Analiza performansi mrežne opreme primjenom programskog paketa SolarWinds

Ilišević, Bruno

Undergraduate thesis / Završni rad

2015

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:119:421163

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Bruno Ilišević

ANALIZA PERFORMANSI MREŽNE OPREME PRIMJENOM PROGRAMSKOG PAKETA SOLARWINDS

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2015.

Sveučilište u Zagrebu

Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA PERFORMANSI MREŽNE OPREME PRIMJENOM PROGRAMSKOG PAKETA SOLARWINDS

PERFORMANCE ANALYSIS OF NETWORK EQUIPMENT USING SOLARWINDS

Mentor: Dr. sc. Ivan Grgurević

Student: Bruno Ilišević, 0135214767

Datum obrane: 15. rujna 2015.

Zagreb, rujan 2015.

Sadržaj

1. Uvod 1

2. Karakteristike mrežne opreme 3

2.1. Odnos mrežne opreme i OSI referentnog modela 3

2.2. Mrežni kablovi i modemi 5

2.3. Bežične veze 7

2.4. Ponavljač signala, pristupna točka i koncentrator 8

2.5. Most i preklopnik 8

2.6. Usmjernik 10

2.7. Pristupnik 10

2.8. Računala 11

3. Performanse odabrane mrežne opreme 12

4. Pregled konfiguracija računalne mreže 16

4.1. Mrežne topologije 16

4.2. Centralizirane i distribuirane računalne mreže 18

5. Mjerenje performansi mrežne opreme 21

5.1. Mjere performansi računalne mreže 21

5.2. Načini mjerenja performansi računalne mreže 24

6. Analiza performansi mrežne opreme putem programskog paketa *SolarWinds* 27

6.1. Analiza sučelja 31

6.2. Analiza čvorova 33

6.3. Analiza mreže 40

7. Zaključak 44

Literatura 46

Popis kratica i akronima 48

Popis slika 51

1. Uvod

Jedna od osnovnih potreba današnjeg društva zasigurno je internetski pristup. Svaka tvrtka i gotovo svako kućanstvo modernog svijeta posjeduje pristup Internetu i opremu koja im isti omogućava. Kako bi se korisniku omogućio pristup Internetu ili nekoj drugoj mreži, odnosno razmjena i obrada informacija na daljinu, potreban je čitav skup sustava, podsustava, elemenata i funkcionalnosti koji međusobno izmjenjuju informacije. Elementi navedenih sustava i podsustava nazivaju se mrežna oprema. Svaki korisnik računalne mreže koristi mrežnu opremu, bilo da se radi o terminalima u vlasništvu samog korisnika ili elementima mreže u vlasništvu davatelja mrežnih usluga. Mrežna oprema se koristi ne samo u svrhu pristupa Internetu, već i u svrhu razmjene Informacija u drugim privatnim ili poslovnim mrežama.

Mrežna oprema je raznolika u smislu različitih uređaja s različitim svrhama, različitih tehnologija koje ti uređaji koriste, ali i različitih proizvođača, a ipak – za pristup udaljenim informacijama putem računalne mreže potrebna je interoperabilnost svih uređaja koji sudjeluju u komunikaciji. Osim osnovne potrebe za interoperabilnošću mrežne opreme, pred nju se stavljaju i mnogi drugi zahtjevi s obzirom na uslugu koja se njome prenosi. Za različite upotrebe potrebna je različita mrežna oprema s različitim svojstvima. Zbog tih zahtjeva postavljenih pred mrežnu opremu potrebna je analiza performansi računalne mreže i mrežne opreme.

Predmet proučavanja ovog završnog rada upravo je mrežna oprema sa svojim karakteristikama i analiza performansi mrežne opreme u stvarnoj računalnoj mreži. Svrha rada je opisati karakteristike računalnih mreža i mrežne opreme te prikazati značajne konfiguracije računalne mreže u cilju mjerenja performansi mrežne opreme.

Cilj rada je provesti analizu performansi mrežne opreme putem programskog paketa SolarWinds. Ova tema je odabrana zbog želje za boljim upoznavanjem alata za nadzor mreže i njezinih elemenata te upoznavanja s radom istih.

Tvrtke koje se bave postavljanjem i održavanjem računalnih mreža i telekomunikacijski operateri svakodnevno rade s ovakvim alatima zbog čega je važno znati kako takvi alati funkcioniraju i koje su njihove mogućnosti.

Prije samog postupka analize stvarnih performansi neke mrežne opreme potrebno je definirati nazivne performanse mrežne opreme koja će biti analizirana, moguće konfiguracije računalnih mreža u kojima je moguća analiza performansi mrežne opreme te odgovoriti na pitanja: „Što su performanse mrežne opreme?“ i „Kako se mjere performanse mrežne opreme?“. Navedena problematika će biti obrađena kroz sljedećih 5 cjelina:

1. Uvod
2. Karakteristike mrežne opreme
3. Performanse odabrane mrežne opreme
4. Pregled konfiguracija računalne mreže
5. Mjerenje performansi mrežne opreme
6. Analiza performansi mrežne opreme
7. Zaključak

Uvodno poglavlje daje osnovnu sliku o radu te definira cilj i strukturu rada. U drugom poglavlju pod nazivom **Karakteristike mrežne opreme** bit će navedeni elementi koji čine računalne mreže, njihova uloga u povezivanju računala te njihove karakteristike. U cjelini **Performanse mrežne opreme** zadatak je navesti opremu koja će se koristiti i objasniti koju ulogu će imati u mreži koja će kasnije biti analizirana. Treća cjelina, **Pregled konfiguracija računalne mreže**, odnosi se na upoznavanje različitih računalnih mreža, njihov odnos i moguće konfiguracije računalnih mreža. Cjelina **Mjerenje performansi mrežne opreme** koncentrirana je na pojam mjerenja performansi, tu će biti razrađene mjere za performanse mreže i opreme te načini na koje se performanse mogu mjeriti. **Analiza performansi mrežne opreme** je završni i najveći dio ovog rada. Ovdje će biti prikazano kako se može vršiti analiza korištenjem Solardwinds programskog paketa, što se može analizirati i kako se rezultati mogu upotrijebiti. U **Zaključku** će biti izneseni završni komentari i spoznaje koje se odnose na ovaj završni rad.

2. Karakteristike mrežne opreme

Mrežni protokoli i funkcije koje obavljaju izvode se na mrežnim uređajima, a mrežni uređaji s vezama (engl. *linkovima*[1]) koji ih međusobno povezuju čine mrežnu opremu. Mrežnu opremu najjednostavnije je podijeliti na aktivnu i pasivnu. Kod podjele na pasivnu i aktivnu opremu najbitniji kriterij je posjedovanje mogućnosti logičkog odlučivanja prilikom usmjeravanja prometa u mreži i obrade informacija. S obzirom na taj kriterij u kategoriju pasivne opreme spadaju: Kablovi (bakreni ili optički), konektori koji omogućavaju spajanje kablova u utore, razvodne ploče za spajanje više *linkova*, komunikacijski ormari za pohranu mrežnih elemenata, sustav za napajanje aktivne mrežne opreme, pristupna točka, modem, ponavljač signala (engl. *repeater*) i koncentrator (engl. *hub*). U aktivnu opremu spadaju računala i poslužitelji koji generiraju promet međusobnom razmjenom informacija te drugi mrežni uređaji kao što su usmjernik (engl. *router*), preklopnik (engl. *switch*), most (engl. *bridge*), pristupnik (engl. *gateway*) i računala. [1], [2]

2.1. Odnos mrežne opreme i OSI[2] referentnog modela

Različiti mrežni elementi obavljaju funkcije na različitim slojevima referentnog modela arhitekture računalne mreže pa je bitno za razumijevanje rada tih elemenata poznavati osnovne funkcije slojeva OSI (engl. *Open Systems Interconnection*) referentnog modela. Slojevita arhitektura, odnosno referentni modeli, služi za podjelu složene računalne mreže na jednostavnije dijelove koji se nazivaju slojevima. Paket[3] se pri slanju na strani pošiljatelja spušta s viših slojeva prema nižim, a na strani primatelja s nižih prelazi na više.

Svaki sloj paketu dodaje informacije koje su njemu bitne za obradu paketa i taj dio paketa dodan korisničkoj informaciji zove se zaglavlje paketa. OSI referentni model razlikuje sljedećih sedam slojeva mreže: [3], [4]

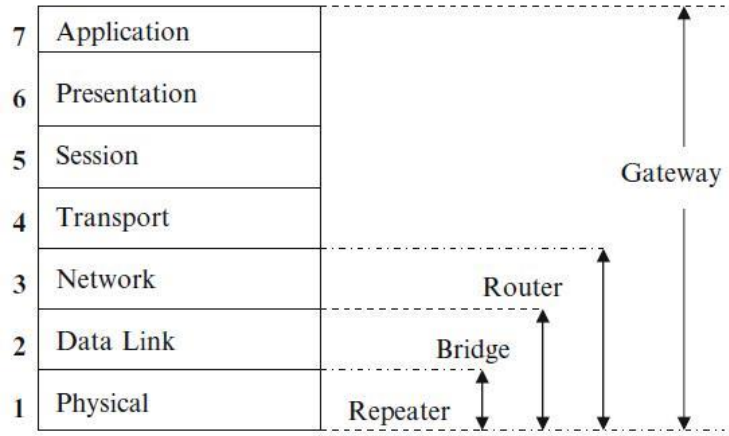
1. Fizički sloj (engl. *physical layer*) se odnosi na slanje električnih, svjetlosnih ili radio signala i njihovu pretvorbu u niz bitova i obrnuto što se naziva procesom moduliranja i demoduliranja. [1]

[1] *Link* je veza između dva mrežna uređaja, može biti realiziran kao žičani ili bežični.

[2] OSI je standard postavljen od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (engl. *International Organization for Standardization*, ISO) koji definira računalnu mrežu tako da protokole u mreži dijeli na 7 slojeva.

[3] Prometni entitet ili prijenosna jedinica u procesu prijenosa informacija računalnim mrežama.

2. Sloj podatkovne veze (engl. *data link layer*) vrši prilagodbu paketa u oblik koji se može prenositi *linkom*. [4]
3. Mrežni sloj (engl. *network layer*) vrši odabir najboljeg puta za svaki paket koji se šalje i usmjerava ga kroz mrežu do odredišta korištenjem Internet protokola (engl. *Internet Protocol*, IP[4]) protokola. [4]
4. Transportni sloj (engl. *transport layer*) vrši multipleksiranje i demultipleksiranje te kontrolu prijenosa informacija u mreži s mogućnošću kontrole toka i zagušenja te ispravljanja pogrešaka ako to aplikacija zahtjeva. [4]
5. Sloj sesije (engl. *session layer*) upravlja uspostavom i održavanjem komunikacije između aplikacija. [4]
6. Prezentacijski sloj (engl. *presentation layer*) vrši prilagodbu informacija kako bi aplikacije koje komuniciraju mogle razumjeti razmijenjene informacije. [4]
7. Aplikacijski sloj (engl. *application layer*) pruža aplikacijama koje to zahtijevaju mogućnost pristupa mreži. [4]



Slika 1: Prikaz mrežne opreme i pripadajućih slojeva OSI referentnog modela [3]

Prikaz uređaja s OSI slojevima kojima pripadaju nalazi se na slici 1 gdje se vidi da ponavljač signala djeluje na fizičkom sloju, most na sloju podatkovne veze, usmjernik na mrežnom sloju i pristupnik na višim slojevima, odnosno transportnom sloju, sloju sesije, prezentacijskom i aplikacijskom sloju. Iz slike se također vidi i da navedeni uređaji mogu

[4] Protokol koji određuje oblik paketa i shemu njihovog logičkog adresiranja.

obavljati funkcije uređaja koji se nalaze na slojevima ispod njih, tako pristupnik može obavljati funkciju pristupnika, usmjernika, mosta i ponavljača signala. [3]

2.2. Mrežni kablovi i modemi

Računala nisu oduvijek imala mogućnost međusobnog umrežavanja već je prijenos podataka s jednog računala na drugo bio vršen korištenjem prijenosnih memorija. Dio računala koji se koristi za umrežavanje naziva se mrežnom karticom ili karticom mrežnog sučelja (engl. *Network Interface Card*, NIC). Na njemu je smješten mrežni ulaz za registrirani konektor 45 (engl. *Registered Jack*-45, RJ-45[5]) konektor mrežnog kabla ako se radi o žičanom NIC-u. Sami NIC je često ugrađen u matičnu ploču računala, iako može biti i zasebna komponenta. Ako se radi o bežičnom NIC-u onda umjesto mrežnog ulaza posjeduje odašiljače mrežnog signala. [5]

Za žičano povezivanje računala najčešće se koriste bakrena nezaštićena uvrnuta parica (engl. *Unshielded Twisted Pair*, UTP) kablovi koji za razliku od zaštićene uvrnute parice (engl. *Shielded Twisted Pair*, STP) kablova ne posjeduju dodatnu ovojnicu koja ih štiti od vanjskih utjecaja. Ovi kablovi se sastoje od osam bakrenih žica isprepletenih u parove, a frekvencija kojom su isprepleteni definira kategoriju kabla. Kategorije UTP kablova jednostavno se označavaju brojem, gdje su kablovi kategorije 1 prvi koji su korišteni, a viši brojevi su naknadno dolazili u upotrebu. Današnje mreže uglavnom koriste kablove kategorija 5 (kapacitet 100 megabita po sekundi) i 6 (kapacitet 1000 megabita po sekundi). [6]

Optičke niti, bakrene parice i koaksijalni kablovi također se koriste za prijenos podataka u računalnim mrežama, ali oni se za razliku od UTP i STP kablova najčešće koriste za pristup Internetu, a ne kao veze unutar lokalne mreže. Bakrene parice su se koristile za pristup javnoj telefonskoj mreži i zato su prikladne i za pristup Internetu, budući da mrežna infrastruktura već postoji. Danas se pristup Internetu bakrenim paricama ostvaruje putem digitalne pretplatničke linije (engl. *Digital Subscriber Line*, DSL). DSL je skup tehnologija koje puno bolje iskorištavaju potencijal bakrene parice i formiraju 3 odvojena frekvencijska spektra, jedan za standardni telefonski promet, jedan za promet prema korisniku i jedan za

[5] Osmožilni konektor uobičajen za kablove kojima se povezuju računala u lokalnim mrežama.

promet od korisnika. Postoji više različitih DSL tehnologija, a ovisno o tome koja se tehnologija upotrebljava različite frekvencijske širine su dodijeljene ovim odvojenim spektrima. Dva bitna mrežna elementa nalaze se na krajevima bakrene parice kod DSL tehnologija, a to su pristupni multipleksor digitalne pretplatničke linije (engl. *Digital Subscriber Line Access Multiplexer*, DSLAM) sa strane mrežnog poslužitelja i modem sa strane korisnika. Modem zaprima informacije u digitalnom obliku na strani korisnika i šalje ih visokim frekvencijama prema DSLAM-u koji zaprima takve signale od velikog broja modema te odvaja telefonski promet od internetskog i prosljeđuje dalje prema mreži poslužitelja.

Prema odredbi Međunarodne telekomunikacijske zajednice iz (engl. *International Telecommunication Union*, ITU[6]) 2003., DSL tehnologije preko bakrenih parica dostižu brzine od 24 megabita[7] po sekundi (kratica *Mbps*) u dolaznom i 2.5 *Mbps* u odlaznom smjeru, a danas te brzine mogu biti i znatno veće. [4]

Optičke niti se sve češće koriste za pristup Internetu. Moguć je pristup Internetu isključivo putem optičkih niti ili hibridni pristup u kojem se optička infrastruktura kombinira s nekom drugom. Optika do kuće (engl. *Fiber To The Home*, FTTH) je tehnologija koja se sve češće koristi za pristup Internetu, a kod koje je optička nit provučena do lokalne mreže korisnika, gdje se dalje pristup grana na uređaje koji zahtijevaju pristup Internetu. Postoje razne izvedbe FTTH tehnologije kojima se postižu razne brzine, moguće je postići i brzine od nekoliko gigabita u sekundi (kratica *Gbps*). Optički mrežni završetak (engl. *Optical Network Terminator*, ONT) je uređaj koji se nalazi kod korisnika i koji označava krajnju točku optičke mreže. S druge strane, kod mrežnog poslužitelja nalazi se završetak optičke linije (engl. *Optical Line Terminator*, OLT) koji vrši pretvorbu optičkih signala u električne kako bi informacije bile pogodne za usmjeravanje. Osim za pristup korisnika Internetu, optički *linkovi* se uspostavljaju i u mreži poslužitelja, kao i između različitih poslužitelja. [4]

Koaksijalni kablovi prikladni su za upotrebu na mjestima gdje je već provučena koaksijalna mreža za kabelsku televiziju. Mrežni operater optičkim nitima dolazi do susjedstva ili naselja gdje se spaja na kabelsku infrastrukturu koja se grana do pojedinih korisnika. Kod korisnika se nalazi modem kao i kod pristupa Internetu bakrenom paricom, ali u ovom slučaju radi se o drugačijem, kabelskom modemu. Specifikacije za prijenos podataka

[6] Međunarodna zajednica kroz koju privatne i javne organizacije planiraju razvoj telekomunikacija.

