Mjerenje performansi VoIP komunikacije pomoću QoS parametara

Radak, Jago

Master's thesis / Diplomski rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:934291

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA

Sveučilišni studij

MJERENJE PERFORMANSI VoIP KOMUNIKACIJE POMOĆU QoS PARAMETARA

Diplomski rad

Jago Radak

Osijek, 2017.

Sadržaj

1. UVOD 1
2. VoIP KOMUNIKACIJA 2
2.1. Razlozi za razvoj VoIP-a 4
2.1.1. Niža cijena za korisnike 4
2.1.2. Povećana funkcionalnost 4
2.1.3. Fleksibilnost 5
3. VoIP ARHITEKTURA I PROTOKOLI 6
3.1. VoIP arhitektura 6
3.2. Arhitektura javne govorne mreže 7
3.3. Mrežne komponente 8
3.3.1. Agent poziva/SIP server/SIP klijent 8
3.3.2. Uslužni posrednik 9
3.3.3. Aplikacijski poslužitelj 9
3.3.4. Medijski poslužitelj 9
3.3.5. Signalizacijski prevoditelj protokola 9
3.3.6. Pristupni prevoditelj protokola 10
3.3.7. Pristupni koncentrator 10
3.3.8. Upravitelj širine pojasa 10
3.3.9. Rubni usmjerivač 10
3.3.10. Pretplatnički prevoditelj protokola 10
3.3.11. Most/usmjerivač 11
3.3.12. IP telefoni/PBX 11
3.4. Protokoli i standardi 11
3.4.1. H.323 standard 11
3.4.2. SIP protokol 14
3.4.3. RTP protokol 15
3.4.4. SDP protokol 15
3.5. Zahtjevi postavljeni pred VoIP tehnologiju 16
3.5.1. Izbor signalnih protokola 16
3.5.2. Sigurnost 17
3.5.3. Kvaliteta usluge (QoS) 17
3.5.4. Presretanje poziva 18
3.5.5. Dinamički vatrozidni nadzor komunikacije 18
3.5.6. NAT prevođenje 19
3.5.7. Dinamčki nadzor širine pojasa linka 19

3.5.8. Mrežna povezanost 19
4. RAZVOJ QoS-a I NJEGOVA ULOGA U KOMUNIKACIJAMA 20
4.1. Mehanizmi kvalitete usluge (QoS) 21
4.2. QoS podrška u VoIP komunikaciji 23
4.2.1. Definiranje QoS metodologije 24
4.2.2. Diferencirane usluge (engl. Differentiated Services) za primjenu QoS-a 26
4.3. Srednja iskustvena vrijednost – MOS u VoIP-u 27
5. MJERENJE PERFORMANSI VoIP KOMUNIKACIJE POMOĆU QoS PARAMETARA 28
5.1. Instalacija i konfiguracija VQManager 6.3 softvera 28
5.1.1. Grafikon glasnoće poziva 32
5.1.2. Grafikon kvalitete glasa 34
5.1.3. Grafikon trendovi kvalitete poziva 35
5.1.4. Status poziva 36
5.1.5. Grafikon nadgledanja poziva 37
5.1.6. Sažetak aktivnih poziva 37
5.1.7. Izvješće o pozivima 39
5.2. Mjerenje kvalitete usluge VoIP komunikacije 39
5.2.1. Rezultati mjerenja VoIP mreže 41
5.3. Usporedni rezultati mjerenja VoIP mreže 45
5.3.1. Mjerenje QoS parametara VoIP poziva 45
5.3.2. Mjerenje QoS parametara Skype videopoziva na LAN i Wi-fi mreži 46
6. ZAKLJUČAK 51
LITERATURA 52
SAŽETAK 54
ABSTRACT 54
ŽIVOTOPIS 55
PRILOZI 56
Tehnički podaci korištenog bežičnog usmjerivača TP-link TD-W8951ND 56
Detaljna topologija HOPS mreže 57

1. UVOD

VoIP tehnologija je brzo rastuća internetska usluga. Stekla je popularnost na način da smanji troškove međunarodnih telefonskih priključaka prijenosom govora preko javne IP mreže. Danas se implementira u mnoge IP aplikacije, gdje se omogućava izravno te besplatno komuniciranje preko interneta. Kao posljedica toga, VoIP tehnologija polako zamjenjuje tradicionalnu telefoniju.

