja prve klase u trećoj simulaciji



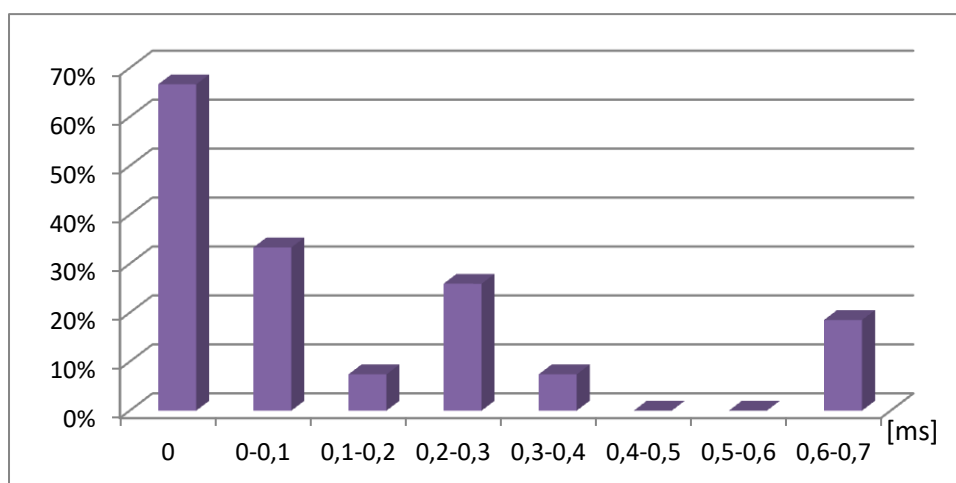
Graf 17: Distribucija vremena čekanja druge klase u trećoj simulaciji

Čekanje paketa druge klase u trećoj simulaciji se značajno smanjilo. Preko 80% paketa ne čeka na posluživanje, oko 8% paketa čeka do 0,2 ms te u rasponu od 0,2 do 0,3 ms čeka otprilike 7% paketa.



Graf 18: Distribucija vremena čekanja treće klase u trećoj simulaciji

Graf 18 prikazuje vremena čekanja treće klase u trećoj simulaciji. Kao i prethodne, i ova klasa prati trend smanjenja čekanja. Na grafu se može vidjeti da nema čekanja za preko 80% paketa što znači da je više od dvije trećine pristiglih paketa odmah posluženo. Čekanje se završava s periodom čekanja od 0,1 do 0,2 ms koliko čeka oko 4% paketa.

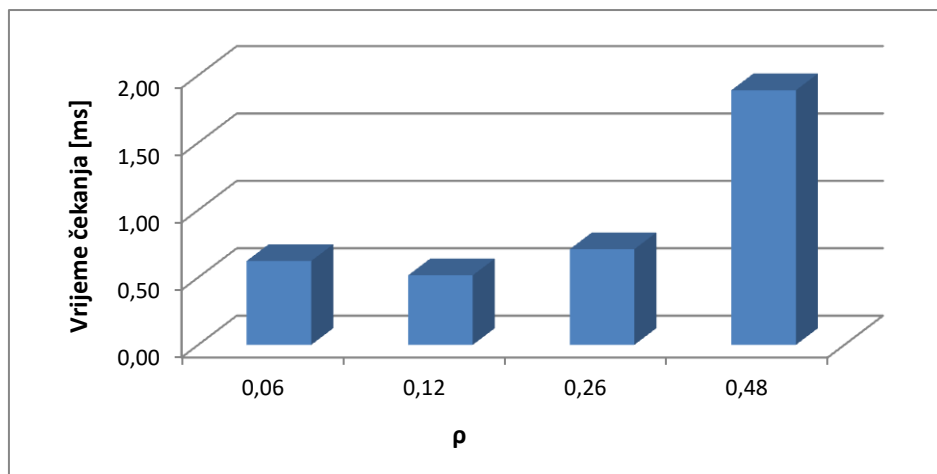


Graf 19: Distribucija vremena čekanja četvrte klase u trećoj simulaciji

Četvrta klasa, ona s najvećim paketima u trećoj simulaciji pokazuje nešto više čekanja za razliku od prethodne klase. Ne čeka oko 65% paketa. Zatim slijedi vremenski interval čekanja do 0,1 ms što čeka otprilike 30% paketa. Veći postotak paketa koji javlja se za raspon čekanja od 0,2 do 0,3 ms, a potom čekanja nema sve do razdoblja čekanja od 0,6 do 0,7 ms i to za 19% paketa.