[7] Binarna znamenka (engl. *binary digit*, *bit*) je mjerna jedinica za količinu informacije. Jedan *bit* može poprimiti vrijednost 0 ili 1. *Megabit* (kratica *Mb*) iznosi 10^6 bita, a *kilobit* (kratica *kb*) 10^3 *bita*.

putem kabelske mreže (engl. *Data-Over-Cable Service Interface Specifications*, DOCSIS) je dokument čija odredba DOCSIS 2.0 definira brzine pristupa Internetu koaksijalnim kablom do 42.8 *Mbps* u dolaznom smjeru i 30.7 *Mbps* u odlaznom. [4]

2.3. Bežične veze

Iako ne spadaju u mrežnu opremu, bežične veze su također način povezivanja računala, stoga je važno spomenuti i njihove karakteristike. Skupina protokola koja se koristi za bežično povezivanje ime je dobila po Institutu inženjera elektrike i elektronike (engl. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE[8]), IEEE 802.11[9]. Standardni 802.11 protokoli danas su 802.11a, 802.11b, 802.11g i 802.11n, a osnovna razlika je prema dvije karakteristike. Prva je frekvencijski pojas na kojem rade, a druga je maksimalna brzina prijenosa. Prva inačica 802.11 protokola radila je na frekvencijskom pojasu 2.4 gigahertza[10] (kratica *GHz*) i podržavala je brzine do 11 *Mbps*, kasnije je ta inačica nazvana 802.11b. Nakon nje razvijene su inačice 802.11a i 802.11g jer je teoretska maksimalna brzina od 11 *Mbps* postala nedovoljna za potrebe korisnika, tako da te dvije inačice podržavaju maksimalne teoretske brzine do 54 *Mbps*, ali 802.11a radi na frekvencijskom pojasu od 5 *GHz*, a 802.11g na 2.4 *GHz*. Kako je i brzina od 54 *Mbps* postala nedovoljna budući da je to samo teoretska brzina, a stvarne brzine su znatno manje, IEEE je izbacio novu inačicu, 802.11n koja ima mogućnost rada na oba pojasa, 2.4 *GHz* i 5 *GHz*, te podržava teoretske maksimalne brzine do 600 *Mbps*. Frekvencijski pojas na 2.4 *GHz* je vrlo često upotrebljavan, ne samo od strane pristupnih bežičnih tehnologija nego i drugih uređaja, pa je na tom pojasu veća vjerojatnost smetnji iz okoline. Pojas na 5 *GHz* je manje opterećen, ali zbog veće frekvencije ima kraći domet i manji broj uređaja je kompatibilan s njim. [1]

---

[8] Organizacija koja se sastoji od inženjera, znanstvenika i studenata, najpoznatija po razvoju standarda za računalnu i elektroničku industriju.

[9] IEEE 802 skupina standarda se odnosi općenito na povezivanje u lokalnim mrežama, a 802.11 je podskupina koja se odnosi na bežično povezivanje.

[10] Mjerna jedinica za frekvenciju koja odgovara 10^9 napravljenih ciklusa u sekundi. Jedan megahertz (kratica MHz) iznosi 10^6 napravljenih ciklusa u sekundi, kilohertz (kratica kHz) 10^3 napravljenih ciklusa u sekundi, a hertz (kratica Hz) 1 napravljeni ciklus u sekundi.

2.4. Ponavljač signala, pristupna točka i koncentrator

Koncentrator se još naziva i višeportni ponavljač signala jer posjeduje najčešće između 4 i 24 porta i šalje signal koji dobije od jednog uređaja koji je spojen na njega na sve ostale spojene uređaje. Koncentrator se koristi za žičano spajanje mrežnih uređaja, a njegov ekvivalent za bežični pristup je pristupna točka (engl. *access point*). Budući da ne postupaju s podacima tako da upravljaju njihovim usmjeravanjem niti ih obrađuju, nego samo pružaju mogućnost spajanja fizičkim medijem na mrežu, spadaju u pasivnu mrežnu opremu. Srodan uređaj koncentratoru je ponavljač signala koji ima zadaću ponovo emitirati signal koji je dobio u svrhu obnavljanja njegove kvalitete kako bi se omogućio prijenos podataka većim udaljenostima. To su uređaji koji rade na prvom, odnosno fizičkom sloju referentnog modela što znači da ne prepoznaju okvire, datagrame ili pakete podataka, već rade isključivo s nizom bitova. [7] [1]

2.5. Most i preklopnik

Most je uređaj sloja podatkovne veze koji najčešće spaja dvije lokalne mreže (engl. *Local Area Network*, LAN) koje rade na istom protokolu tog sloja omogućavajući pritom nesmetan pristup resursima u drugom LAN-u. LAN-ovi su manje mreže koje povezuju nekoliko uređaja, detaljnije su razrađeni u 4. poglavlju. Može se reći da je funkcija mosta povezivanje dva LAN-a i prosljeđivanje informacija između njih. Osim te funkcije, most obavlja i funkciju ponavljača signala u smislu da obnavlja ili pojačava signal, pa na mjestima u mreži gdje se koristi most nije potrebno još postavljati i ponavljač signala. Funkcija mosta može se podijeliti u 3 zadaće:

- Učenje;
- Filtriranje i
- Prosljeđivanje.

Kada se na most prvi puta spoje LAN-ovi koji se žele preko njega povezati on prvo promatra promet koji ostvaruju uređaji u njima te na osnovu njega formira tablice prema kojima kasnije donosi odluku treba li promet proslijediti ili filtrirati. U spomenutim tablicama nalaze

se adrese kontrole pristupa mediju (engl. *Medium Access Control*, MAC[11]) uređaja u svakom od LAN-ova. MAC adresa je jedinstvena oznaka mrežnog uređaja, a još se naziva i fizičkom adresom uređaja jer se dodjeljuje uređaju prilikom tvorničke izrade, odnosno dodjeljuje se mrežnom sučelju uređaja. Ako uređaj posjeduje više mrežnih sučelja posjedovat će i više MAC adresa. Zbog lakšeg raspoznavanja LAN-ova, oni se mogu nazvati LAN A i LAN B. Kada do mosta stigne paket, on čita iz zaglavlja protokola sloja podatkovne veze MAC adresu uređaja s kojeg je paket stigao i MAC adresu uređaja kojem je paket namijenjen. U slučaju da se obje adrese nalaze u LAN-u A, on vrši funkciju filtriranja, odnosno šalje paket na njegovo odredište unutar istog LAN-a. Ako se iz LAN-a A okvir šalje u LAN B, onda vrši funkciju prosljeđivanja, odnosno šalje paket na odredište u LAN-u B. [3] [1]

Brzina rada mosta je većinom uvjetovana brzinom koju podržavaju mrežni ulazi na njemu budući da se nalazi nisko u slojevitoj arhitekturi pa je vrijeme obrade relativno kratko. mostovi najčešće posjeduju mrežne ulaze koji podržavaju brzine prijenosa od 10 *Mbps*, 100 *Mbps* ili 1000 *Mbps*. Problem nastaje kada je brzina kojom uređaj šalje podatke 100 *Mbps*, a uređaj kojem su podaci namijenjeni 10 *Mbps*. U tom slučaju dolazi do punjenja memorije mosta koja je ograničena te će, u slučaju da se brzina slanja ne smanji ili brzina primanja ne poveća, morati početi odbacivati podatke zbog preopterećenja memorije. [1]

Mostovi su u današnje vrijeme rijetko u upotrebi kao sami uređaji, njihovu ulogu u mrežama uglavnom obavljaju preklopnici. Preklopnik je sličan uređaj mostu i vrši iste funkcije koje vrši i most, ali posjeduje mogućnosti za dodatne funkcije. Za razliku od mostova koji posjeduju mali broj mrežnih ulaza, preklopnici ih mogu imati više desetaka što je često potrebno zbog velikog broja uređaja koji se povezuju u današnjim mrežama. Zbog mogućnosti da povezuje velik broj računala može se koristiti i umjesto koncentratora. Izraz preklopnik se može koristiti za klasični *Ethernet*[12] preklopnik koji služi za povezivanje računala u mrežu i posjeduje inteligentne funkcije, ali i za uređaje koji omogućavaju spajanje velikog broja telefonskih aparata. [1]

[11] Sloj kontrole pristupa mediju ili MAC sloj je dio sloja podatkovne veze odgovoran za prijenos podatkovnih paketa od jednog NIC-a prema drugom.
[12] Skupina standarda za umrežavanje uređaja u lokalnoj mreži, također se naziva i IEEE 802.3.

2.6. Usmjernik

Usmjernik djeluje na mrežnom sloju slojevite arhitekture računalne mreže, a vrši funkciju povezivanja mreža i odabira najboljeg puta kroz mrežu za svaki paket koji stigne do njega. Kod odabira najboljeg puta kroz mrežu nije bitan samo najkraći put, nego usmjernik mora voditi računa i o tome da ne preoptereti određene *linkove* dok su drugi pod minimalnim ili nikakvim opterećenjem. Svi usmjernici posjeduju nekoliko zajedničkih karakteristika:

- Povezuje mreže koristeći različite mrežne identitete;
- Šalje preko LAN-a samo one podatke koji su potrebni na konačnom odredištu;
- Provjerava i obnavlja pakete bez prosljeđivanja grešaka na lokalnu mrežu i
- Pohranjuje i prosljeđuje podatkovne pakete sa zaglavljima u kojima se nalaze izvorišna i odredišna adresa mreže s jedne lokalne mreže ili mreže širokog područja pokrivanja (engl. *Wide Area Network*, WAN) na drugi. [3]

Usmjernici čine jezgru svake složene mreže, a primjenjuju se i u LAN-u i u WAN-u.

WAN je mreža koja pokriva veliko područje, a nešto više o njoj nalazi se u 4. poglavlju. Mreže koje usmjernici povezuju često koriste različite protokole sloja veze koji imaju različite zahtjeve za oblikom podatkovnih jedinica koje prenose, a njihova zadaća je prilagoditi paket tako da je razumljiv primatelju. [3]

Usmjeravanje na mrežnom sloju vrši se na osnovi IP adrese[13]. IP adresa mora biti jedinstvena u mreži u kojoj se nalazi te ju mora posjedovati svaki uređaj koji pristupa mreži, a ako ima više od jednog sučelja za pristup mreži onda mora imati i više IP adresa, po jednu za svako sučelje. [1]

2.7. Pristupnik

Pristupnik je uređaj koji povezuje potpuno različite mreže, najčešće LAN i WAN, a djeluje na višim slojevima. Za razliku od ostalih spomenutih uređaja, pristupnici razumiju sadržaj podatkovne jedinice koju propuštaju u drugu mrežu te može vršiti prilagodbu

[13] Format adrese ovisi o verziji IP-a koja se koristi, a trenutno se većinom koristi verzija 4 (kratica IPv4). IPv4 adresa je numerička oznaka duljine 32 *bita*, napisana kao četiri decimalna broja odvojena točkama. Svaki od četiri broja u adresi može poprimiti vrijednosti od nula do 255.

informacija s obzirom na protokol transportnog sloja koji se koristi. Na razini transportnog sloja može se reći da pristupnik omogućava komunikaciju aplikacija [14]koje koriste različite protokole. Na razini aplikacijskog sloja ovaj uređaj ima mogućnost prijevoda poruke poslane u jednoj aplikaciji tako da bude razumljiva drugoj aplikaciji. Primjer je poruka e-pošte koja se šalje iz preglednika e-pošte, a primatelj ju dobiva kao poruku na svom mobilnom uređaju (engl. *Short Message Service*, SMS). Pristupnik je termin koji se općenito koristi za uređaj koji omogućava međusobnu komunikaciju aplikacijama koje rade na višim razinama slojevite arhitekture. [1]

2.8. Računala

Računala koja sudjeluju u komunikaciji najčešće se dijele na klijente i poslužitelje (engl. *server*). Poslužitelj je moćno računalo koje pohranjuje informacije te ih isporučuje na zahtjev računala. Ovo su krajnji uređaji u telekomunikacijskoj mreži, a često sadrže i funkcije koje nisu vezane za umreženi rad. U odnosu klijent-poslužitelj[15], najčešće se dešava da sadržaj pohranjen na poslužitelju zahtijeva velik broj klijenata, zato je za poslužitelja bitno da ima visoku brzinu pristupa mreži, mogućnost obrade i odgovora na zahtjeve velikom brzinom te veliku količinu memorije za pohranu sadržaja. Dok se kod klijenata kao bitniji smjer prijenosa smatra onaj dolazni, kod poslužitelja je obrnuto. [1]

[14] Program koji omogućava korisniku obavljanje željenih funkcija

[15] Model komunikacije u kojem jedno računalo distribuira uslugu ili sadržaj i naziva se poslužiteljem, a veći broj računala koristi tu uslugu i nazivaju se klijentima.

3. Performanse odabrane mrežne opreme

Analiza performansi biti će obavljena u kućnoj mreži koja se sastoji od dva stolna računala (dalje u tekstu BRUNO-PC i kratica SR), jednog prijenosnog računala (dalje u tekstu kratica PR) i jednog mobilnog uređaja (dalje u tekstu kratica MU) kao terminala te dva višenamjenska mrežna uređaja: *Enkom Extended* A1521-i koji obavlja funkciju modema i mosta (dalje u tekstu Modem) te *Linksys* WRT 54GL koji obavlja uloge pristupne točke, preklopnika, usmjernika i pristupnika (dalje u tekstu Usmjernik).

Što se radnih stanica tiče, predmet promatranja je njihov NIC, odnosno njegove sposobnosti. Oba stolna računala spajaju se žičanim putem na Usmjernik pa su njihove najbitnije performanse obilježja NIC-eva, odnosno prijenosne brzine koje podržavaju. Oba stolna računala opremljena su NIC-evima koji podržavaju brzine prijenosa do 100 *Mbps*. PR i MU spajaju se na Usmjernik bežičnim putem pa je njihovo najvažnije obilježje pristupna tehnologija koju njihovi NIC-evi podržavaju. PR podržava IEEE 802.11b i 802.11g standarde, a MU uz ta dva još i 802.11n standard s oba dostupna frekvencijska pojasa, 2.4 *GHz* i 5 *GHz*.

Kod Modema je također najvažnija performansa brzina prijenosa koju podržava na svojim mrežnim ulazima. Budući da povezuje DSL liniju, odnosno bakrenu paricu s jedne strane i lokalnu mrežu s druge strane, posjeduje dva sučelja. Brzina prijenosa na sučelju prema Internetu je standardna brzina za asimetričnu DSL (engl. *Asymmetric Digital Subscriber Line,* ADSL[16]) tehnologiju, pristupnu tehnologiju iz skupine DSL tehnologija.

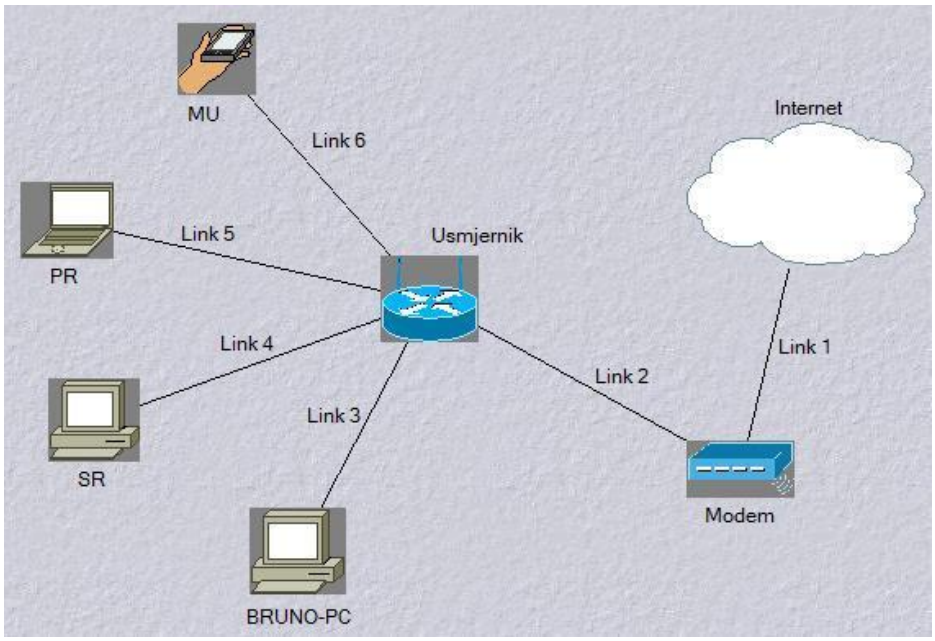
Najveće brzine na tom sučelju, u slučaju da se koristi ADSL tehnologija, su ranije spomenute, 24 *Mbps* u dolaznom i 2.5 *Mbps* u odlaznom smjeru. S obzirom na to da je duljina bakrene parice od DSLAM-a do Modema u ovom slučaju oko 2.5 km, dolazi do pada te maksimalne brzine prijenosa pa tako ona na ovom sučelju iznosi 11215 kilobita po sekundi (kratica *kbps*) u dolaznom smjeru i 880 *kbps* u odlaznom smjeru. Na drugom sučelju se nalaze mrežni ulazi koji podržavaju brzine do 100 *Mbps*. Uređaj koji se koristi u ovom slučaju kao Modem,

Enkom Extended A1521-i, je u vlasništvu mrežnog operatera koji ga korisnicima daje na korištenje i najčešće se koristi kao jedinstveni mrežni čvor u lokalnoj mreži, što znači da može obavljati funkcije koje obavlja u ovoj mreži i funkcije koje u ovoj mreži obavlja Usmjernik. U

[16] Pristupna tehnologija koja spada u skupinu DSL tehnologija, a za koju je karakteristična znatno veća brzina prijenosa podataka u dolaznom smjeru nego u odlaznom.

ovom slučaju nije tako upotrebljen jer sadrži *firmware*[17] mrežnog operatera koji korisnicima uvelike ograničava mogućnost konfiguracije.