Današnje IP mreže su dizajnirane na temelju otvorene arhitekture kako bi podržavale „*best effort"* aplikacije, kao što su prijenos datoteka, pregledavanje weba i e-maila, koji su osjetljivi na odgodu ili kolebanje kašnjenja. Veliki problem u VoIP komunikaciji je sposobnost pružanja kvalitete usluge (engl. QoS – Quality of Service) kod prijenosa multimedije i korištenja stvarno vremenskih aplikacija kao što je „*live video streaming*". Zbog trenutno vrlo niskog volumena govornog prometa, dostupne IP mreže su još uvijek u stanju pružiti prihvatljivu kvalitetu usluge za VoIP aplikacije. [1]

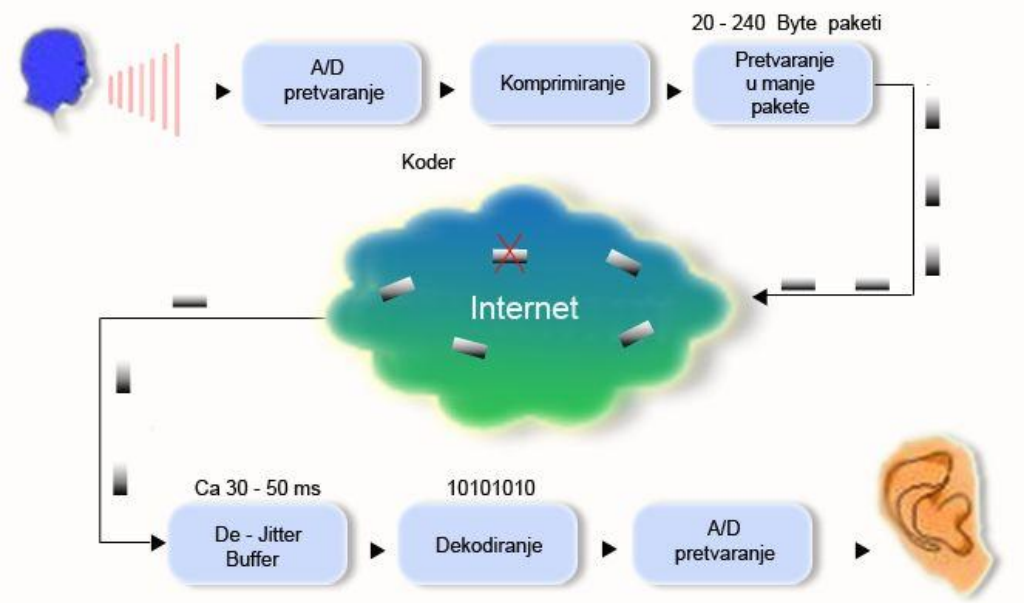
Ovaj diplomski rad se bavi problematikom kvalitete usluge kao i analizom i testiranjem QoS parametara (kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa) na SIP protokolu. Ispitivanje se obavlja na VoIP mreži koja se koristi u zgradi Hrvatskog operatora prijenosnog sustava HOPS. Mjere se brzina, kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa te se rezultati uspoređuju. Prva tri poglavlja obrađuju uvodni dio o VoIP tehnologiji te kakva je arhitektura i koje protokole koristi VoIP mreža, dok će u ostala tri poglavlja biti opisan razvoj kvalitete usluge i njegova uloga u komunikacijama te mehanizmi kvalitete usluge i QoS podrška u VoIP komunikaciji, nadalje mjerenje performansi VoIP komunikacije te komentari dobivenih rezultata i usporedba sa postojećim rješenjima i zaključak temeljen na dobivenim podacima.

2. VOIP KOMUNIKACIJA

VoIP (eng. Voice over Internet Protocol - Voice over IP) je opći izraz za skup metodologija, komunikacijskih protokola i prijenosnih tehnologija za isporuku glasovne i multimedijske komunikacije preko IP (eng. *Internet Protocol*) mreže, kao što je internet. Ostali termini koji se susreću, a često se koriste kao sinonim za VoIP su IP telefonija, Internet telefonija, VoBB (eng. *Voice over BroadBand*), širokopojasna telefonija i širokopojasni telefon. PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*) ili javna komutirana telefonska mreža također pruža uvjete da VoIP pozive možemo pokretati i prekinuti klasičnim telefonima. [2]

Kada se spominje Internet telefonija odnosi se na komunikacijske usluge kao što su govor, fax, SMS i glasovne poruke koje se prenose preko interneta, a ne preko javne komutacijske mreže (PSTN). Koraci koji su uključeni u nastajanju VoIP telefonskog poziva su signalizacija i postavljanje medijskog kanala, digitalizacija analogno glasovnog signala, moguća kompresija, paketizacija i prijenos IP paketa preko paketno komutirane mreže. Na prijemnoj strani će slični koraci reproducirati izvornu glasovnu poruku. [2]