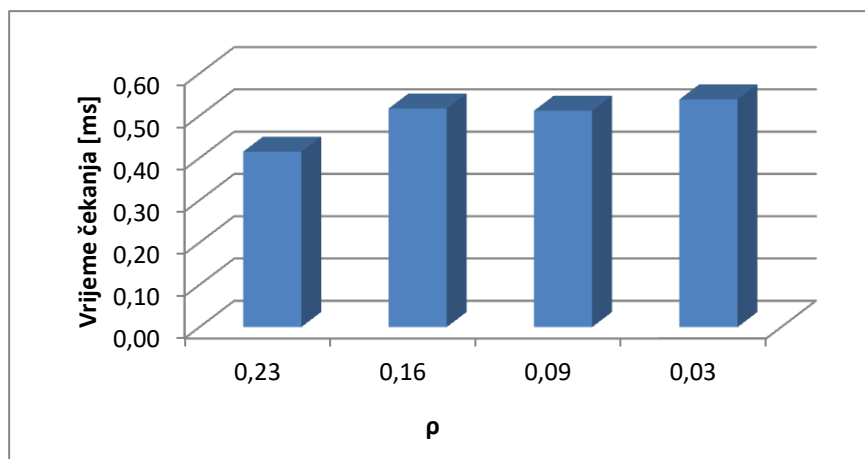
6.3. Analiza vremena čekanja s obzirom na prometno opterećenje

Na grafovima koji slijede vidjet će se utjecaj prometnog opterećenja za svaku klasu pojedinačno kroz svaku simulaciju. Na koncu će se otkriti razlika između prometnog opterećenja i vremena čekanja po klasama te ukupnog prometnog opterećenja pojedine simulacije sa sveukupnim prosječnim vremenom čekanja.



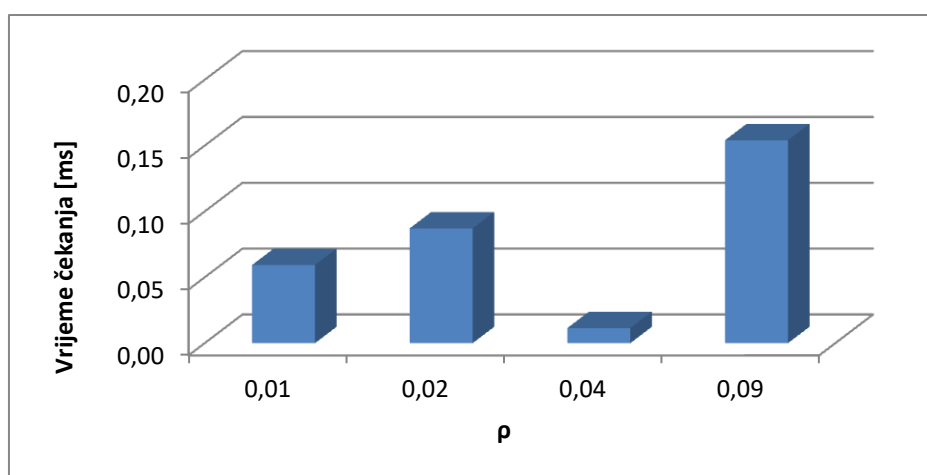
Graf 20: Usporedba prometnog opterećenja i vremena čekanja u prvoj simulaciji po klasama

Graf 20 prikazuje vrijednosti prometnog opterećenja i vremena čekanja po klasama u prvoj simulaciji. Za vrijednost čekanja korišteno je prosječno vrijeme čekanja pojedine klase. Vidljivo je kako malo opterećenje daje i kratko čekanje, no kako opterećenje raste tako raste i čekanje. U ovom slučaju opterećenje od 0,06 donosi prosječno vrijeme čekanja od 0,62 ms za prvu klasu paketa. Druga pak klasa ima nešto veće prometno opterećenje, ali i čekanje. Iznosi za klasu dva su $\rho=0,12$ a $T_w=0,52$ ms. Treća klasa ima prosjek čekanja 0,71 ms te prometno opterećenje u iznosu od 0,26. Četvrta, a ujedno i klasa sa najduljim čekanjem ima prometno opterećenje 0,48 koje daje prosječan iznos od 1,89 ms za čekanje na obradu paketa.