Usmjernik je središte ove mreže i uređaj koji obavlja najviše mrežnih funkcija. *Linksys* WRT 54GL se naziva bežičnim usmjernikom jer osim funkcije usmjeravanja prometa vrši i ulogu pristupne točke, odnosno posjeduje mogućnost primanja i odašiljanja radio signala putem kojih omogućava komunikaciju putem IEEE 802.11 tehnologija. Posjeduje jedan WAN i četiri LAN ulaza i na svima podržava brzine do 100 *Mbps*. Za bežično spajanje podržava IEEE-ove standarde 802.11b i 802.11g s maksimalnom brzinom prijenosa 54 *Mbps*, ali uz mogućnost smanjivanja maksimalne brzine prijenosa ako je veza između njega i uređaja s kojim se spaja loša zbog utjecaja okoline ili udaljenosti u svrhu održavanja stabilne veze. Ovaj uređaj je u privatnom vlasništvu i sadrži firmware DD-WRT v24-sp2 *standard* koji korisniku omogućava potpunu konfiguraciju uređaja.



Slika 2: Grafički prikaz odabrane mrežne opreme

Izvor: izradio autor

Navedena oprema međusobno je povezana *linkovima* kao što je prikazano na slici 2. Modem je prvi uređaj u lokalnoj mreži i služi za pristup Internetu preko *Linka* 1. Na njega nije izravno spojena nijedan terminal, njegov zadatak je da sav internetski promet proslijedi na

[17] Programska podrška koja upravlja osnovnim funkcijama uređaja

Usmjernik i sav promet s Usmjernika proslijedi prema Internetu. Usmjernik je spojen na Modem preko *linka* 2, a radne stanice spajaju se na Usmjernik žičanim ili bežičnim putem tvoreći *linkove* 3-6. Kapaciteti i karakteristike žičanih *linkova* su sljedeći:

- *Link* 1: Bakrena parica, kapaciteta 11215 *kbps* u dolaznom smjeru i 880 *kbps* u odlaznom smjeru, povezuje Modem na Internet;
- *Link* 2: UTP kabel kategorije 5, kapaciteta 100 *Mbps* u svakom smjeru, povezuje Modem i Usmjernik;
- *Link* 3: UTP kabel kategorije 5, kapaciteta 100 *Mbps* u svakom smjeru, povezuje Usmjernik i radnu stanicu BRUNO-PC i
- *Link* 4: UTP kabel kategorije 5, kapaciteta 100 *Mbps* u svakom smjeru, povezuje Usmjernik i radnu stanicu SR

Linkovi 5 i 6 su bežične veze s kapacitetom 54 *Mbps* u svakom smjeru. *Link* 5 povezuje prijenosno računalo i Usmjernik, a *link* 6 povezuje mobilni uređaj i Usmjernik.

Na slici 2 se vidi da se radi o mrežnoj topologiji zvijezde (detaljnije o mrežnim topologijama u 4. poglavlju), budući da je središnji čvor usmjernik i na njega se spajaju svi uređaji u lokalnoj mreži, kao i veza prema Internetu. Osim što je topološki mreža konfigurirana u oblik zvijezde, bitno je napomenuti i da se radi o centraliziranoj mreži (detaljnije o centraliziranim i distribuiranim mrežama u 4. poglavlju) jer jedino usmjernik posjeduje funkcije upravljanja prometom.

Brzina prijenosa koju terminali[18] iz ove mreže mogu ostvariti prema Internetu ovisi o mnogim čimbenicima. Prvo treba uzeti u obzir da je terminal spojen na lokalnu mrežu, odnosno na Usmjernik. Ako se radi o žičanoj vezi, brzina prijenosa koju može postići je na tom *linku* 100 *Mbps*, a ako se radi o bežičnoj najveća brzina koju može ostvariti je 54 *Mbps*. Važno je istaknuti i kako brzina bežičnog *linka* uvelike ovisi o vanjskim utjecajima i smetnjama, pa tako Usmjernik može smanjiti kapacitet linka kako bi održao stabilnu vezu s terminalom.

Sljedeći čimbenik je *Link* 2, odnosno veza između Modema i Usmjernika. U ovom je slučaju to *link* kapaciteta 100 *Mbps* i može stvarati usko grlo[19] (*bottleneck*) jer kapacitet tog

[18] Uređaj koji označava prekid računalne mreže.

[19] Izraz koji se koristi za dio sustava koji ograničava rad cjelokupnog sustava.

linka dijele svi terminali. Ako svi terminali istovremeno vrše prijenos podataka s Interneta, svakom se dodjeljuje jedan kanal[20] što znači da se njihova brzina prijenosa smanjuje s rastom broja terminala koji u tom trenutku vrše prijenos u istom smjeru. Budući da je kapacitet tog *linka* jednak kapacitetima *linkova* žičano spojenih terminala (100 *Mbps* u svakom smjeru), u slučaju da dva takva terminala zahtijevaju prijenos s Interneta prema lokalnoj mreži, oba neće moći ostvariti brzine od 100 *Mbps*, nego će zbroj njihovih brzina iznositi 100 *Mbps*, iako im kapaciteti *linkova* koji ih povezuju s Usmjernikom omogućavaju svakome po 100 *Mbps*.

Budući da je *Link* 1 također *link* čiji kapacitet dijele svi terminali u mreži, a ima znatno manji kapacitet od *Linka* 2, on je taj koji će zapravo u ovoj mreži najčešće stvarati usko grlo. 11215 kbps kojih podržava Link 1 je znatno manji kapacitet od 100 Mbps koje omogućavaju Link 2 i linkovi žičano spojenih terminala, a osim toga se i dijeli na sve spojene terminale na isti način kao i Link 2. Najveća teoretska brzina koju neki terminal može ostvariti u prijenosu podataka s Interneta zbog toga iznosi 11215 kbps, a u smjeru od terminala prema Internetu 880 kbps.

Posljednji čimbenik koji određuje ostvarenu brzinu prijenosa podataka prema Internetu ili s Interneta je sami Internet. Internet je skup mreža i u njemu se odvija veliki broj procesa prilikom svake veze između terminala u lokalnoj mreži i nekog terminala na Internetu. Točka s kojom terminal iz ove lokalne mreže komunicira također ima određene brzine pristupa Internetu i ako su one niže od ranije spomenutih brzina pristupa terminala iz ove lokalne mreže mogu napraviti novo usko grlo i dodatno smanjiti brzinu prijenosa podataka. Zbog toga se realne brzine prijenosa prema Internetu i s Interneta ne mogu točno predvidjeti bez poznavanja svih elemenata koji sudjeluju u prijenosu, ali se mogu predvidjeti najveće moguće brzine.

[20] Dio ukupnog kapaciteta *linka* koji koristi jedan terminal.

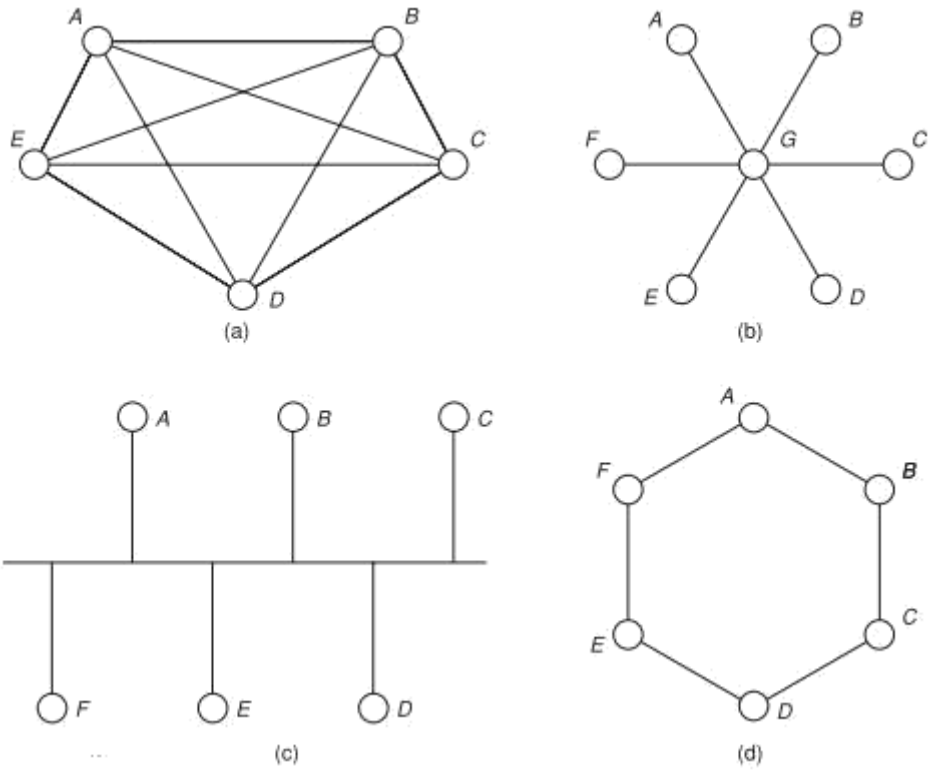
4. Pregled konfiguracija računalne mreže

Računalne mreže mogu biti izvedene na razne načine, moguće je korištenje razne mrežne opreme u različitom rasporedu kako bi se uspješno povezala računala. Kada se govori o konfiguraciji mreže potrebno je poznavati neke osnovne pojmove. Veza između dvije točke u mreži kojom se šalju paketi naziva se *link*. Više aplikacija može koristiti isti *link* za slanje i primanje informacija tako da svaka koristi dio *linka*. Takav proces dijeljenja *linka* naziva se multipleksiranje, a dio *linka* koji se koristi za jedan prijenos informacija naziva se kanalom. Na krajevima *linkova* nalaze se čvorovi u kojima se paketi usmjeravaju, a mogu označavati i izvorište i odredište paketa. Usmjeravanje je proces odabira najboljeg puta između dva čvora kojim se paket može poslati. [7]

Konfiguracija mreže uvelike ovisi o području koje ta mreža pokriva. S obzirom na područje koje pokrivaju, razlikuju se 3 osnovne vrste računalnih mreža: LAN, mreža koja pokriva područje grada (engl. *Metropolitan Area Network*, MAN) i WAN. LAN je mala računalna mreža koja se sastoji od računala koja pripadaju jednom kućanstvu, zgradi ili poslovnom prostoru te je najčešće radijusa do 1 km. MAN je veća računalna mreža koja pokriva područje radijusa od 1 do 50 km, a koristi se najčešće u gradovima ili naseljima u kojima se želi postići brža i sigurnija komunikacija između ljudi koji tamo prebivaju. WAN je računalna mreža radijusa preko 50 km i sastoji se od više LAN-ova ili MAN-ova. Najpoznatija svjetska mreža je Internet koji se može smatrati WAN-om, iako zapravo nije jedna mreža nego skup mreža. [3], [1]

4.1. Mrežne topologije

Osnovno pitanje kod konfiguracije mreže je koja će se mrežna topologija koristiti. Mrežna topologija je plan po kojem se čvorovi u mreži međusobno povezuju. Četiri su osnovne vrste mrežnih topologija prikazane na slici 2 gdje su čvorovi prikazani krugovima koji su označeni slovima međusobno povezani *linkovima* na različite načine. Klasične mrežne topologije nazivaju se svaki sa svakim (engl. *mesh*) topologija, topologija zvijezde, topologija sabirnice i topologija prstena. [7]



Slika 3: Mrežne topologije: a) *mesh* topologija b) topologija zvijezde c) topologija sabirnice d) topologija prstena [7]

Kada su svi čvorovi međusobno izravno povezani radi se o topologiji svaki sa svakim. Iako se čini kao najlogičniji način za povezivanje čvorova, u stvarnosti je vrlo rijetka. Ako se ukupan broj čvorova označi kao N, onda je broj potrebnih *linkova* da bi se taj čvor povezao sa svim ostalim čvorovima u mreži jednak N-1. Kada se uzme u obzir da svaki čvor mora biti povezan sa svima formula koja izračunava broj potrebnih *linkova* glasi:

$$\text{ukupan broj} = \frac{(N-1)}{2}$$. [7]

Iz priložene formule se lako može zaključiti veliki nedostatak ove topologije. Već kod srednje velikih mreža od nekoliko čvorova potreban broj *linkova* je izuzetno velik što izgradnju takve mreže čini neisplativom. Prednost ovakve topologije je mogućnost upravljanja paketima u svakom čvoru i posjedovanje izravnog *linka* prema bilo kojem čvoru u mreži što se naziva potpuno distribuiranom kontrolom. Osim korištenja izravne veze, čvorovi mogu usmjeravati pakete alternativnim putevima preko drugih čvorova u slučaju da se desi prekid na izravnom *linku*. Taj proces se naziva adaptivno usmjeravanje. [7]

Topologija zvijezde česta je topologija u LAN-ovima. Najveća prednost topologije zvijezde je njezina jednostavnost i ekonomičnost. Na jedan centralni čvor spajaju se svi ostali čvorovi i svaka komunikacija između čvorova vrši se preko njega. To znači minimalan broj *linkova* i znatno jednostavnije upravljanje prometom nego kod ostalih topologija. Proces upravljanja svim *linkovima* u jednom čvoru naziva se centralizirana kontrola. [7]

Topologija sabirnice također je vrlo često korištena u LAN-ovima. Jedan od problema kod ove topologije je što svi čvorovi u mreži potencijalno mogu vidjeti sve pakete koji prolaze središnjim *linkom* što dovodi u pitanje sigurnost prijenosa. Drugi značajan problem ove topologije je kolizija, odnosno sudaranje tokova budući da je višestruki pristup središnjem mediju neizbježan. MAC, protokol sloja podatkovne veze, služi za regulaciju pristupa zajedničkom mediju i zadužen je da svede ove kolizije na minimum. [7]

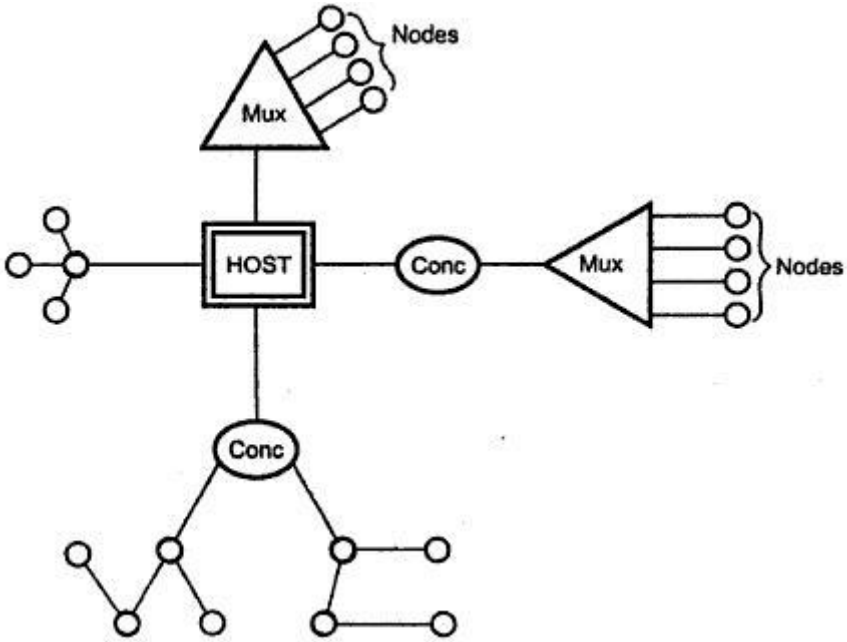
Prstenasta topologija je još jedna topologija koja se uglavnom susreće u LAN-ovima. Može biti izvedena fizički u obliku prstena, gdje su čvorovi povezani jedan s drugim u krug kao što je prikazano na slici 2 d), ili mogu biti fizički povezani u sabirnicu, ali s načinom posluživanja kao u prstenastoj topologiji. U oba slučaja način usmjeravanja paketa u mreži ide unaprijed predodređenim kružnim putem, pritom prolazeći kroz druge čvorove ako paket nije namijenjen susjednom čvoru. Za razliku od topologije sabirnice, kod prstenaste topologije dolazi do komplikacija ili čak prekida rada mreže ako se uklanja neki od uređaja u prstenu. [7]