VoIP sustav uspostavlja protokole kontrole sesije za kontrolu postavljanja i prekidanja poziva, kao i audio kodeke koji dekodiraju govor, omogućavajući prijenos preko IP mreže kao digitalni zvuk putem strujanja audia (eng. *audio stream*). Upotreba kodeka se mijenja između različitih implementacija VoIP-a (često se koriste rasponi kodeka), neke implementacije se oslanjaju na uskopojasni i komprimirani govor, dok drugi podržavaju hi-fi (eng. *high fidelity*) stereo kodeke.



Slika 2.1. Način rada VoIP usluge [4]

VoIP pretvara glasovni signal iz telefona, u digitalni signal koji može putovati putem interneta (Slika 2.1.). Ovisno o vrsti VoIP usluge, možete uspostaviti VoIP pozive s računala, putem posebnih VoIP telefona ili putem fiksnih telefon sa ili bez adaptera. Osim toga, bežični *„hot-spot-ovi"* u javnim mjestima kao što su aerodromi, parkovi i kafići omogućuju spajanje na internet te se VoIP usluga može koristiti bežično. Ako VoIP pružatelj usluga dodijeli redovni telefonski broj, moguće je primati pozive od klasičnih telefona koji ne trebaju posebnu opremu. [3]



Slika 2.2. Prikaz VoIP usluge [4]

2.1. Razlozi za razvoj VoIP-a

Postoje tri glavna razloga za korištenje VoIP-a: niže cijene od tradicionalnih telefona, povećana funkcionalnost te fleksibilnost. Svaki od njih će biti detaljno opisani u nastavku ovog poglavlja.

2.1.1. Niža cijena za korisnike

VoIP je postao popularan zahvaljujući niskim troškovima za potrošače u odnosu na tradicionalne telefonske mreže. Tradicionalni poslovni model za telefonske usluge je takav da većina ljudi plaća fiksnu mjesečnu naknadu za lokalnu uslugu telefonskog poziva i naplate po minuti za razgovore na daljinu. Razvoj VoIP-a omogućava promjene, jer tvrtke i organizacije nude različite poslovne modele. Iako trošak za implementaciju VoIP-a nije trivijalan, mjesečni operativni troškovi mogu biti niži, a očekuje se kako će se ukupni dugoročni trošak VoIP-a smanjiti.

VoIP pozivi mogu biti razvijeni korištenjem internet resursa preko računala opremljenog mikrofonom i zvučnikom. Dodatni VoIP telefoni mogu biti izravno spojeni na internet ili na intranet. Većina internet veza naplaćuju se kao fiksna mjesečna naknada. Prelaskom na VoIP tehnologiju, ušteda može biti značajna za korisnika koji koristi međunarodne pozive. Korištenje internetske veze za podatkovni promet i glasovne pozive, može omogućiti potrošačima ukidanje plaćanja mjesečne naknade za telefon. [5]

2.1.2. Povećana funkcionalnost

VoIP čini razne zadatke, koji su teški ili nemogući s tradicionalnim telefonskim mrežama, jednostavnima:

- Dolazni pozivi mogu se automatski preusmjeriti na VoIP telefon, tamo gdje je priključen na mrežu. Dakle, dolazni pozivi mogu biti primljeni bilo gdje u mreži.
- Agenti u pozivnim centrima koji koriste VoIP telefone lako mogu raditi s bilo kojeg mjesta uz dobru internetsku vezu.
- Višestrana konferencija je također mnogo lakša i jeftinija, jer nema potrebe premoštavanja malih konferencija.

2.1.3. Fleksibilnost

VoIP može olakšati zadatke i pružati usluge koje mogu biti teže implementirane pomoću PSTN-a.