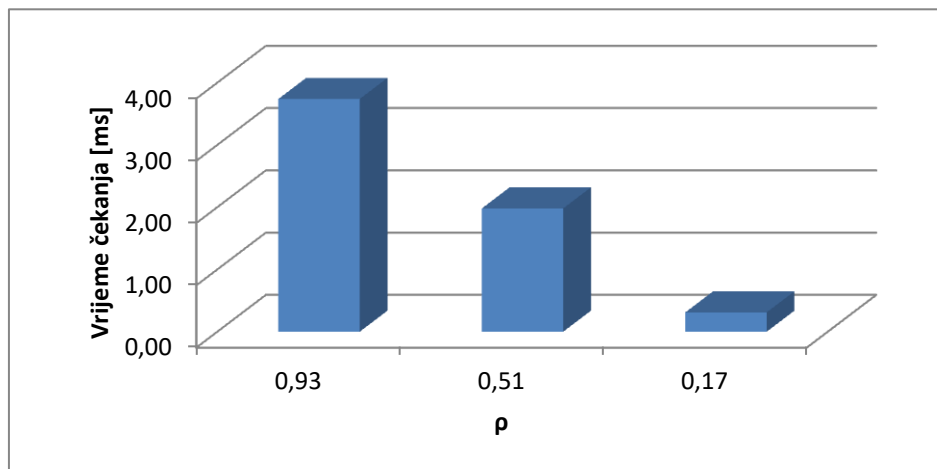
Graf 21: Usporedba prometnog opterećenja i vremena čekanja u drugoj simulaciji po klasama

Druga simulacija pokazuje kako malo prometno opterećenje ne znači nužno i kratko vrijeme čekanja za pojedinu klasu u jednoj simulaciji. Bitno je naglasiti i kako prosječna veličina paketa ne utječe na vrijeme čekanja, budući da su u drugoj simulaciji paketi koji imaju najveće vrijeme čekanja zapravo, najmanji paketi. Sada prva klasa ima prosječno čekanje od 0,41 ms koje se veže s prometnim opterećenjem u iznosu od 0,23. Druga klasa ima manje prometno opterećenje, 0,16 ali vrijeme čekanja za ovu klasu se povećalo na 0,52 ms. Treća klasa također bilježi pad prometnog opterećenja na 0,09, a vrijeme čekanja ostaje gotovo kao kod druge klase, otprilike 0,5 ms. Kako je i vidljivo, četvrta klasa ima najdulje vrijeme čekanja s prosjekom od 0,54 ms za prometno opterećenje od 0,03.



Graf 22: Usporedba prometnog opterećenja i vremena čekanja u trećoj simulaciji po klasama

U trećoj simulaciji manje opterećenje također ne znači manje vrijeme čekanja za klasu. Treća klasa u trećoj simulaciji ima prometno opterećenje u iznosu od 0,04 a prosjek čekanja zapravo ima malen iznos, tek 0,01 ms. Opterećenje prve klase je gotovo nikakvo i iznosi 0,01 a vrijeme čekanja paketa u toj klasi je 0,06 ms prosječno. Druga i četvrta klasa imaju opterećenja od $\rho_2=0,02$ i $\rho_4=0,09$ a prosječna vremena čekanja su 0,09 ms za drugu klasu te 0,15 ms za četvrtu klasu.



Graf 23: Odnos ukupnog prometnog opterećenja i ukupnog prosječnog vremena čekanja

Za razliku od prethodnih grafova na kojima su prikazana prometna opterećenja po klasama unutar jedne simulacije, graf 23 prikazuje odnos ukupnog opterećenja čitave simulacije te njeno prosječno vrijeme čekanja (uzimajući u obzir pakete svih klasa). Tako se može uzeti u obzir pretpostavka da kod *Round Robin* metode opterećenje jedne klase paketa ne donosi i veće vrijeme čekanja, nego treba promatrati sveukupno opterećenje i sveukupno vrijeme čekanja. U ovom radu prva simulacija je imala najveće sveukupno prometno opterećenje pa tako ima i najviši iznos vremena čekanja paketa na obradu. Treća simulacija koja je imala minimalno prometno opterećenje isto tako za sebe veže minimalno vrijeme čekanja. Druga simulacija, koja je imala prometno opterećenje u iznosu od 0,51 za sebe veže čekanje od 2 ms za sve klase prosječno.

7. ZAKLJUČAK

Višeuslužne mreže su mreže na kojima se zasnivaju računalne mreže današnjice, ali i budućnosti. Kako se tehnologije brzo razvijaju, tako se pojavljuju i nove vrste usluga. Sa mnoštvom različitih usluga, pojavljuje se i mnoštvo zahtjeva za obradu tih usluga. To nije niti malo jednostavan zadatak.