U stvarnosti najčešće se izgrađuju mješavine navedenih topologija, a najpopularnija od njih je hijerarhijska (engl. *tree*) topologija. Hijerarhijska topologija je mješavina topologije zvijezde i topologije sabirnice. Više koncentratora spojeno je međusobno topologijom sabirnice, a računala se zatim spajaju na koncentratore topologijom zvijezde. Ovakva topologija podržava znatno jednostavnije proširenje mreže nego što je to slučaj kod klasičnih topologija zvijezde i sabirnice. [8]

4.2. Centralizirane i distribuirane računalne mreže

Ovisno o topologiji i namjeni računalne mreže ona može biti konfigurirana kao centralizirana računalna mreža ili kao distribuirana računalna mreža. Centralizirane računalne mreže se mogu koristiti kao autonomni sustavi, ali i kao dio kompleksnije

računalne mreže. U središtu centralizirane računalne mreže može se nalaziti poslužitelj koji pruža uslugu uređajima na mreži ili mrežni čvor koji upravlja prometom i predstavlja poveznicu prema drugim mrežama. [9]



Slika 4: Centralizirana računalna mreža [9]

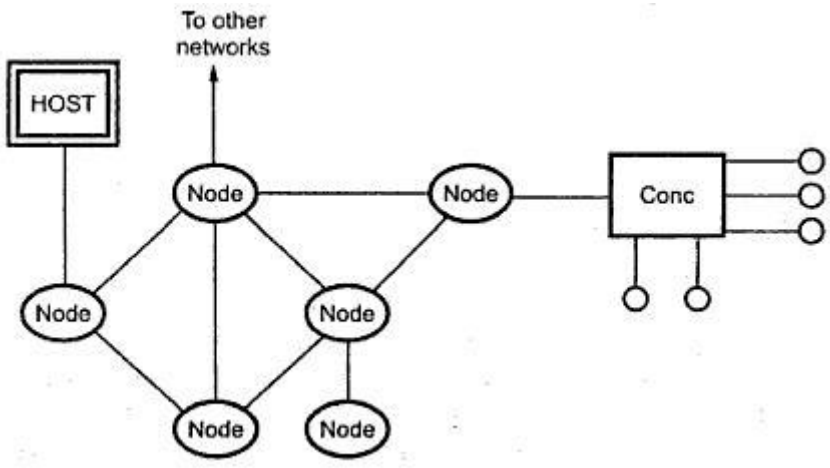
Prikaz centralizirane računalne mreže nalazi se na slici 4. Na slici se vide čvorovi (engl. *nodes*) koji u ovom slučaju označavaju terminale s pripadajućim *linkovima* koji se spajaju na multipleksor (engl. *multiplexor*, na slici *mux*), koncentrator (engl. *concentrator*, na slici *conc*) ili direktno imaju pristup centralnom poslužitelju (engl. *host*). Na slici se može jasno uočiti glavno obilježje ove mreže, svi uređaji u mreži moraju izravno ili neizravno biti povezani s centralnim uređajem, u ovom slučaju poslužiteljem. Topologije koje se najčešće koriste u ovakvim mrežama su topologija zvijezde i topologija sabirnice. [9]

Funkcionalnost terminala u ovakvoj konfiguraciji mreže nastoji se svesti na minimum, sva inteligencija mreže i sposobnost donošenja odluka o upravljanju informacijskim prometom koncentrirana je u središnjem elementu mreže. Ovakva je konfiguracija ekonomski privlačna kod izgradnje mreže jer samo centralni element vrši upravljačke funkcije pa je on jedini koji zahtijeva veća ulaganja, ostatak opreme u mreži je jednostavan i zbog toga ekonomski vrlo prihvatljiv. Zbog važnosti centralnog elementa on se ponekad

udvostručuje, odnosno postavljaju se dva ista uređaja kako bi se postigla veća pouzdanost mreže. [9]

Distribuirane mreže su kompleksnije od centraliziranih jer svaki čvor mora imati sposobnost usmjeravanja prometa. Osim što su zahtjevnije za dizajniranje i konfiguraciju, također su zahtjevnije i ekonomski gledano. Topologija koja se najčešće koristi je svaki sa svakim. Topologija svaki sa svakim uglavnom nije implementirana u potpunosti, nego su izravni *linkovi* izgrađeni samo između čvorova koji od njih imaju veliku korist. Ovakve mreže su često sklone preopterećenjima pa je bitno precizno definirati potrebne kapacitete *linkova* i načine usmjeravanja u mreži s obzirom na potrebe korisnika mreže što je vrlo kompleksan zadatak. [9]

Na slici 4 prikazana je distribuirana računalna mreža. Za razliku od centralizirane, ovdje je poslužitelj spojen samo na jedan čvor, a ostali čvorovi mu moraju pristupiti neizravno preko drugih čvorova. Također, veza prema drugim mrežama je izravno dostupna samo jednom čvoru, pa ostali ponovo moraju koristiti druge čvorove za slanje paketa izvan mreže. I u ovakvim mrežama mogu biti implementirani koncentratori kako bi se omogućilo spajanje većeg broja uređaja, a svi ti uređaji ponovo pristupaju cijeloj mreži preko jednog čvora. [9]



Slika 5: Distribuirana računalna mreža [9]

Na slici 5 prikazana je distribuirana računalna mreža. Za razliku od centralizirane, ovdje je poslužitelj spojen samo na jedan čvor, a ostali čvorovi mu moraju pristupiti

neizravno preko drugih čvorova. Također, veza prema drugim mrežama je izravno dostupna samo jednom čvoru, pa ostali ponovo moraju koristiti druge čvorove za slanje paketa izvan mreže. I u ovakvim mrežama mogu biti implementirani koncentratori kako bi se omogućilo spajanje većeg broja uređaja, a svi ti uređaji ponovo pristupaju cijeloj mreži preko jednog čvora. [9]

5. Mjerenje performansi mrežne opreme

Svaki pružatelj mrežnih usluga susreće se svakodnevno sa zahtjevima korisnika za definiranjem i unaprjeđivanjem performansi mreže i pripadajuće mrežne opreme. Pitanja koja se postavljaju su: „Što su mrežne performanse?“, „Koje su mjere performansi mreže?“ i „Kako izmjeriti performanse mreže?“. [10]

Sa stajališta korisnika, mrežne performanse označavaju sposobnost mreže da brzo i točno prenese određenu količinu informacija. Korisnika ne zanimaju pojedine mjere koje omogućavaju da taj prijenos bude na zadovoljavajućoj razini, nego to prepušta davatelju mrežnih usluga. Sa stajališta davatelja mrežnih usluga potrebno je jasno definirati koje ponašanje mreže je relevantno kod isporučivanja zadovoljavajuće kvalitete usluge, odnosno definirati mjere mrežnih performansi. [10]

5.1. Mjere performansi računalne mreže

S obzirom na raznolikost mreža i njihovih upotreba postoje mnoge mjere performansi koje se mogu promatrati, a ovo je šest osnovnih:

1. Kapacitet (engl. *capacity*)
2. Propusnost (engl. *throughput*)
3. Kašnjenje (engl. *delay*)
4. Vjerojatnost gubitka paketa (engl. *loss probability*)
5. Duljina reda (engl. *queue length*)
6. *Jitter* [3]

Kapacitet *linka* je mjera za količinu podataka koje sustav može posluživati u zadanom vremenu, a izražava se najčešće brojem prenesenih bitova u sekundi ili brojem prenesenih paketa u sekundi. [3]

Propusnost je mjera koja pokazuje koliko je prometa uspješno preneseno kroz mrežu ili na nekom dijelu mreže u nekom vremenskom intervalu. Maksimalna teoretska propusnost je jednaka kapacitetu, ali u stvarnosti je propusnost uvijek manja od kapaciteta. Izražava se istim mjernim jedinicama kao i kapacitet, a u lokalnim mrežama najčešće se koristi jedinica *Mbps*. [3]

Kašnjenje je vrijeme potrebno paketu da stigne na odredište i izražava se u sekundama. Kašnjenje je zbroj vremena posluživanja paketa u čvorovima, vremena čekanja na dostupnost prijenosnog *linka* i vremena prolaska *linkom*. Svaki paket koji se šalje putem mreže putuje od izvora preko više susjednih čvorova u mreži u kojima se nalaze usmjerivači koji ih usmjeravaju u skokovima do odredišta. Kašnjenje se može mjeriti između čvorova, ali i ukupno od izvora do odredišta što se naziva kašnjenje od kraja do kraja. Kašnjenje od kraja do kraja je najbitnije za konačne performanse mreže, iako se za performanse određenog elementa mreže gleda kašnjenje na jednom *linku* ili čekanje unutar jednog čvora. [3], [11]

Svaki paket u mreži ima dvije skupine komponenata kašnjenja: stalnu ili fiksnu i promjenjivu ili varijabilnu. [12]

Fiksne komponente kašnjenja su:

- Propagacija;
- Procesiranje i
- Serijalizacija.

Varijabilne komponente kašnjenja su:

- Kašnjenje zbog čekanja u redovima i
- Kašnjenje zbog veličine paketa.

Propagacija je vrijeme potrebno signalu da prođe duljinu vodiča, odnosno *linka*. Ovisi o duljini *linka* i prijenosnom mediju od kojeg je izgrađen. Procesiranje je obrada paketa u krajnjim točkama, uključuje procese kao što su paketizacija i depaketizacija, kompresija i dekompresija te kodiranje i dekodiranje. Sa strane pošiljatelja paket se mora napuniti podacima (paketizacija) i pripremiti za prijenos na daljinu (kodiranje, kompresija, dekodiranje i dekompresija), a sa strane primatelja proces je obrnut. Serijalizacija je proces

prilagodbe digitalnih informacija u oblik pogodan za prijenos fizičkim prijenosnim medijem. [12]

Čekanje u redovima nastaje zato što je količina prometa u mreži nepredvidljiva što dovodi do varijabilnog vremena čekanja paketa na obradu, a u slučaju preopterećenja mreže moguće je i zapunjavanje spremnika (engl. *buffer*) u mrežnim čvorovima što uzrokuje gubitak paketa. Kašnjenje zbog veličine paketa nastaje jer je svaki paket potrebno napuniti podacima kada se šalje pa se logički može zaključiti da će većim paketima biti potrebno duže da se napune. Neke aplikacije imaju fiksnu veličinu paketa pa se za njih ovo kašnjenje može predvidjeti i smatrati se fiksnom komponentom, ali računalne mreže uglavnom poslužuju velik broj aplikacija i mnoge nemaju definiranu veličinu paketa. [12]

Vjerojatnost gubitka paketa pokazuje kolika je šansa da će paket biti izgubljen. Paketi se u mreži najčešće gube zbog zapunjavanja spremnika u čvorovima. Osim zapunjavanja spremnika do gubitka paketa dolazi i kada je isporuka paketa izlaznom pristupniku mreži zakašnjela pa informacije koje se nalaze u tom paketu više nemaju nikakvu vrijednost. To se dešava kod stvarnovremenskih[21] aplikacija kao što je govor preko IP-a (engl. *Voice over IP*, VoIP[22]). Gubitak paketa stvara probleme kod stvarnovremenskih aplikacija, dok kod aplikacija prijenosa podataka koji se ne odvija u stvarnom vremenu nije važan čimbenik jer se izgubljeni paket šalje ponovo. Kod stvarnovremenskih aplikacija ponovno slanje paketa ne bi imalo smisla jer zakašnjela informacija nema nikakvu vrijednost. Utjecaj gubtika paketa na stvarnovremenske aplikacije ovisi o četiri čimbenika: [12]

1. Učestalost ili postotak izgubljenih paketa
2. Uzorak gubljenja paketa, je li slučajan ili se paketi gube u snopovima
3. Duljina paketa, veći paketi sadrže više informacije
4. Strategija prikrivanja gubitka paketa

Duljina reda označava potrebnu veličinu spremnika u određenim mrežnim čvorištima kako ne bi došlo do zapunjavanja spremnika i odbacivanja paketa. [3]

Jitter je mjera za razliku između kašnjenja dva susjedna paketa iste sesije na cijelom putu, odnosno od kraja do kraja mreže. Kod aplikacija koje koriste TCP kao transportni

[21] Aplikacije koje vrše komunikaciju u vremenskom okviru koji korisnik doživljava kao trenutni.
[22] Usluga prijenosa govora preko mreže bazirane na IP protokolu.

protokol visok *jitter* može uzrokovati pogreške u komunikaciji između primatelja i pošiljatelja prilikom kontrole brzine slanja paketa jer dolazi do isteka vremena predviđenog za pristizanje paketa pa primatelj zahtjeva ponovno slanje, a paket na posljetku ipak stigne na odredište što znači da dolazi do dupliranja paketa. Aplikacije koje koriste UDP kao transportni protokol također su jako osjetljive na visoke razine *jittera* jer su to najčešće aplikacije koje reproduciraju video i audio sadržaj u stvarnom vremenu pa velik *jitter* dovodi do raspadanja slike ili prekidanja ili izobličavanja zvuka. [11]

Osim navedenih performansi potrebno je spomenuti i mjere koje označavaju opterećenje mrežnih uređaja kao što su opterećenje procesora (engl. *CPU load*[23]) i iskorištenje memorije (engl. *memory usage*). Procesor je komponenta uređaja zadužena za izvršavanje zadataka, a opterećenje procesora označava koliko procesa trenutno izvršava u odnosu na najveći broj procesa koji može izvršavati istovremeno i izražava se u postotcima. Postoji više vrsta memorije, a različiti uređaji posjeduju različite memorije što nije predmet proučavanja u ovom završnom radu pa neće biti razrađeno u detalje. Sve vrste memorije koriste se za pohranu podataka, a iskorištenje memorije označava dio ukupne memorije na koji je već nešto pohranjeno. Iskorištenje memorije i opterećenje procesora potrebno je pratiti na uređajima koji vrše funkcije usmjeravanja u mreži, ali i poslužiteljima mrežnih usluga kako bi se isti mogli nadograditi, zamijeniti ili rasteretiti u slučaju da mreža koju poslužuju to zahtjeva. [13]

5.2. Načini mjerenja performansi računalne mreže

Proces mjerenja performansi računalne mreže i mrežne opreme naziva se nadziranje mreže (engl. *network monitoring*). Tri su osnovna načina kako se mreža može nadzirati: [11]

- Aktivan nadzor;
- Pasivan nadzor i
- Korištenje agenata jednostavnog mrežnog upravljačkog protokola (engl. *Simple Network Management Protocol,* SNMP)

[23] Centralna procesorska jedinica (engl. *Central Processing Unit*, CPU).