Primjeri uključuju:

- Sposobnost prijenosa više od jednog telefonskog poziva preko jedne širokopojasne veze.
- Sigurni pozivi koriste standardizirane protokole (kao što je Secure Real-time Transport Protocol). Većina poteškoća kod stvaranja sigurne telefonske veze preko tradicionalne telefonske linije, kao što je digitalizacija i digitalni prijenos, su već primijenjeni u VoIP-u. Potrebno je samo dešifriranje i provjera autentičnosti postojećeg toka podataka.
- Lokacijski neovisan. Potreban je samo dovoljno brz i stabilan internet priključak da bi se uspostavila veza s bilo kojeg mjesta na VoIP-pružatelja usluga.
- Integracija s drugim uslugama koje su dostupne preko interneta, uključujući i video konferenciju, poruke ili podatkovne datoteke koje se razmjenjuju tijekom razgovora, audio konferencija, vođenje adresara i donošenje informacije o tome da li su drugi ljudi dostupni zainteresiranim stranama. [1]

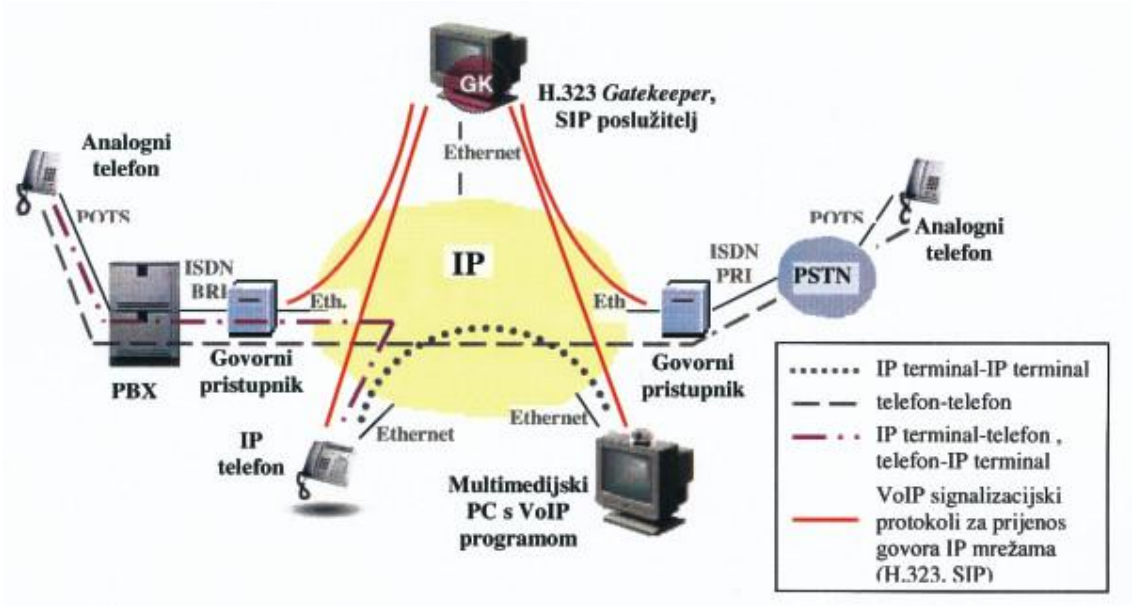
Još jedna prednost VoIP je da se samostalan telefon ili videofon, može integrirati s osobnim računalom. Oni mogu u potpunosti koristiti računalo za glasovne i video komunikacije, koristiti telefon za glasovnu, a računalo za video komunikaciju ili mogu jednostavno koristiti računalo u suradnji s odvojenim glasovno/video telefonom za pružanje funkcije podatkovne konferencije. VoIP tehnologija omogućuje mnogo obilnije i fleksibilnije temelje za uspostavljanje komunikacijske usluge. [7] IP mreže podržavaju neovisne veze za signalizaciju i medijski promet. Interferencija između tokova informacija je izbjegnuta razdvajanjem signala i nositelja prometa. Signalizacija i medijski promet ne moraju biti u istom pojasu i na istom kanalu, te nije potrebna istopojasna signalizacija. Dakle, komunikacija s aplikacijskim poslužiteljima je pojednostavljena. [1]

Iako je VoIP sve više popularan, još uvijek postoje neki izazovni problemi, kao što su kako poboljšati kvalitetu i robusnost VoIP usluga. VoIP kvaliteta i dalje ostaje osjetljiva na degradacije performansi u mreži. [10]

3. VOIP ARHITEKTURA I PROTOKOLI

3.1. VoIP arhitektura

Zbog mogućnosti prijenosa paketa internetom, VoIP tehnologija je implementirana za pružanje telefonskih usluga. [11] Slika 3.1.1. prikazuje tipičnu VoIP arhitekturu.