U ovom radu su analizirane funkcije metode dodjele kapaciteta *Round Robin* kroz tri simulacije i postignuti su određeni rezultati. Istraživanje je izvršeno sa 459 generirana paketa, svaki sa različitim vremenom pristizanja u komutacijski čvor. Paketi su podijeljeni u 4 klase sa različitim veličinama paketa. Kako bi se postigla varijacija u prometnom opterećenju, postavljeni su različiti intenziteti nailazaka paketa.

Rezultati istraživanja pokazali su kako metoda *Round Robin* najbolje funkcionira obrnuto proporcionalno prometnom opterećenju, što je opterećenje manje, to metoda daje manje vrijeme čekanja, a samim time bolje funkcionira. Jednako bitna stavka kao i prometno opterećenje jest vremenski kvant. Kvant je, kako je navedeno u radu, vremenski period koji je rezerviran za posluživanje pojedine klase. Najteži dio klasične metode dodjele kapaciteta *Round Robin* je određivanje veličine kvanta. S obzirom na raznolikost veličine paketa a samim time i trajanja obrade paketa, nemoguće je postići optimalan rezultat obrade paketa za sve klase. Ključnu ulogu igra i vrijeme dolaska paketa u čvor, pa je, ukoliko zahtjevi stižu u velikim razmacima, nemoguće obraditi više njih odjedanput iako bi definirani kvant to dozvolio.

Kružno posluživanje nije pokazalo optimalne rezultate pri obradi zahtjeva upravo zbog „gubljenja“ vremena, definiranog kvanta, zbog često velikog razmaka dolaska paketa unutar jedne klase. Unatoč pridjevu pravednog posluživanja kojeg nosi, RR pokazuje velike nedostatke u vidu velikog vremena čekanja. Može se zaključiti i kako analizirana metoda ima odlične performanse nad paketima manjih veličina koji imaju kratka međudolazna vremena. Inačice RR metode kao što su DRR i WRR pružile bi bolje performanse nad paketima većih veličina s obzirom da na drugačiji način definiraju postotak vremena (kvant) u kojem će se procesor pozabaviti određenim paketom, odnosno klasom paketa dodavajući težine i prioritete

određenim zahtjevima. Iz cjelokupne analize da se zaključiti kako pravedno posluživanje ne nudi najbolju kvalitetu usluge, koja je ipak prioritet u telekomunikacijskom prometu.

Literatura

- [1] <https://www.safaribooksonline.com/library/view/next-generation-network-services/1587051591/ch03.html>, pristupljeno: srpanj, 2018
- [2] <https://lotgroup.eu/product/smart-city/multi-services-network/>, pristupljeno: srpanj, 2018
- [3] http://estudent.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/5_predavanje.pdf, pristupljeno: srpanj, 2018.
- [4] <http://api.tenkwizard.com/cgi/image?quest=1&rid=23&ipage=3196935&doc=27>, pristupljeno: srpanj, 2018
- [5] <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=426645>, pristupljeno: srpanj, 2019
- [6] Radovan, M.: Računalne mreže (1), 1. izdanje, Digital Point, Rijeka, 2010.
- [7] www.techfaq.com/osi-model.html, pristupljeno srpanj, 2018
- [8] <https://openclassrooms.com/forum/sujet/question-sur-tcp-ip-et-osi>, pristupljeno kolovoz, 2018
- [9] <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=42221>, pristupljeno kolovoz, 2018
- [10] https://www.weboteka.net/fpz/Komutacijski%20proces%20i%20sustavi/materijali/06_-_Komutacija_u_IP_mrezama.pdf, pristupljeno kolovoz, 2018
- [11] <http://www.certiology.com/computing/computer-networking/network-topology.html>, pristupljeno kolovoz, 2018
- [12] <http://www.apposite-tech.com/blog/uncategorized/packet-switching-vs-circuit-switching/>, pristupljeno kolovoz, 2018
- [13] http://www.allsyllabus.com/aj/note/Computer_Science/Computer%20Networks%20-%20II/Unit1/Datagram%20or%20Connectionless%20Packet%20Switching.php#.W56h8KYza70, pristupljeno kolovoz, 2018
- [14] <https://www.juniper.net/us/en/>, pristupljeno kolovoz, 2018
- [15] aircse.org/journal/jwmn/6414ijwmn05.pdf, pristupljeno kolovoz, 2018

- [16] www.sciencedirect.com, pristupljeno rujan, 2018
- [17] <http://www.mathcs.emory.edu/~cheung/Courses/558/Syllabus/11-Fairness/DRR.html> , pristupljeno rujan, 2018
- [18] https://www.researchgate.net/figure/Weighted-Round-Robin-scheme_fig24_275515304, pristupljeno rujan, 2018
- [19] www.cs.utexas.edu/users/lam/396m/slides/Packet_scheduling.pdf, pristupljeno rujan, 2018
- [20] <https://www.geeksforgeeks.org/program-round-robin-scheduling-set-1/>, pristupljeno rujan, 2018
- [21] Mrvelj, Š., Bošnjak, I.: Primjeri i zadaci iz telekomunikacijskog prometa, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2001.