Kod aktivnog nadzora najčešće se koristi Internetski protokol kontrolnih poruka (engl. *Internet Control Message Protocol,* ICMP) protokol. ICMP je protokol mrežnog sloja, a sastoji se od skupine poruka koje se koriste za nadzor i testiranje mreže. Pomoću ovog protokola se šalju testni paketi koji vraćaju informacije o mreži u obliku jednostavnih poruka iz kojih se može identificirati problem u mreži. *Ping* je naredba slanja paketa prema nekoj točki u mreži i mjerenja vremena potrebnog da paket dođe na odredište i vrati se nazad. To vrijeme se naziva kružno kašnjenje (engl. *response time*). Praćenje puta (engl. *traceroute*) je također naredba slanja paketa prema nekoj točki u mreži, ali taj paket vraća informacije o kašnjenju između svaka dva čvora u mreži kroz koja prolazi. [1], [11]

Aktivan nadzor podrazumijeva postavljanje testnog uređaja u točku mreže koja se žele napraviti mjerenja. S testnog uređaja se zatim šalju testni paketi prema drugom uređaju u mreži tijekom određenog vremena. Tijekom tog procesa lako se mogu odrediti performanse mreže kao što su gubitak paketa i kašnjenje jednostavnim naredbama kao što su *ping* i traceroute. Opterećenje mreže tijekom mjerenja je minimalno jer se mala količina prometa analizira u usporedbi s pasivnim nadzorom, ali nedostatak je što testni promet može biti tretiran u mreži kao promet s niskim prioritetom pa rezultati mjerenja mogu biti netočni. [11]

Kod pasivnog nadzora se ne stvara testni promet nego se prati stanje mreže u realnom okruženju tako da se promatraju paketi koji redovno prolaze kroz mrežu. Ovim načinom može se izmjeriti propusnost *linka*, ali i njegova iskoristivost. Zbog nadziranja većeg broja paketa u mreži, opterećenje je veće nego kod aktivnog nadzora. [11]

SNMP je mrežni protokol koji se koristi za nadzor mreže, pruža pristup informacijama o mreži kao što su: brzina određenog sučelja, iskoristivost sučelja, greške na *linku*, propusnost i još tisuće drugih. SNMP nadzor u mreži vrši SNMP menadžer, uređaj koji komunicira s ostalim uređajima korištenjem SNMP protokola, a uređaji koje SNMP menadžer nadzire nazivaju se SNMP agentima. SNMP menadžer prikuplja informacije od agenata tijekom njihovog rada na osnovu kojih tvori sliku o parametrima računalne mreže. Komunikacija između SNMP menadžera i agenata vrši se pomoću baze podataka koja se zove informacijska baza upravljanja (engl. *Management Information Base*, MIB), a osigurava da razmjena informacija između menadžera i agenta bude efikasna i nedvosmislena. U

stvarnosti se kod mjerenja performansi računalne mreže najčešće kombiniraju sva tri načina. [14]

6. Analiza performansi mrežne opreme putem programskog paketa *SolarWinds*

Performanse mrežne opreme moguće je testirati pomoću različitih alata za nadzor mreže. Neki od programskih paketa za nadzor mreže su: *OpManager*, *Physical Technical Requirement Group Network Monitor, Nagios, Microsoft Network Monitor, WireShark i Solarwinds* koji je odabran za analizu ove mreže. *Solarwinds* je programski paket koji sadrži alate za analizu rada mreže i mrežnih elemenata, ali i mnogih drugih procesa koji se odvijaju u mreži ili na određenom mrežnom elementu. Ovaj paket je jednostavan za upotrebu, omogućava mjerenje mnogih performansi mreže i mrežnih elemenata s grafičkim prikazima dobivenih rezultata, posjeduje mnogobrojne načine prikaza rezultata, a nije tako poznat korišten kao neki od konkurenata što ga čini izvrsnim za testiranje u sklopu ovog rada. Iako nije besplatan, nudi mogućnost besplatnog probnog perioda u trajanju od 30 dana za svaki od alata koji spadaju u paket što je dovoljno da se korisnik paketa upozna s alatom i procjeni njegove mogućnosti. Za analizu performansi mreže i performansi mrežnih elemenata u jednostavnoj mreži koriste se uglavnom su dva alata iz *Solarwinds* paketa: alat za nadzor mrežnih performansi (engl. *Solarwinds Network Performance Monitor*, NPM) i alat za praćenje toka prometa (engl. *Solarwinds Netflow Traffic Analyzer*, NTA). Verzije navedenih alata koje se koriste u ovoj analizi NPM 11.5 i NTA 4.1.1. Uz bilo koji od navedenih alata dolazi i mrežni atlas kao poseban alat koji služi za topografski prikaz mreže koja se nadzire. [15]

Prvi korak u analizi računalne mreže je evidentiranje mrežnih čvorova i njihovih sučelja u alatu koji se koristi za nadzor mreže. U *Solarwinds* paketu to se može napraviti ručnim dodavanjem mrežnih čvorova ili automatskom detekcijom čvorova. U ovom slučaju napravljena je automatska detekcija, a budući da je alat odmah pronašao sve očekivane elemente nema potrebe za ručnim dodavanjem. Jednom kada su elementi mreže dodani u nadzor pojavljuju se na popisu čvorova i sučelja te je prva stvar koja se može nadzirati njihovo stanje, odnosno jesu li spojeni na mrežu (engl. *up*) ili ne (engl. *down*). Uređaji se mogu grupirati prema različitim kriterijima, a u ovom slučaju korištena je grupacija prema stanju. Prikaz elemenata koji su pronađeni u mreži i njihovog trenutnog stanja može se vidjeti na slici 6.

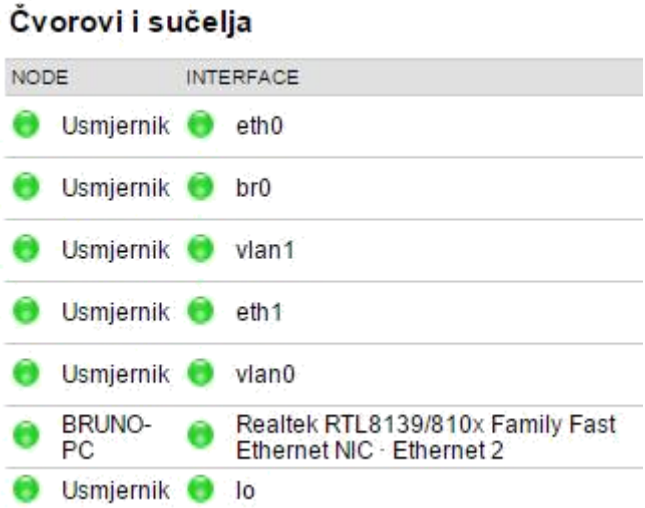


Slika 6: Čvorovi nadzirane mreže grupirani prema stanju

Izvor: izradio autor

BRUNO-PC je računalo s kojeg se vrši nadzor putem *Solarwinds* alata i kao takvom alat ne dopušta izmjenu imena nakon što je nadzor već postavljen. Na slici 6 se vidi da su trenutno 4 uređaja spojena na mrežu, a jedino prijenosno računalo nije. Crvena boja označava da je uređaj nedostupan, a zelena da je dostupan. Provjeru stanja računala alat vrši korištenjem ICMP paketa. Osim stanja uređaja u mreži, putem ICMP protokola se još mogu saznati i informacije o kašnjenju i gubitku paketa. Za podatke o pojedinim aplikacijama, brzini prijenosa informacija i količini prenesenog prometa potrebno je da uređaji koji se nadziru imaju aktiviran SNMP protokol. Usmjernik koji se u ovoj mreži koristi je središnja točka mreže preko koje prolazi sav promet i zato je ključno da je na njemu aktiviran SNMP protokol. Za Modem nije moguće uspostaviti nadzor jer se nalazi na WAN sučelju

Usmjernika, a ostali uređaji u mreži su radne stanice pa je za njih dovoljno da se nadziru putem ICMP protokola. BRUNO-PC je jedini terminal na kojem je u ovom slučaju omogućen nadzor.



Slika 7: Čvorovi i pripadajuća sučelja u mreži

Izvor: izradio autor

Popis pronađenih sučelja (engl. *interface*) u ovoj mreži s čvorovima (engl. *node*) kojima pripadaju nalazi se na slici 7. Pronađeno je 6 sučelja na Usmjerniku i jedno na radnoj stanici BRUNO-PC. Sučelje *Realtek* RTL8139/810x *Family Fast Ethernet NIC – Ethernet* 2 označava mrežno sučelje računala, odnosno NIC. Sučelja Usmjernika nisu fizička, dakle ne odnose se na fizičke mrežne ulaze, nego logička što znači da se odnose na usmjeravanje prometa. Ovo je popis sučelja Usmjernika s objašnjenjima na što se odnose:

eth0 – svi mrežni ulazi, prva četiri za spajanje radnih stanica i peto za *link* prema Modemu, odnosno *link* prema WAN-u

eth1 – bežično sučelje Usmjernika

vlan[24]0 – četiri mrežna ulaza za LAN

vlan1 – mrežni ulaz za WAN, u ovom slučaju sučelje prema Internetu

br0 – most koji povezuje eth1 i vlan0

lo – sučelje za identifikaciju uređaja u mreži, filtriranje i usmjeravanje paketa.

Osim što se status sučelja i čvorova može vidjeti na prikazima specificiranima za to, može se pratiti i putem prikaza upozorenja kao na slici 8.

[24] Virtualna lokalna mreža (engl. *Virtual Local Area Network*, VLAN) povezuje uređaje koji fizički nisu u istoj lokalnoj mreži i simulira uvijete u LAN-u.

Sva aktivna upozorenja (3)

NEPOTVRĐENA UPOZORENJA

ALERT NAME	MESSAGE	TRIGGERING OBJECT	ACTIVE TIME	RELATED NODE
Node is down	Node is down	192.168.1.146	2d 10h 10m	192.168.1.146
High packet loss	High packet loss	192.168.1.146	2d 10h 12m	192.168.1.146
High response time	High response time	192.168.1.15	2d 22h 57m	192.168.1.15

Slika 8: Pregled aktivnih upozorenja u nadziranoj računalnoj mreži

Izvor: izradio autor

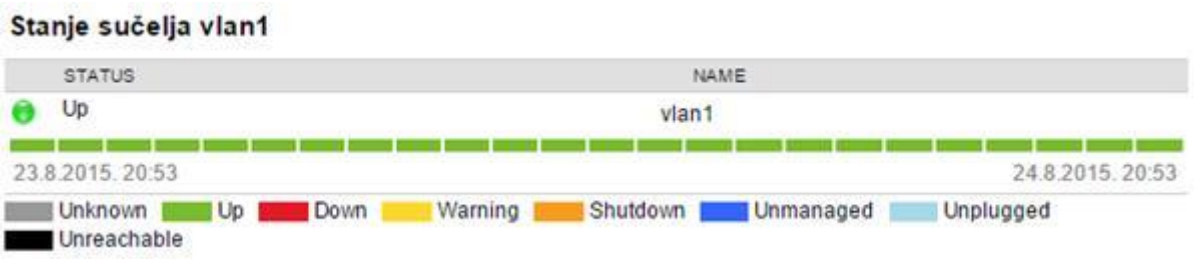
Upozorenja se pojavljuju za kritične događaje u nadziranoj računalnoj mreži, a mogu se definirati i posebna upozorenja za neke uređaje ako je to potrebno. Slika 8 prikazuje sva trenutno aktivna upozorenja koja nisu potvrđena. Kada se upozorenje pojavi ono se može potvrditi, što znači da je primljeno na znanje i više se neće pojavljivati na popisu. U slučaju prikazanom slikom 8 aktivna su tri nepotvrđena upozorenja. Naziv upozorenja (engl. *alert name*) prvi je stupac u prikazu i on označava ime koje je dodijeljeno određenoj vrsti upozorenja. Ime upozorenja je u sva tri prikazana slučaja jednako poruci (engl. *message*) jer se radi o općenitim vrstama upozorenja iz čijeg imena se može zaključiti o kakvom problemu se radi. Treći stupac označava element u mreži koji je aktivirao upozorenje (engl. *triggering object*), četvrti stupac vrijeme koliko je upozorenje aktivno (engl. *active time*), a peti stupac čvor na koji se upozorenje odnosi (engl. *related node*).

Objašnjenje upozorenja redom kako su prikazani na slici 8 glasi:

1. Čvor s IP adresom 192.168.1.146 je u prekidu (engl. *node is down*), upozorenje je aktivirao čvor s IP adrese 192.168.1.146, pogreška je aktivna dva dana, 10 sati i 10 minuta.
2. Čvor s IP adresom 192.168.1.146 ima visok postotak izgubljenih paketa (engl. *high packet loss*), upozorenje je aktivirao čvor s IP adrese 192.168.1.146, pogreška je aktivna dva dana, 10 sati i 12 minuta.
3. Čvor s IP adresom 192.168.1.15 ima veliko vrijeme odgovora, odnosno veliko kružno kašnjenje (engl. *high response time*), upozorenje je aktivirao čvor s IP adrese 192.168.1.15, pogreška je aktivna dva dana, 22 sata i 57 minuta.

6.1. Analiza sučelja

U promatranoj računalnoj mreži korisno je analizirati sučelje vlan1, budući da preko njega ide cjelokupan promet prema Internetu prema lokalnoj mreži i s lokalne mreže prema Internetu. S obzirom na to da se radi o kućnoj mreži većina prometa se ostvaruje upravo između lokalne mreže i Interneta.

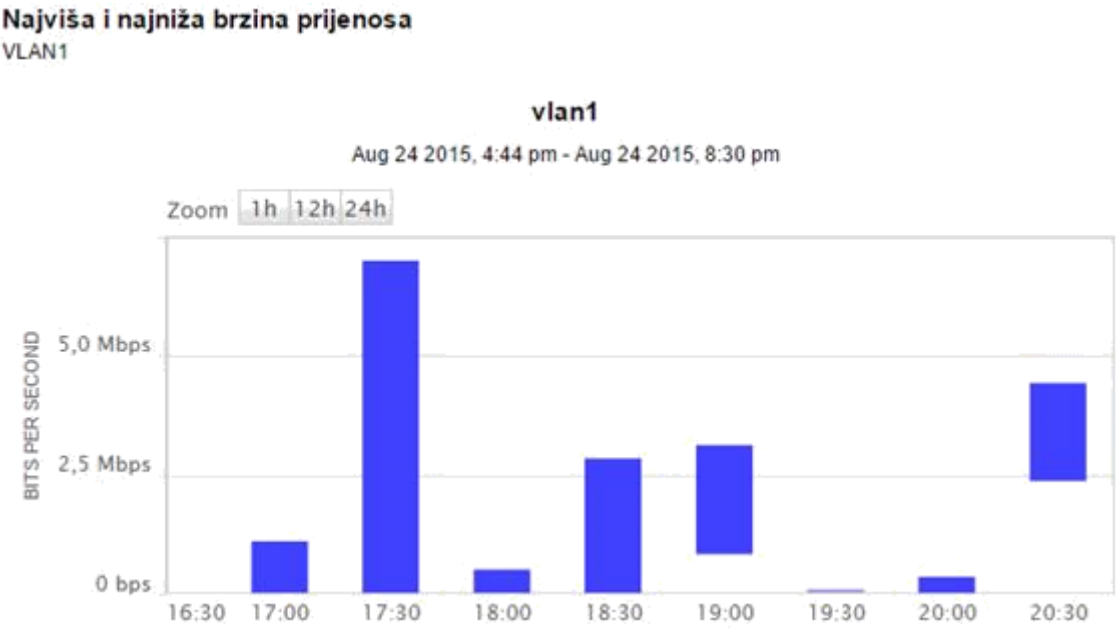


Slika 9: Stanje sučelja vlan1 kroz period od 24 sata

Izvor: izradio autor

Slika 9 prikazuje stanje navedenog sučelja u kroz period od 24 sata (h) prije trenutka mjerenja. Legenda prikazuje osam mogućih stanja sučelja: nepoznato (engl. *unknown*), spojen (engl. *up*), odspojen (engl. *down*), upozorenje (engl. *warning*), isključen (engl. *shutdown*), isključen nadzor (engl. *unmanaged*), odspojen (engl. *unplugged*) i nedostupan (engl. *unreachable*). Cijela linija je podijeljena u 24 odsječka gdje je svaki odsječak jedan sat. Budući da su sva 24 odsječka zelene boje zaključak da je sučelje vlan1 bilo u funkciji tijekom prethodna 24 sata.

SNA omogućava mjerenje ostvarenih brzina prijenosa na sučeljima koje se mogu pregledavati na različite načine. Jedan od načina analize brzine prijenosa je graf koji prikazuje minimalnu i maksimalnu ostvarenu brzinu prijenosa u dolaznom smjeru, a prikazan je na slici 10.



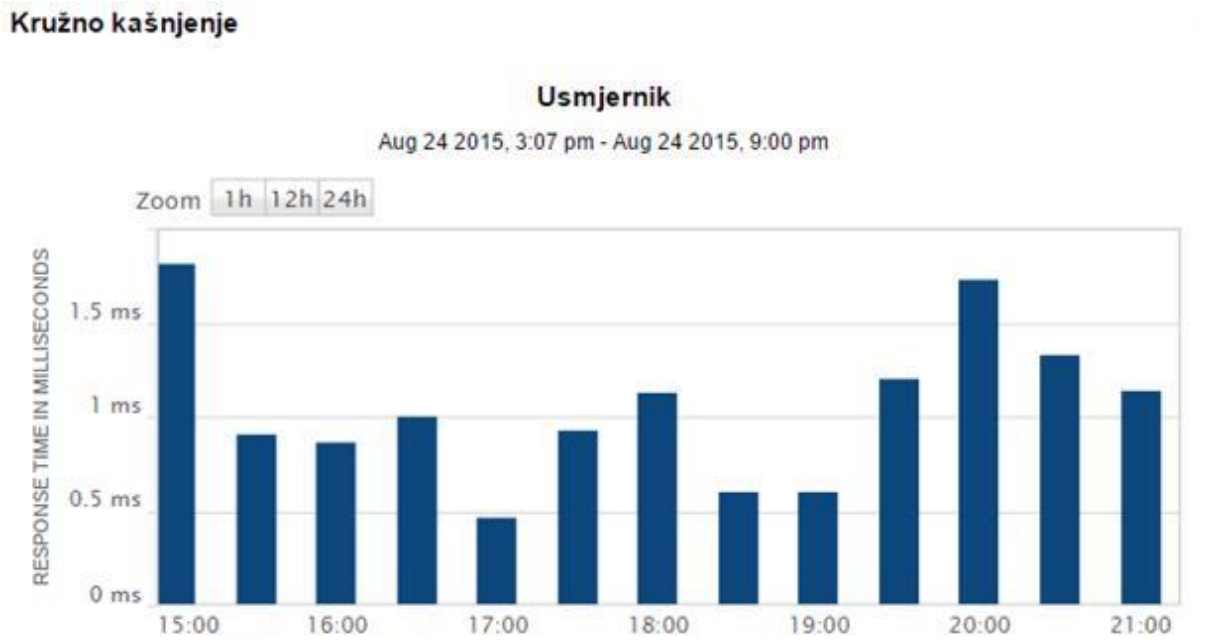
Slika 10: Grafički prikaz najvećih i najmanjih ostvarenih brzina prijenosa na sučelju vlan1 za polusatne intervale u periodu od 16:44 do 20:30 sati (24. kolovoza 2015.)