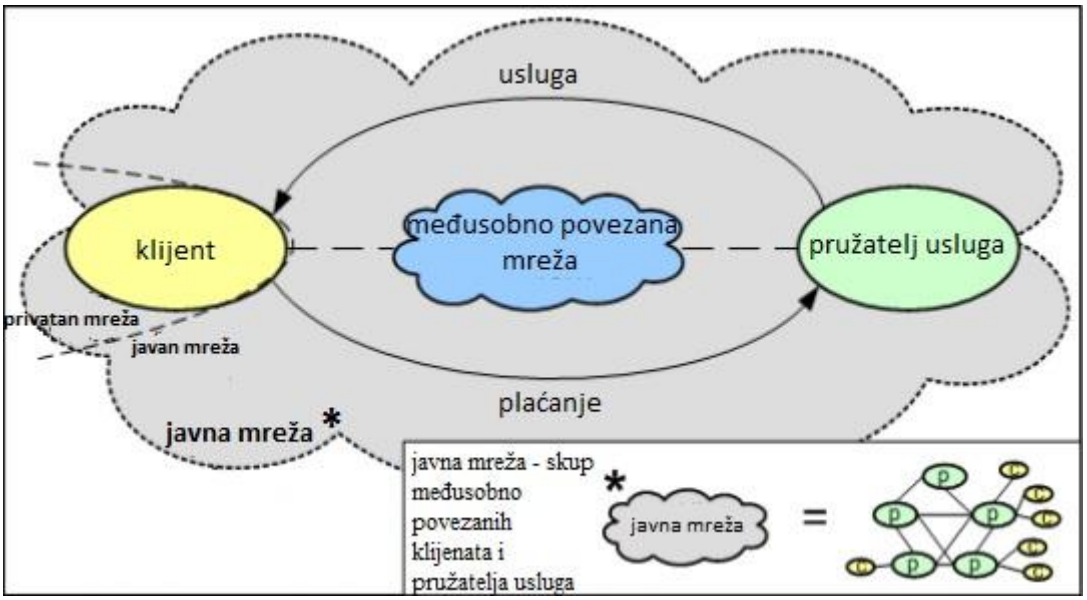


Slika 3.1.1. VoIP arhitektura [26]

Na kraju slanja, izvorni govorni signal je uzorkovan i kodiran na stalne brzine digitalnog toka. Digitalni tok onda može biti lako komprimiran. Ti digitalizirani i komprimirani podaci se zatim raspoređuju u pakete jednakih veličina za jednostavni prijenos preko interneta. Uz komprimirane glasovne podatke, ovi paketi sadrže podatke o porijeklu paketa, namijenjenom odredištu i vremensku oznaku koja omogućuje paketnom toku biti složen u ispravni redoslijed. Na prijemnoj strani, kontinuirani tok paketa se dekodira i pretvara natrag u analogni signal tako da bude prepoznatljivo ljudskom uhu. Općenito, to znači da se glasovne informacije šalju u digitalnom obliku diskretnim paketima, umjesto koristeći tradicionalne kružno komutirane protokole preko javne komutirane telefonske mreže. Uz IP protokol, VoIP koristi protokol prometa u stvarnom vremenu (eng. *RTP – Real-time Transport Protocol*) kako bi se osiguralo da se paketi dostavljaju na vrijeme. VoIP ima potencijal da u potpunosti zamijeni trenutne svjetske telefonske sustave. [1]