POPIS KRATICA

ATM - *Asynchronous Transfer Mode*

FIFO - *First-In-First-Out*

IMS - *IP Multimedia Subsystem*

IP - *Internet Protocol*

IPX - *Internetwork Packet Exchange*

ISDN - *Integrated Services for Digital Network*

ISO - *International Organization for Standardization*

ITU-T - *International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector*

LAN - *Local Area Network*

MAC - *Media Access Control*

MSN - *Multi-Service Network*

NGN - *Next Generation Network*

PSTN - *Public Switched Telephone Network*

QoS - *Quality of Service*

RR - *Receiver Report*

RTCP - *Real Time Control Protocol*

SDH - *Synchronous Digital Hierarchy*

SDP - *Session Description Protocol*

SIP - *Session Initiation Protocol*

SONET - *Synchronous Optical Network*

SR - *Sender Report*

TCP - *Transmission Control Protocol*

VPN - *Virtual Private Network*

SIP - Session Initiation Protocol

LIFO - Last-In-First-Out

PQ - Priority Queuing

SST - Shortest Service Time

RR - Round Robin

WFQ - Weighted Fair Queuing

UDP - User Datagram Protocol

POPIS SLIKA

Slika 7. Višeuslužna mreža

Slika 8. Usporedba TCP/IP i OSI RM modela

Slika 9. Fizička topologija čvorova

Slika 10. Komutacija kanala

Slika 11. Komutacija paketa

Slika 12. Round Robin metoda

Slika 7. Računanje RR metode

Slika 8. Weighted Round Robin

POPIS TABLICA

Tabela 1. Broj i veličina paketa po klasama u prvoj simulaciji.....24

Tabela 2. Broj i veličina paketa po klasama u drugoj simulaciji.....24

Tabela 3. Broj i veličina paketa po klasama u trećoj simulaciji.....24

POPIS GRAFIKONA

Graf 1: Međudolazna vremena paketa u prvoj simulaciji.....	25
Graf 2: Međudolazna vremena paketa u drugoj simulaciji.....	26
Graf 3: Međudolazna vremena paketa u trećoj simulaciji.....	26
Graf 4: Udio prometnog opterećenja po klasama u prvoj simulaciji.....	28
Graf 5: Udio prometnog opterećenja po klasama u drugoj simulaciji.....	29
Graf 6: Udio prometnog opterećenja po klasama u trećoj simulaciji.....	29
Graf 7: Ukupno prometno opterećenje po simulacijama.....	30
Graf 8: Distribucija vremena čekanja kod prve klase.....	31
Graf 9: Distribucija vremena čekanja druge klase.....	32
Graf 10: Distribucija vremena čekanja treće klase.....	32
Graf 11: Distribucija vremena čekanja četvrte klase.....	33
Graf 12: Distribucija vremena čekanja prve klase u drugoj simulaciji.....	33
Graf 13: Distribucija vremena čekanja druge klase u drugoj simulaciji.....	34
Graf 14: Distribucija vremena čekanja treće klase u drugoj simulaciji.....	34
Graf 15: Distribucija vremena čekanja četvrte klase u drugoj simulaciji.....	35
Graf 16: Distribucija vremena čekanja prve klase u trećoj simulaciji.....	36
Graf 17: Distribucija vremena čekanja druge klase u trećoj simulaciji.....	36
Graf 18: Distribucija vremena čekanja treće klase u trećoj simulaciji.....	37
Graf 19: Distribucija vremena čekanja četvrte klase u trećoj simulaciji.....	37
Graf 20: Usporedba prometnog opterećenja i vremena čekanja u prvoj simulaciji po klasama	38

Graf 21: Usporedba prometnog opterećenja i vremena čekanja u drugoj simulaciji po klasama	39
.....
Graf 22: Usporedba prometnog opterećenja i vremena čekanja u trećoj simulaciji po klasama	39
.....
Graf 23: Odnos ukupnog prometnog opterećenja i ukupnog prosječnog vremena čekanja.....	40