Izvor: izradio autor

Vlan1 je WAN sučelje, što znači da se ovdje prikazuju najviše i najniže brzine prijenosa koje su zajednički ostvarili svi uređaji u mreži u dolaznom smjeru s Interneta. Na x-osi ovog grafa prikazuje se vrijeme, dok su na y-osi prikazane brzine prijenosa u *bps*, odnosno *Mbps* u slučaju da su brzine veće. Gornja granica stupca na grafu označava najvišu ostvarenu brzinu u vremenskom intervalu na koji se stupac odnosi, a donja najnižu. S obzirom na potrebe moguće je definirati intervale za koje će se prikazati najveća i najmanja brzina te period za koji se žele vidjeti ostvarene brzine. U slučaju prikazanom na slici 10 interval za koji se prikazuju najveće i najmanje ostvarene brzine na sučelju vlan1 je 30 minuta. U intervalu između 17:00 i 17:30 sati najviša ostvarena brzina na vlan1 sučelju je iznosila oko 7 *Mbps*, a najniža oko 0 *Mbps*. U intervalu od 20:00 do 20:30 sati najviša ostvarena brzina po vlan1 sučelju iznosila je oko 4.5 *Mbps*, a najniža oko nešto manje od 2.5 *Mbps*. Ukupno vrijeme promatranja je vremenski interval od 24. kolovoza 2015. u 16:44 do 24. kolovoza 2015. u 20:30. Graf pruža i mogućnost automatskog postavljanja promatranog intervala na prethodnih 1, 12 ili 24 sata što se vidi na slici 10 kao opcija *Zoom* 1h, 12h i 24h.

6.2. Analiza čvorova

Ako se prilikom analize računalne mreže pokaže da je postoje određene nepravilnosti u radu mreže vezane za određeni uređaj u njoj potrebno je detaljnije analizirati performanse samog uređaja, odnosno čvora. Jedna od bitnih performansi koja može ukazati na neispravnost određenog mrežnog elementa je kružno kašnjenje, a prikaz kružnog kašnjenja na Usmjerniku nalazi se na slici 11.



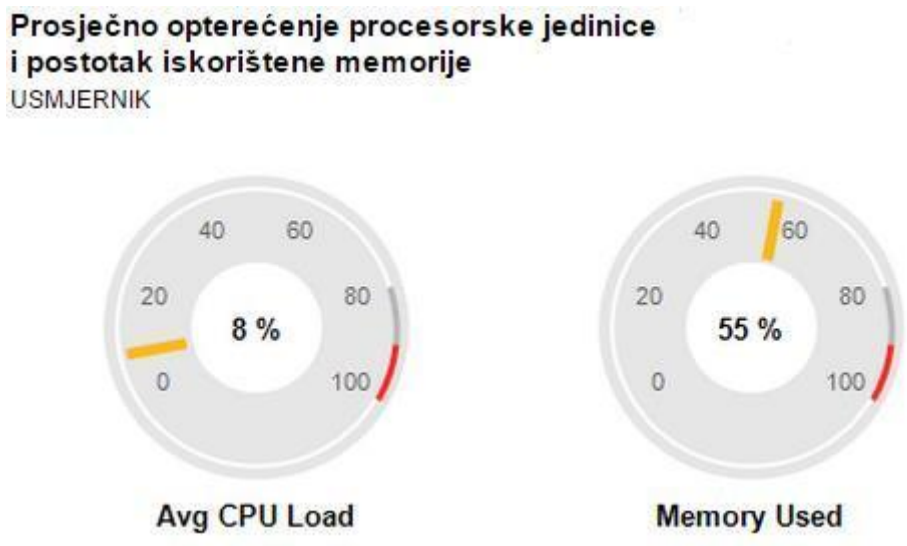
Slika 11: Kružno kašnjenje između kontrolne stanice i Usmjernika za polusatne intervale u vremenskom periodu od 15:07 do 21:00 sati (24. kolovoza 2015)

Izvor: izradio autor

Kružno kašnjenje se zapravo određuje na određenoj relaciji između dva uređaja u mreži, uređaja koji šalje paket i uređaja koji ga vraća. S obzirom na to da je kontrolna stanica u procesu analize ove mreže terminal BRUNO-PC, kružno kašnjenje se testira od njega prema ostalim uređajima u mreži. Slika 11 prikazuje kružno kašnjenje između kontrolne stanice i Usmjernika za polusatne intervale u periodu od 15:07 do 21:00 datuma 24. kolovoza 2015. Kao i prikaz na slici 10, na ovom prikazu je također na x-osi vrijeme te pruža mogućnost automatskog postavljanja promatranog intervala na prethodnih 1, 12 ili 24 sata. Na y-osi ovog grafičkog prikaza nalazi se iznos kružnog kašnjenja prema odabranom čvoru izražen u milisekundama (kratica *ms*). Interval uzimanja uzoraka je parametar koji se može prilagoditi potrebama analize, a u slučaju prikazanom na slici 10 iznosi 30 minuta. Iz prikaza se može

zaključiti kako je najveće kružno kašnjenje izmjereno u 15:00 sati i iznosilo je oko 1.8 ms, a najmanje u 17:00 sati i iznosilo je nešto manje od 0.5 ms.

Za centralni usmjerivački čvor u mreži važno je znati koliko je on opterećen kako bi se moglo planirati proširenje mreže. Kada se govori o opterećenju nekog uređaja dvije se stavke uzimaju u obzir: prosječno opterećenje centralne procesorske jedinice (engl. *average CPU load*, na slici *avg CPU load*) i postotak iskorištene memorije (engl. *memory used*). Oba pokazatelja opterećenosti čvora mogu se nadgledati pomoću *Solarwinds* NPM-a na uređajima koji se nadziru putem SNMP-a.

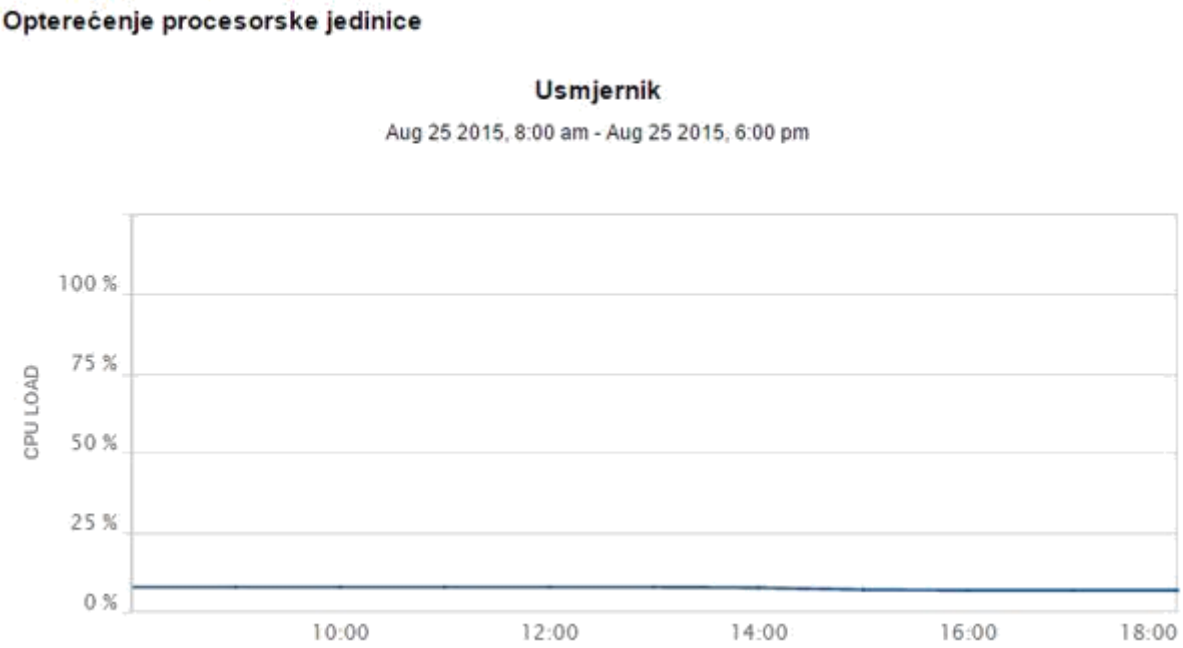


Slika 12: Prikaz prosječnog opterećenja CPU-a i postotka iskorištene memorije Usmjernika

Izvor: izradio autor

Ova dva pokazatelja ne svrstavaju se u performanse mreže, ali mogu utjecati na njih. Na slici 12 vidljiv je prikaz prosječnog opterećenja centralne procesorske jedinice[25] i memorije Usmjernika u postotcima. U ovom primjeru procesorska jedinica je vrlo malo opterećena, samo 8 %. U trenutku ispitivanja zauzeto je 55 % memorije, ali uzevši u obzir da većinu memorije zauzima programska podrška može se zaključiti da je i po pitanju memorije Usmjernik u mogućnosti povezati znatno veći broj uređaja od trenutnog i uspješno upravljati znatno većim količinama prometa.

[25] Prosjek se računa od rezultata dobivenih u definiranom vremenskom intervalu, u ovom slučaju je to 24 sata.



Slika 13: Opterećenje procesorske jedinice Usmjernika promatrano kroz period od 10 sati

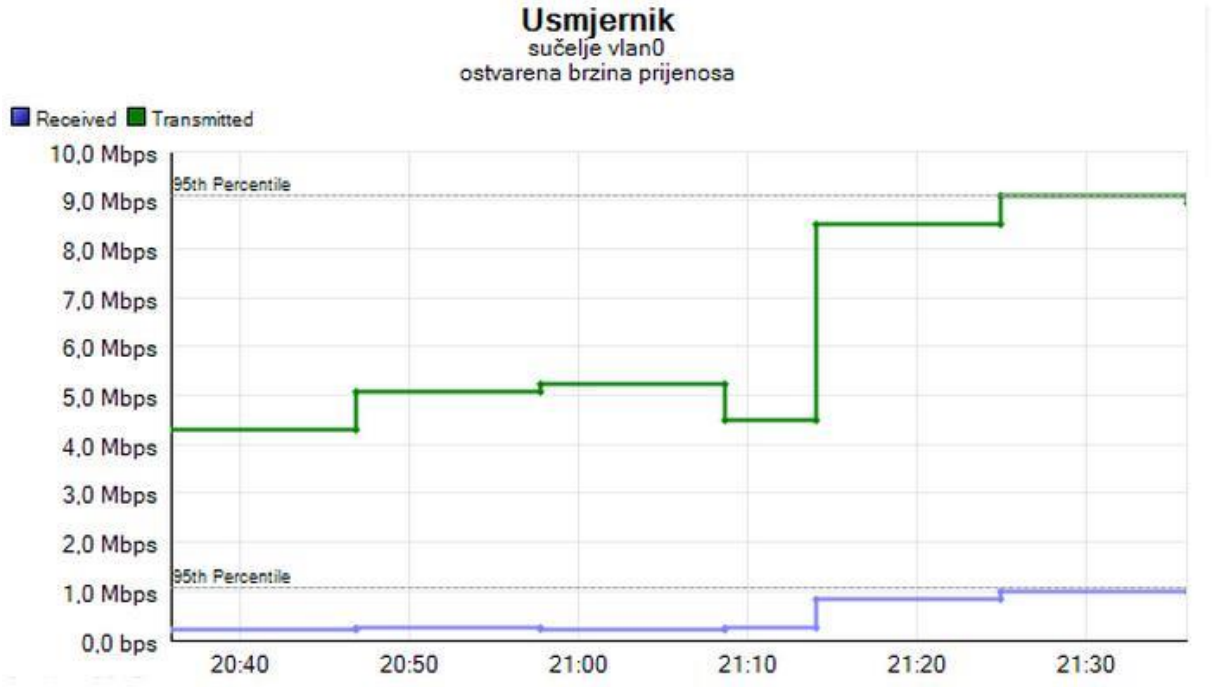
Izvor: izradio autor

Osim prosječnog opterećenja procesorske jedinice bitno je i koliko opterećenje odstupa od prosjeka. Na slici 13 je prikaz opterećenja procesorske jedinice Usmjernika u periodu od 8:00 do 18:00 sati 25. kolovoza 2015. Opterećenje procesora u postotcima nalazi se na y-osi prikazanog grafa, a vrijeme u kojem je opterećenje mjereno na x-osi. Na ovom prikazu se vidi da opterećenje procesorske jedinice gotovo uopće ne odstupa od prosjeka, odnosno da je vršno opterećenje gotovo jednako prosječnom.

Kako bi se testirale performanse Usmjernika u uvjetima najvećeg mogućeg opterećenja u kućnoj mreži potrebno je na njega povezati što više uređaja i pokrenuti na njima aplikacije koje uspostavljaju velik broj veza prema Internetu i vrše prijenos velike količine informacija. Za takav test pogodna je aplikacija *BitTorrent*[26]. Budući da se radi o aplikaciji koja podatke dohvaća s raznih lokacija na Internetu, ona ostvaruje logičke veze sa svakom od tih lokacija. Broj veza koji uređaji iz LAN-a ostvaruju prema uređajima na internetu nije vidljiv u NPM-u, ali se može iščitati iz grafičkog korisničkog sučelja (engl.

[26] Aplikacija za dijeljenje podataka, preuzima datoteku u dijelovima od korisnika aplikacije koji tu datoteku već imaju te istovremeno preuzete dijelove šalje korisnicima aplikacije koji ju zahtijevaju.

Graphic User Interface, GUI[27]) Usmjernika pa za tu informaciju nije potreban poseban alat za nadzor mreže.



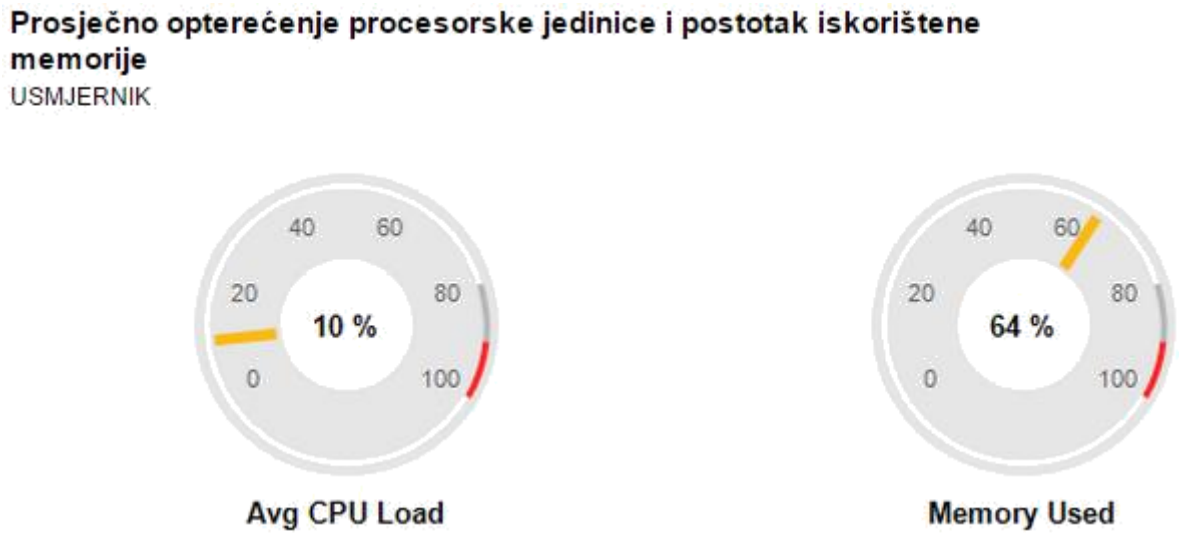
Slika 14: Brzina prijenosa podataka na sučelju Usmjernika vlan0 tijekom opterećenja aplikacijom *BitTorrent*

Izvor: izradio autor

Nakon što je aplikacija *BitTorrent* upaljena na računalu BRUNO-PC i u njoj uklonjena sva ograničenja, broj logičkih veza prema internetu je porastao na preko 1600, a brzina prijenosa iz lokalne mreže prema internetu u to vrijeme prikazana je slikom 14. Na x-osi nalazi se ponovo vrijeme mjerenja, a na y-osi brzina prijenosa podataka izražena u *Mbps*.

Plava linija označava brzinu prijenosa u dolaznom smjeru, a zelena brzinu prijenosa u odlaznom smjeru. Ovdje se vidi da je od trenutka pokretanja *BitTorrent* aplikacije u vrlo kratkom roku zauzeta gotovo sva propusnost *linka* prema internetu. Oko 21:25 sati, brzina prijenosa u dolaznom smjeru je iznosila oko 9 *Mbps*, a brzina prijenosa u odlaznom smjeru oko 900 *kbps*. Iz ovih informacija može se zaključiti da se Usmjernik opteretio najviše koliko je moguće u promatranoj mreži pa je na slici 15 prikazano opterećenje procesora i iskorištenost memorije Usmjernika u tim uvjetima.