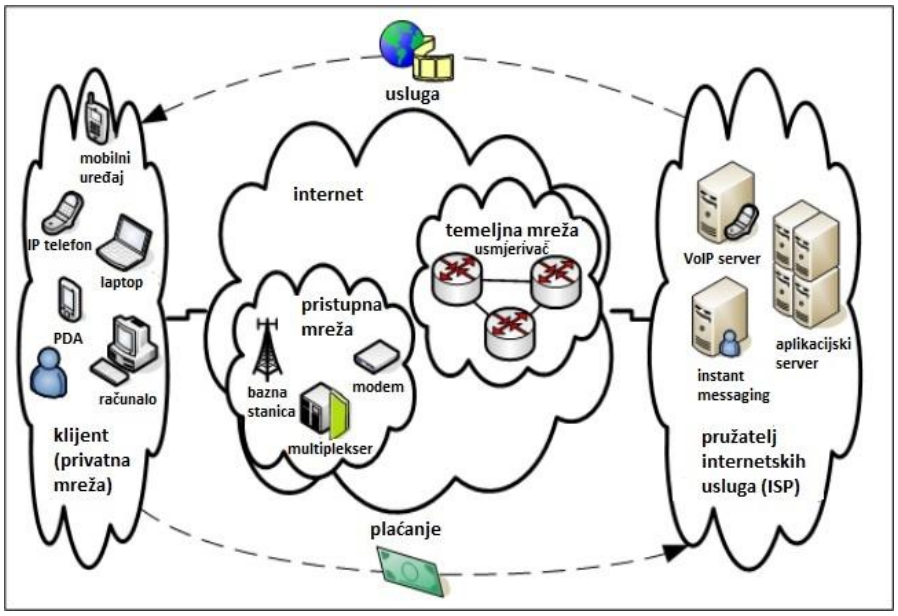
3.2. Arhitektura javne govorne mreže

Javna govorna mreža je složen skup koji se sastoji od brojnih entiteta i elemenata. Međutim, primarni smisao postojanja je platforma koja pruža neku vrstu usluge. Zbog toga, gotovo svaki predmet koji je dio javne govorne mreže može se klasificirati kao klijent ili pružatelj usluga. Klijent koristi usluge, dok ih je pružatelj usluga pruža. Oba entiteta moraju biti spojena zajedno kroz neku vrstu mreže. Kao rezultat toga moglo bi se reći da je javna govorna mreža skup međusobno povezanih klijenata i pružatelja usluga (Slika 3.2.1.).



Slika 3.2.1. Arhitektura javne mreže

Postoji i određena specifikacija onoga što je privatna mreža koja se također nalazi na slici 3.2.1. To je dio klijentske (ali može biti i dio pružateljske) mreže kojom upravlja klijent i nije slobodno dostupan od javne mreže. Kao u slučaju apstraktnog primjera iz slike 3.2.2., javna govorna mreža sastoji se od pružatelja internetskih usluga (ISP-ova) koji pružaju usluge korisnicima ili nekoj međusobno poveznoj mreži. Mogu se ponuditi razne usluge u javnoj IP mreži kao što je WWW (eng. *world wide web*), instant messaging, e-mail, VoIP itd. [1]



Slika 3.2.2. Generalna arhitektura javne IP mreže

U ovom slučaju međusobno povezana mreža je internet. Internet se vrlo često identificira s javnom IP mrežom zasebno. Kažemo da se usluge nude na internetu, a ne kroz internet. Osim toga, internet se često opisuje kao mreža svih mreža, što u praksi znači da je svaka ISP mreža ili klijent, kada je povezan s internetom, također dio nje. [12]

3.3. Mrežne komponente

Ovisno o određenoj mrežnoj arhitekturi, neke od mrežnih komponenti mogu se kombinirati u jedinstveno rješenje, na primjer kombinirani signalni i pristupni prevodilac protokola (eng. *gateway*).

3.3.1. Agent poziva/SIP server/SIP klijent

Agent poziva/SIP poslužitelj/SIP klijent nalaze se u mreži davatelja usluga i pruža funkcije logike poziva i kontrole poziva, obično održavajući stanje poziva za svaki poziv u mreži. Mnogi pozivni agenti uključuju logiku servisa za dodatne usluge, npr. ID pozivatelja, poziv na čekanju te također u interakciji s aplikacijskim poslužiteljima za pružanje usluga koje nisu izravno smještene na agentu poziva. Agent poziva sudjelovat će u signalnim i upravljačkim protokolima uređaja koji potječu, prekidaju ili prosljeđuju poruke. Postoje brojni relevantni protokoli koji ovise o mrežnoj arhitekturi, uključujući SIP, SIP-T, H.323, BICC, H.248, MGCP / NCS, SS7,

AIN, ISDN itd. Pozivni agenti također daju pojedinosti o svakom pozivu kako bi podržali naplatu i usklađivanje. [12]

3.3.2. Uslužni posrednik

Uslužni posrednik (eng. *Service Broker*) nalazi se na rubu mrežne usluge davatelja usluga i pruža distribuciju usluga, koordinaciju i kontrolu između aplikacijskih poslužitelja, poslužitelja medija, pozivnih agenata i usluga koje mogu postojati na alternativnim tehnologijama (npr. Parlay Gateways i SCP-ovi) . Uslužni posrednik omogućuje dosljedno ponovljiv pristup za upravljanje aplikacijama zajedno sa svojim servisnim podacima i medijskim resursima, kako bi se omogućilo uslugama za dopuštanje ponovnog korištenja usluga s ostalim uslugama, stvaranje novih usluga s dodanom vrijednosti. [1]

3.3.3. Aplikacijski poslužitelj

Aplikacijski poslužitelj (eng. *Application Server*) nalazi se u mreži davatelja usluga i pruža logiku i izvršenje usluge za jednu ili više aplikacija ili usluga koje nisu izravno smještene na agentu poziva. Na primjer, može pružiti usluge govorne pošte ili konferencijskog poziva. [1]