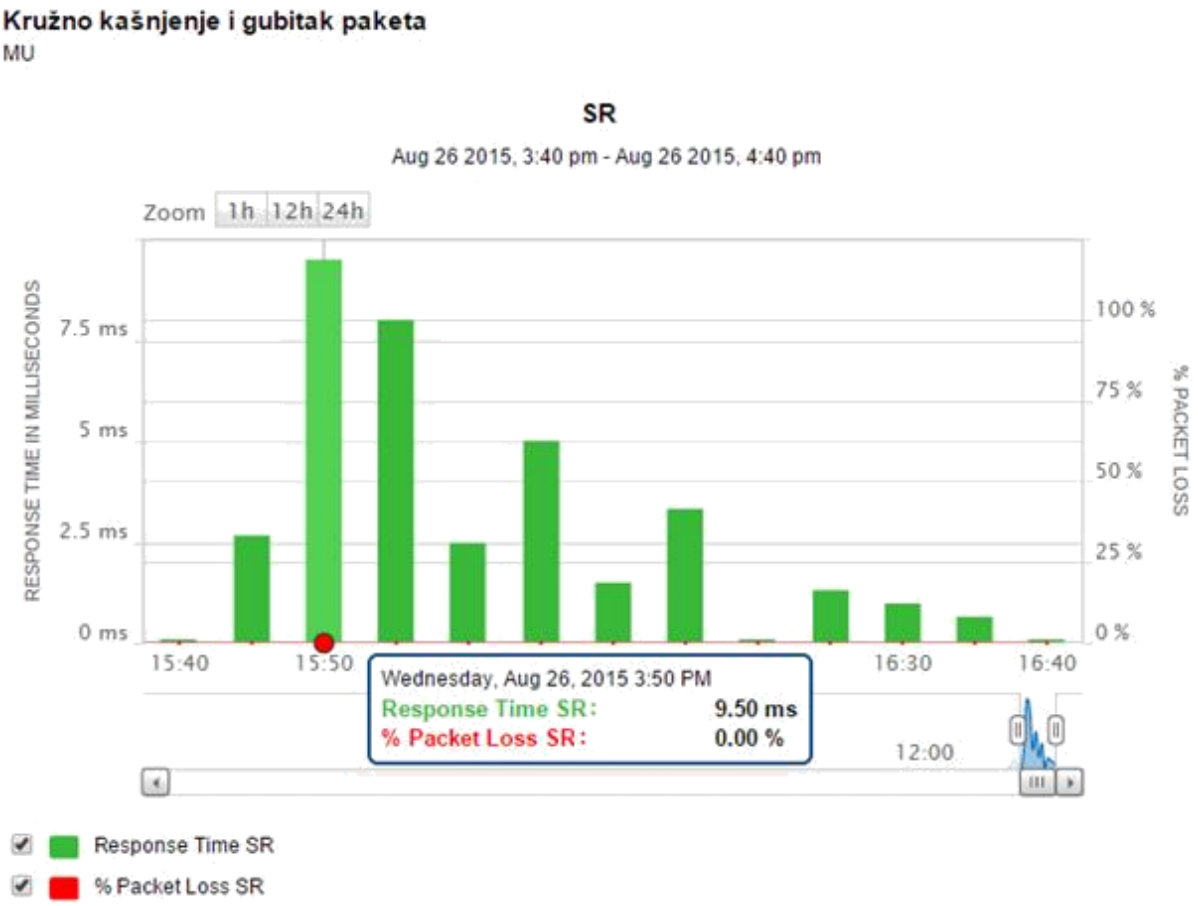
[27] Programsko sučelje koje korištenjem grafičkog prikaza na računalu omogućava korisniku jednostavije upravljanje mrežnim uređajem kao što je Usmjernik.



Slika 15: Prikaz prosječnog opterećenja CPU-a i postotka iskorištene memorije Usmjernika tijekom opterećenja aplikacijom *BitTorrent*

Izvor: izradio autor

Slika 15 prikazuje iste parametre i na isti način kao i slika 12, ali s drugačijim vrijednostima. U odnosu na opterećenje prilikom normalnih uvjeta u mreži prikazano slikom 12, na slici 15 je opterećenje CPU-a poraslo za 2 %, a iskorištenost memorije za 9 %. Može se reći kako je s obzirom na ukupne kapacitete Usmjernik slabo opterećen iako je promjena opterećenja jasno vidljiva. Da bi se Usmjernik doveo do svojih granica potrebno je znatno veće opterećenje od onog koje ova mreža može izvršiti.

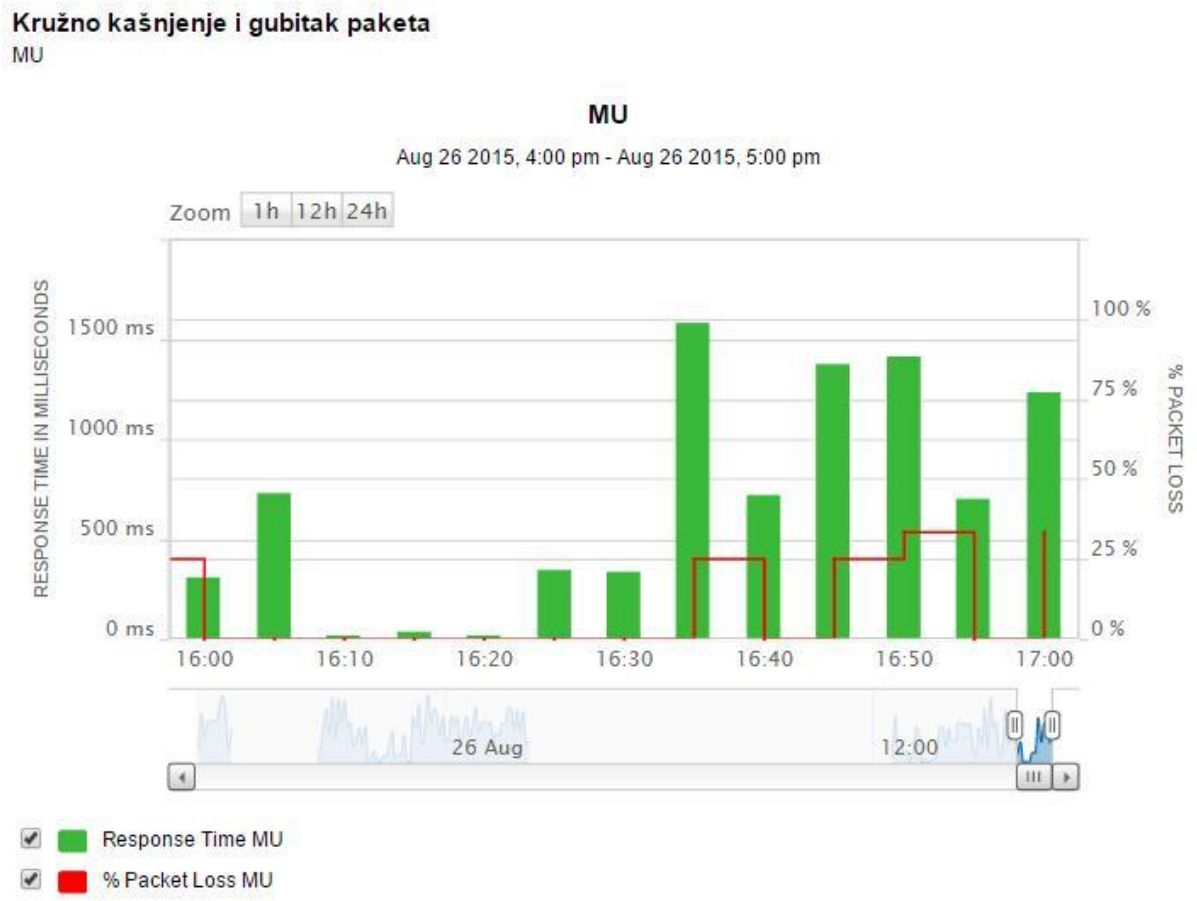


Slika 16: Kružno kašnjenje i gubitak paketa terminala SR promatrani u periodu od 15:40 do 16:40 sati (26.kolovoza 2015.)

Izvor: izradio autor

U računalnim mrežama u kojima se nalaze poslužitelji usluga vrlo je važno da oni rade u optimalnim uvjetima kako bi uspješno distribuirali uslugu klijentima. U takvim mrežama potrebna je i analiza performansi terminala. Jedan od prikaza performansi terminala nalazi se na slici 16. U ovom prikazu promatra se kružno kašnjenje i gubitak paketa prema odabranom čvoru, u ovom slučaju radi se o radnoj stanici SR. Na y-osi nalazi se kružno kašnjenje u milisekundama s lijeve strane i postotak izgubljenih paketa s desne, a na x-osi vrijeme promatranja. Ukupni promatrani period je 60 minuta između 15:40 i 16:40 26. kolovoza 2015, a interval uzimanja uzoraka je 5 minuta. Ispod samog grafa nalaze se vremenska crta na kojoj se može odabrati period promatranja i legenda. Iz legende se može zaključiti da su zelenim stupcima na slici označena izmjerena kružna kašnjenja, a crvenom linijom postotak izgubljenih paketa. S prikaza se može iščitati da je u promatranom periodu

najviše kružno kašnjenje bilo u 15:50 sati i iznosilo je 9.5 ms dok kroz promatrani period nije bilo izgubljenih paketa pa je linija koja pokazuje postotak izgubljenih paketa u svakom trenutku na 0%.



Slika 17: Kružno kašnjenje i gubitak paketa radne stanice MU promatrani u periodu od 15:40 do 16:40 (26. kolovoza 2015.)

Izvor: izradio autor

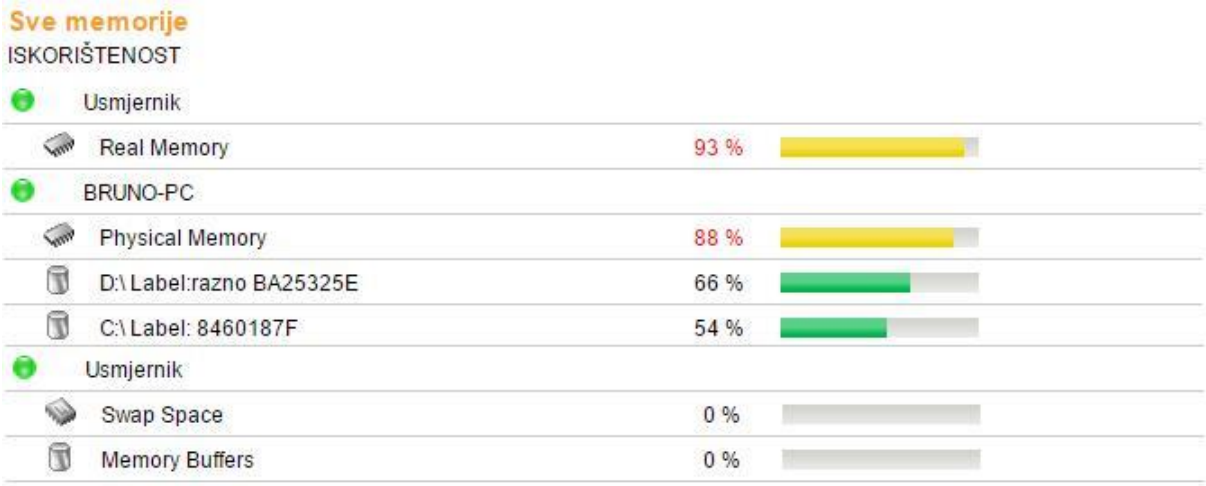
Na slici 17 nalazi se isti prikaz kao i na slici 16, ali za radnu stanicu MU koja se povezuje bežičnim putem. Na slici 17 je kružno kašnjenje znatno veće, penje se do gotovo 1500 ms i dolazi do gubljenja paketa od preko 25% u uzorku izmjerenom u 12:50 sati. Valja napomenuti kako se ovaj uređaj uglavnom nalazi vertikalno iznad Usmjernika na udaljenosti od oko 5 metara zbog čega je veza između dva uređaja vrlo loša što uzrokuje visoko kružno kašnjenje i gubljenje paketa. U periodu od 16:10 do 16:20 sati, MU se nalazio na istoj etaži na kojoj se nalazi Usmjernik na horizontalnoj udaljenosti od oko 5 metara što je uzrokovalo

bolju vezu između dva uređaja i znatno niže kružno kašnjenje i postotak izgubljenih paketa. Iz toga se može zaključiti da Usmjernik snažnije emitira bežični signal u širinu nego u visinu i da kvaliteta bežične veze uvelike ovisi o poziciji radne stanice u odnosu na pristupnu točku čiju ulogu u ovom slučaju preuzima Usmjernik.

6.3. Analiza mreže

Analiza računalne mreže obuhvaća performanse svih uređaja i sučelja koji se nalaze u toj mreži i omogućava analizu cijele mreže kao jedinice. Iako za većinu parametara zbirni podaci, prikupljeni u cjelokupnoj mreži, daju nejasnu sliku stvarnog ponašanja mreže, postoje prikazi koji mogu dati uvid u ponašanje mreže u odabranom periodu. Svi parametri koji se koriste za analizu mreže mogu se koristiti i za analizu performansi pojedinog čvora ili sučelja, ali kod analize mreže uzima se skup podataka svih čvorova i sučelja u mreži za performanse cjelokupnog sustava ili se performanse tih čvorova i sustava prikazuju u jedinstvenom prikazu kako bi se identificirale kritične točke u mreži.

Na slici 18 nalazi se prikaz svih memorija koje su pronađene u mreži i njihovo iskorištenje u postotcima.



Slika 18: Opterećenje svih pronađenih memorija u nadziranoj mreži

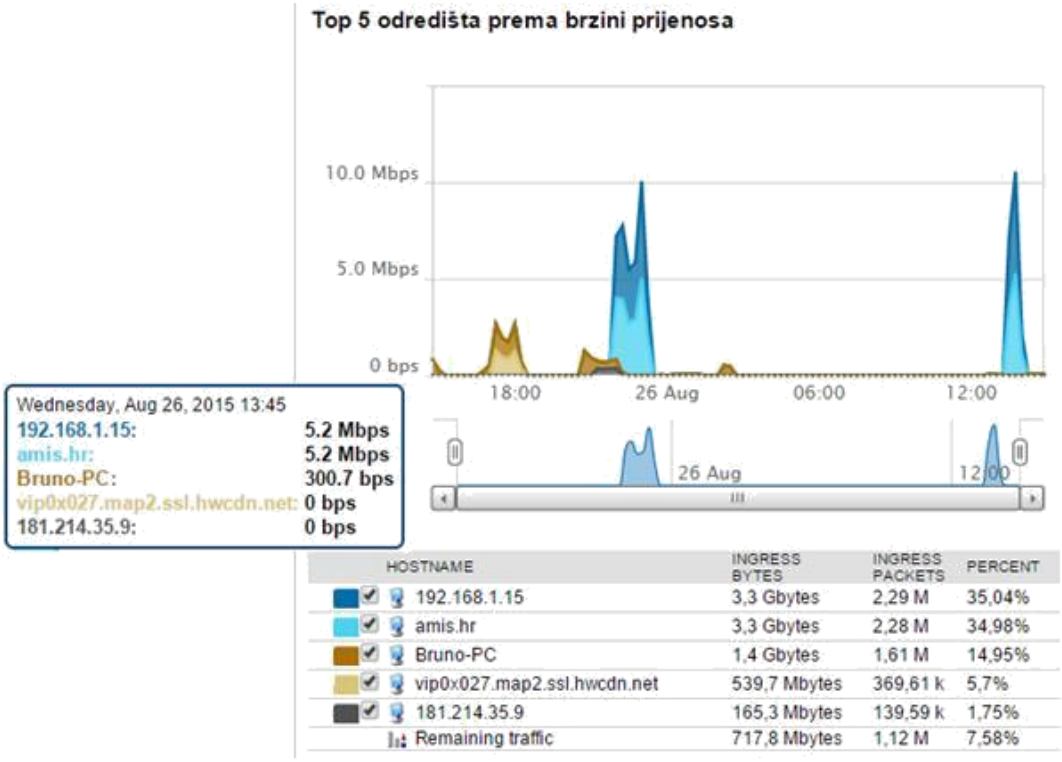
Izvor: izradio autor

Memorije su poredane od najiskorištenije prema najslabije iskorištenoj. Stvarna memorija (engl. *Real Memory*) Usmjernika je u trenutku promatranja na slici 18 na 93% iskorištenosti, ali treba uzeti u obzir da se velika većina te memorije koristi za pohranu firmwarea što znači da povećanjem opterećenja Usmjernika postotak iskorištenja stvarne memorije raste neznatno. Na terminalu BRUNO-PC pronađena je Fizička memorija (engl. Physical Memory) i dvije virtualne memorije: disk D i disk C. Fizička memorija je radna memorija koju računalo koristi tijekom izvođenja određenih procesa, a uzrok visokog postotka iskorištenja je činjenica da terminal BRUNO-PC u trenutku promatranja izvodi velik broj procesa potrebnih za izvođenje nadzora mreže pomoću alata iz programskog paketa *Solarwinds*. Diskovi D i C su dvije logički podijeljene memorije, fizički se radi o jednom disku. Na disk se pohranjuju podaci koji se koriste na računalu, a uključuju operativni sustav, programe i aplikacije te datoteke raznih sadržaja. Posljednje dvije memorije, koje su potpuno neiskorištene, su prostor za izmjene (engl. *swap space*) i memorijski spremnici (engl. *memory buffers*) na Usmjerniku. Prostor za izmjene se koristi prilikom pohrane podataka na Usmjernik kao dio memorije u koji se podaci pohranjuju privremeno dok se vrši izmještanje podataka na stvarnoj memoriji. U memorijske spremnike se pohranjuju podaci koji čekaju na pohranu, a nakon pohrane u stvarnu memoriju se brišu iz mrežnih spremnika što ih također čini privremenom memorijom.