3.3.4. Medijski poslužitelj

Medijski poslužitelj (eng. *Media Server*) nalazi se u mreži davatelja usluga. Također se naziva poslužitelj za najavu. Za govorne usluge koristi kontrolni protokol, kao što je H.248 (Megaco) ili MGCP, pod kontrolom pozivnog agenta ili aplikacijskog poslužitelja. [1]

3.3.5. Signalizacijski prevoditelj protokola

Signalizacijski prevoditelj protokola (eng. *Signaling Gateway*) nalazi se u mreži davatelja usluga i djeluje kao pristupnik između signaliziranja pozivatelja i PSTN-a temeljenog na SS7. Također se može koristiti kao signalni pristupnik između različitih davatelja mobilnih usluga na paketu. Može pružiti signalno prevođenje, primjerice između SIP i SS7 ili jednostavno signaliziranje prijenosa transporta npr. SS7 preko IP na SS7 preko TDM-a. [1]

3.3.6. Pristupni prevoditelj protokola

Pristupni prevoditelj protokola (eng. *Access Gateway*) nalazi se u mreži davatelja usluga. Pruža podršku za POTS telefone i obično je pod nadzorom kontrolera pozivnog agenta preko protokola za kontrolu uređaja kao što su H.248 (Megaco) ili MGCP. [1]

3.3.7. Pristupni koncentrator

Pristupni koncentrator nalazi se u mreži davatelja usluga i završava kraj pružatelja usluga WAN veza korištenih tijekom "posljednje milje". Na primjer, u DSL mreži, oto je DSLAM, a u kabelskoj mreži je CMTS. Pristupni koncentrator također može uključivati funkciju pristupnog prevodioca protokola, primjerice Next-Generation DLC koji kombinira mogućnost DSLAM s izravnim POTS prekidom. [1]

3.3.8. Upravitelj širine pojasa

Upravitelj širine pojasa (eng. *Bandwith Manager*) nalazi se u mreži davatelja usluga i odgovoran je za pružanje potrebnog QoS-a iz mreže. Odgovoran je za postavljanje i uklanjanje širine pojasa unutar mreže i za kontrolu pristupa pojedinačnim pozivima na ovu širinu pojasa. Odgovoran je za instalaciju odgovarajućih podataka u rubnim usmjerivačima za usmjeravanje medijskih tokova na osnovu po pozivu. [1]

3.3.9. Rubni usmjerivač

Rubni usmjerivač (eng. *Edge Router*) se nalazi u mreži davatelja usluga i usmjerava IP promet na mrežu mrežnih operatera. Rubni usmjerivač će pružiti mnoge druge funkcije i može se kombinirati s pristupnim koncentratorom. [1]

3.3.10. Pretplatnički prevoditelj protokola

Pretplatnički prevoditelj protokola (eng. *Subscriber Gateway*) nalazi se u prostoru korisnika i završava WAN (eng. *Wide Area Network*) vezu u prostorijama klijenta i obično nudi oba glasovna priključka i podatkovnu povezanost. Obično koristi protokol za kontrolu uređaja, poput H.248 (Megaco) ili MGCP / NCS, pod kontrolom pozivnog agenta. Pruža sličnu funkciju kao pristupni prevoditelj protokola, ali obično podržava mnogo manje glasovnih priključaka. [1]

3.3.11. Most/usmjerivač

Most/usmjerivač (eng. *Bridge/Router*) se nalazi u prostorijama korisnika i završava WAN (eng. *Wide Area Network*) vezu u prostorijama klijenta. Razlika između ovog i pretplatničkog prevoditelja protokola je most/usmjerivač koji ne pruža nikakvu govornu podršku, iako se glasovne usluge, primjerice SIP telefoni, mogu premostiti/usmjeriti putem ovog uređaja. [1]

3.3.12. IP telefoni/PBX

IP telefoni i PBX (eng. *Private Branch Exchange*) sustavi nalaze se u prostorijama korisnika i pružaju govorne usluge. Stupaju u interakciju s agentom poziva/SIP poslužiteljem koristeći signalni protokol kao što je SIP, H.323 ili protokol za kontrolu uređaja kao što su H.248 (Megaco) ili MGCP. [1]

3.4. Protokoli i standardi

U svijetu interneta i računala postoji mnogo različitih protokola koji su uspostavljeni. Internet ima protokole za različite svrhe, ovisno o vrsti podataka koji se prenose i njihovu relativnu važnost.