Slika 19 prikazuje pet odredišta koja su ostvarila najveću brzinu prijenosa podataka tijekom promatranog perioda. Promatrana je ulazna brzina prijenosa podataka, a prikazane su obje krajnje točke prijenosa.

Na x-osi grafa na slici 19 nalazi se promatrano vrijeme, a na y-osi ostvarena brzina prijenosa podataka. Ispod grafa nalazi se vremenska crta za odabir perioda promatranja i legenda. U legendi su navedene krajnje točke komunikacije koje su ostvarile najveću brzinu prijenosa podataka promatranom periodu s ukupnim iznosima za broj prenesenih *byte*[28]-ova informacije (engl. *ingress bytes*), broj prenesenih paketa (engl. *ingress packets*) i postotak (engl. *percent*) koji izražava koliki je udio prenesenog prometa te točke u ukupnom prenesenom prometu u mreži tijekom promatranog perioda.

[28] Mjerna jedinica za količinu informacije, jedan *byte* iznosi 8 *bitova*.



Slika 19: Pet odredišta prema kojima je izmjerena najveća dolazna brzina prijenosa u periodu od 24 sata (od 15:00 sati 25. kolovoza 2015. do 15:00 sati 26. kolovoza 2015.)

Izvor: izradio autor

Na slici 19 vidljiv je i detaljniji prikaz u odabranom trenutku, u ovom slučaju 26. kolovoza 2015. u 13:45 sati. U to vrijeme prijenos je vršen između točaka 192.168.1.15 i amis.hr brzinom od 5.2 *Mbps,* pa su prikazane obje točke i ostvarena brzina prijenosa za svaku. Iako je prikazan samo dolazni promet, vidljive su i točke koje ne primaju podatke nego ih samo šalju, kao što je točka amis.hr. To je zato što se smjer prijenosa određuje sa stajališta lokalne mreže, a promet koji točka amis.hr šalje prema 192.168.1.15 lokalna mreža smatra dolaznim prometom. U trenutku za koji je zatražen detaljniji prikaz brzina vidljivo je da terminal Bruno-PC prima podatke brzinom od 300.7 bps, ali nije prikazana točka koja šalje podatke, iako su prikazane dvije točke koje u tom trenutku ne ostvaruju promet. Razlog tome je to što je prikaz određen samo za pet točaka s najvećim brzinama prometa tijekom cjelokupnog promatranog perioda. Točke vip0x027.map2.ssl.hwcdn.net i 181.214.35.9 u odabranom trenutku ne ostvaruju promet, ali su ga ostvarivale negdje između 15:00 25. kolovoza 2015. i 15:00 26. kolovoza 2015. i to brzinom većom od 300.7 *bps* pa su zato prikazane na grafu.

Na isti se način mogu prikazati i komunikacije između uređaja s najvišom brzinom prijenosa podataka ili aplikacije koje su ostvarile najviše brzine prijenosa podataka. Ako se dovodi u pitanje dostatnost prijenosnih kapaciteta u mreži te su informacije od presudne važnosti kako bi se moglo ustanoviti gdje je potrebno povećati kapacitete.

7. Zaključak

Na samom kraju završnog rada, potrebno se osvrnuti na obrađenu tematiku i predstaviti potencijalne buduće projekte. Ovaj završni rad može se podijeliti na dva dijela. Prvi dio rada je teoretski i koncentriran je na upoznavanje s mrežnom opremom i zadaćama pojedinih mrežnih elemenata, različitim vrstama i izvedbama računalnih mreža te mjerenjem performansi mrežne opreme u teoriji.

U radu je predstavljena mrežna oprema kao skupina elemenata koji čine računalnu mrežu. Da bi se mrežni uređaji sa svojim ulogama i karakteristikama mogli bolje shvatiti, prvo je predstavljena slojevita arhitektura mreže prema OSI modelu. To je važno jer različita mrežna oprema djeluje na različitim mrežnim slojevima, stoga su predstavljeni modemi, mrežni *linkovi*, ponavljači signala i pristupne točke na fizičkom sloju, mostovi i preklopnici na sloju podatkovne veze, usmjernici na mrežnom sloju i pristupnici koji djeluju na transportnom sloju, sloju sesije, prezentacijskom sloju i aplikacijskom sloju. Spomenuta su i računala koja čine terminale u računalnoj mreži i označavaju krajnje točke komunikacije te izvorišta i odredišta podatkovnog prijenosa.

Nakon upoznavanja s općim funkcijama i karakteristikama mrežne opreme predstavljena je konkretna mrežna oprema od koje je izgrađena računalna mreža čije se performanse analiziraju putem programskog paketa *Solarwinds*. Predstavljena oprema je *Enkom Extended* A1521-i, *Linksys* WRT 54GL, žičani i bežični *linkovi* te terminali u mreži koje čine dva stolna računala, jedno prijenosno računalo i jedan mobilni terminalni uređaj. Osim nazivnih performansi te mrežne opreme predstavljena je i konfiguracija mreže u kojoj se obavlja analiza, odnosno njezina topologija i zadaća koju pojedini element u mreži obavlja.

Detaljnije su obrađene i računalne mreže, odnosno vrste računalnih mreža. Prvo su mreže podijeljene prema području pokrivanja na LAN, MAN i WAN, a zatim su prema rasporedu mrežne opreme podijeljene na zvjezdastu topologiju, topologiju sabirnice, topologiju prstena, topologiju svaki sa svakim i miješane topologije kao što je hijerarhijska topologija. Osim na osnovi topologije, mreže su podijeljene i na osnovi upravljanja prometom, odnosno podijele mogućnosti upravljanja prometom. Na tom području razlikuju se centralizirane računalne mreže u kojima jedan, središnji, čvor obavlja cjelokupno

upravljanje u mreži i distribuirane računalne mreže u kojima svaki čvor obavlja određene upravljačke funkcije.

Proces na kojem se temelji ovaj završni rad je mjerenje performansi mrežne opreme. Prije započinjanja samog procesa, obrađeno je mjerenje performansi mreže i mrežne opreme općenito. Važno je razlikovati gledišta korisnika i gledišta mrežnih operatora na performanse mreže. Navedene su mjere performansi koncentrirane na mrežne sposobnosti kao što su propusnost, kapacitet, kašnjenje, gubitak paketa, duljina reda i *jitter*, ali i performanse uređaja kao što su opterećenje procesora i iskorištenje memorije. Osim performansi koje se mjere u računalnim mrežama obrađeni su i načini mjerenja tih performansi, to su: aktivan nadzor, pasivan nadzor i korištenje SNMP agenata.

Nakon što je predstavljena mrežna oprema, definirana vrsta računalne mreže i opisan proces analize performansi računalne mreže napravljena je analiza performansi mrežne opreme u stvarnoj mreži putem programskog paketa *Solarwinds*. Analiza performansi mrežne opreme vrlo je široko područje, a u ovom je radu obuhvaćen samo jedan njezin dio koji uključuje mjerenje brzine prijenosa, kružnog kašnjenja, gubitka paketa, opterećenja procesora, zauzeća memorije i nadzor statusa pojedinih mrežnih čvorova i sučelja.

Analizirana su mrežna sučelja, mrežni čvorovi i mreža kao cjelina, a dobiveni rezultati su prezentacijski, odnosno svrha im je prikaz procesa analize mreže, a ne prikaz stvarnih performansi mreže. Razlog tome je to što se radi o kućnoj mreži koja je konfiguracijski jednostavna, ne posjeduje poslužitelj usluge, veći broj mrežnih čvorova niti velik broj procesa koji se u njoj odvijaju pa zapravo ni ne predstavlja izazov kod dizajniranja, održavanja i nadogradnje.

Otegotna okolnost prilikom obavljanja analize bio je upravo ograničen broj čvorova koji podržavaju nadzor putem SNMP-a što je u jednoj mjeri ograničilo mogućnosti samog programskog paketa. Da bi se dobili komparativni rezultati i prikazao programski paket

Solarwinds sa svim svojim mogućnostima, potrebna je znatno veća i kompleksnija mreža od promatrane, što je svakako cilj testirati u budućnosti. Ipak, uspješno su prikazani alati programskog paketa *Solarwinds* i njihove mogućnosti nadzora mreže što je bio i cilj ovog završnog rada.

Literatura

[1] Tanenbaum, A.S., Wetherall, D.J.: Computer Networks, peto izdanje, Pearson Education, Inc., USA, 2010.

[2] Pralas, T.: Računalne mreže – Pasivna i aktivna mrežna oprema, 14.04.2008., Internet-stranica: http://sistemac.carnet.hr/node/374 (18.08.2015.)

[3] Sadiku, M.N.O., Musa, S.M.: Performance analysis of computer networks, Springer International Publishing, Švicarska, 2013.

[4] Kurose, J.F., Ross, K.W.: Computer Networking: A Top-Down Approach, šesto izdanje, Pearson Education, Inc., USA, 2013.

[5] Zandbergen, P., Network Interface Card (NIC): Types, Function & Definition, Internet-stranica: http://study.com/academy/lesson/network-interface-card- nic-types-function-definition.html (18.08.2015.)

[6] Wilkins, S., LAN Network Cable Media and Connectors (19.12.2011), Internet-stranica: http://www.pearsonitcertification.com/articles/article.aspx?p=1816014 (18.08.2015.)

[7] Duck, M., Read, R.: Data Communications and Computer Networks for Computer Scientists and Engineers, drugo izdanje, Pearson Education, Inc., UK, 2003., Internet-stranica: http://cpe.rmutt.ac.th/network/images/cn/[5]Data%20Communications%20and%20Computer%20Networks.pdf (18.08.2015.)

[8] Mitchell B., Introduction to Computer Network Topology, Internet-stranica: http://compnetworking.about.com/od/networkdesign/a/topologies.htm (20.08.2015.)

[9] Bagad, V.S., Dhotre, I.A., Computer Networks, drugo izdanje, Technical Publications Pune, Indija, 2009.

[10] Jacobsen J.O., The Internet Protocol Journal, Cisco Systems, USA, 2003., Internet-stranica: http://www.cisco.com/web/about/ac123/ac147/archived_issues/ipj_6-1/measuring_ip.html (20.08.2015.)

[11] Lee, H.J., Kim, M.S., Hong, J.W., Lee, G.H., Postech, Južna Koreja, Internet-stranica: http://dpe.postech.ac.kr/knom/knom-review/v5n2/4.pdf (22.08.2015.)

[12] Mrvelj, Š.: Promet u internet mreži, Internet-stranica: http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa_I/Materijali/10_predavanje.pdf (29.08.2015.)

[13] Internet-stranica: https://www.linux.com/learn/tutorials/42048-uncover-the- meaning-of-tops-statistics (29.08.2015.)

[14] Internet-stranica: http://www.solarwinds.com/documentation/ref/IntroductionToSNMP.pdf (22.08.2015.)

[15] Internet-stranica: http://www.solarwinds.com/ (29.08.2015.)

Popis kratica i akronima

Kratica	Značenje kratica
ADSL	*Asymmetric Digital Subscriber Line* Asimertrična digitalna pretplatnička linija
bit	*Binary digit* Binarna znamenka
CPU	*Central Processing Unit* Središnja procesorska jedinica
DOCSIS	*Data-Over-Cable Service Interface Specifications* Specifikacije za prijenos podataka putem kabelske mreže
DSL	*Digital Subscriber Line* Digitalna pretplatnička linija
DSLAM	*Digital Subscriber Line Access Multiplexer* Pristupni multipleksor digitalne pretplatničke linije
FTTH	*Fiber To The Home* Optika do kuće
Gbps	*Gigabit per second* Gigabit po sekundi
GHz	*Gigahertz*
GUI	*Graphic User Interface* Grafičko korisničko sučelje
Hz	*Hertz*
ICMP	*Internet Control Message Protocol* Internetski protokol kontrolnih poruka
IEEE	*Institute of Electrical and Electronics Engineers* Institut inženjera elektrike i elektronike
IP	*Internet Protocol* Internet protokol
IPv4	*Internet Protocol version 4* Internet protokol verzija 4

ISO	*International Organization for Standardization* Međunarodna organizacija za standardizaciju
ITU	*International Telecommunication Union* Međunarodna telekomunikacijska zajednica
kb	*Kilobit*
kbps	*Kilobit per second* K*ilobit* po sekundi
kHz	*Kilohertz*
LAN	*Local Area Network* Lokalna mreža
MAC	*Medium Access Control* Kontrola pristupa mediju
MAN	*Metropolitan area Network* Mreža gradskog područja
Mb	*Megabit*
Mbps	*Megabit per second* Megabit po sekundi
MHz	*Megahertz*
MIB	*Management Information Base* Informacijska baza upravljanja
ms	*Milisecond* Milisekunda
MU	Mobilni uređaj
NIC	*Network Interface Card* Kartica mrežnog sučelja
NPM	*Network Performance Monitor* Nadzor mrežnih performansi
NTA	*Network Traffic Analyzer* Analiza mrežnog prometa
OLT	*Optical Line Terminator* Završetak optičke linije

ONT	*Optical Network Terminator* Završetak optičke mreže
OSI	*Open Systems Interconnection* Interkonekcija otvorenih sustava
PR	Prijenosno računalo
RJ-45	*Registered Jack-45* Registrirani konektor 45
SMS	*Short Message Service* Usluga kratkih poruka
SNMP	*Simple Network Management Protocol* Jednostavni mrežni upravljački protokol
SR	Stolno računalo
STP	*Shielded Twisted Pair* Zaštićena uvrnuta parica
UTP	*Unshielded Twisted Pair* Nezaštićena uvrnuta parica
VLAN	*Virtual Local Area Network* Virtualna lokalna mreža
VoIP	*Voice over IP* Govor preko IP protokola
WAN	*Wide Area Network* Mreža širokog područja

Popis slika

Slika 1: Prikaz mrežne opreme i pripadajućih slojeva OSI referentnog modela [3] 4

Slika 2: Grafički prikaz odabrane mrežne opreme 13

Slika 3: Mrežne topologije: a) mesh topologija b) topologija zvijezde c) topologija sabirnice d) topologija prstena [7] 17

Slika 4: Centralizirana računalna mreža [9] 19

Slika 5: Distribuirana računalna mreža [9] 20

Slika 6: Čvorovi nadzirane mreže grupirani prema stanju 28

Slika 7: Čvorovi i pripadajuća sučelja u mreži 29

Slika 8: Pregled aktivnih upozorenja u nadziranoj računalnoj mreži 30

Slika 9: Stanje sučelja vlan1 kroz period od 24 sata 31

Slika 10: Grafički prikaz najvećih i najmanjih ostvarenih brzina prijenosa na sučelju vlan1 za polusatne intervale u periodu od 16:44 do 20:30 sati (24. kolovoza 2015.) 32

Slika 11: Kružno kašnjenje između kontrolne stanice i Usmjernika za polusatne intervale u vremenskom periodu od 15:07 do 21:00 sati (24. kolovoza 2015) 33

Slika 12: Prikaz prosječnog opterećenja CPU-a i postotka iskorištene memorije Usmjernika 34

Slika 13: Opterećenje procesorske jedinice Usmjernika promatrano kroz period od 10 sati . 35

Slika 14: Brzina prijenosa podataka na sučelju Usmjernika vlan0 tijekom opterećenja aplikacijom BitTorrent 36

Slika 15: Prikaz prosječnog opterećenja CPU-a i postotka iskorištene memorije Usmjernika tijekom opterećenja aplikacijom BitTorrent 37

Slika 16: Kružno kašnjenje i gubitak paketa terminala SR promatrani u periodu od 15:40 do 16:40 sati (26.kolovoza 2015.) 38

Slika 17: Kružno kašnjenje i gubitak paketa radne stanice MU promatrani u periodu od 15:40 do 16:40 (26. kolovoza 2015.) 39

Slika 18: Opterećenje svih pronađenih memorija u nadziranoj mreži 40

Slika 19: Pet odredišta prema kojima je izmjerena najveća dolazna brzina prijenosa u periodu od 24 sata (od 15:00 sati 25. kolovoza 2015. do 15:00 sati 26. kolovoza 2015.) 42