Osnovni protokol za internet je IP protokol (eng. *Internet Protocol*). IP protokol osigurava relativno nepouzdanu uslugu prijenosa podataka na modelu usluge koji se često naziva najboljom mogućom (eng. *best effort*), što znači da nema gotovo nikave garancije da će poslani paket zaista i doći do odredišta nakon što je poslan. Sam paket se u procesu prijenosa može promijeniti, može se promijeniti redoslijed paketa u odnosu na onaj redoslijed kojim su poslani s izvorišta, može se duplicirati ili potpuno izgubiti tijekom prijenosa. Drugi se slojevi koriste na vrhu IP-a kako bi se zajamčio integritet podataka ili brzina isporuke. VoIP ovisi o brzoj dostavi paketa podataka, ali ne ovisi o tome ako se nekoliko paketa zagubi.
Kada je integritet podataka važan (npr. kod prijenosa programskih datoteka), protokol TCP (eng. *Transmission Control Protocol*) koristi se na vrhu IP-a. [1]

3.4.1. H.323 standard

H.323 je skup protokola preporučenih od telekomunikacijskog standardizacijskog sektora ITU (eng. *International Telecomunication Union*). Definira protokole za pružanje audio-vizualnih

komunikacijskih sjednica na bilo kojoj mreži. Standard H.323 govori o signalizaciji i kontroli poziva, multimedijskom transportu i kontroli te kontroli propusnosti za konferencijske i multikonferencijske točke. [15]

Proizvođači ga implementiraju u mnoge glasovne i videokonferencijske uređaje, koristi se u raznim internetskim aplikacijama u stvarnom vremenu i široko je implementiran diljem svijeta od strane pružatelja usluga i poduzeća za glasovne i video usluge putem IP mreža. Dio je ITU-T H.32x serije protokola koji se bave i multimedijskim komunikacijama preko ISDN-a, PSTN ili SS7 i 3G mobilnih mreža.
Svojstva H.323:

- standardna kompresija/dekompresija
- povezivanje različite opreme
- neovisnost o mreži
- neovisnost o opremi i aplikaciji
- podrška za konferencijsku vezu
- nadzor mreže
- podrška za komunikaciju s više krajnjih točaka. [13]

Standard je nužan radi osiguravanja kompatibilnosti opreme različitih proizvođača, ali i zbog kompleksnosti problema. H.323 kao najkompleksniji ali i najpotpuniji standard za video konferencije obuhvaća široko područje ovog multidisciplinarnog problema. [13]
Kategorije koje standard obrađuje:

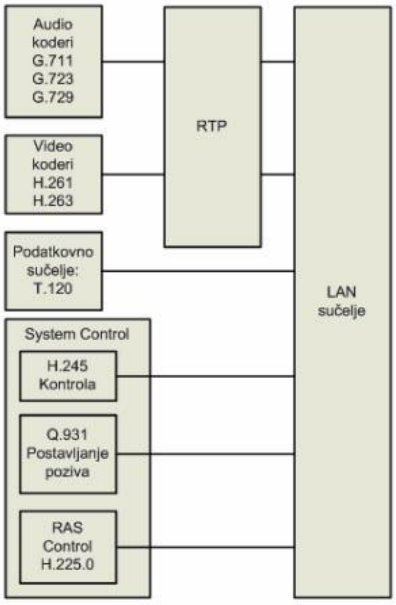
- transport govora i slike u realnom vremenu
- transport tekstualnih poruka
- kontrola kvalitete veze
- kompresija govora i slike
- uspostava veze, autorizacija i registracija te definiranje međudjelovanja mreža. [13]

Protokoli koje specificira H.323:

- audio koderi
- video koderi,
- H.225 Registration, Admission and Status (RAS) – regulira prijavu, pristup i status, a koristi se za komunikaciju terminala i H.323 gatekeeper-a
- H.225 Call Signaling - obavlja signalizaciju kod uspostave veze kroz kontrolni kanal. Signalizacija ovog tipa odvija se između krajnjih točaka tj. H.323 terminala

- H.245 Control Signaling - poruke po H.245 također se razmjenjuju između krajnjih točaka (otvaranje logičkih kanala, itd…)
- Real-time Transport Protocol (RTP) definiran RFC dokumentima RFC1889 i RFC3550 - transportni protokol za prijenos informacija u stvarnom vremenu, a najviše služi za prijenos slike i zvuka. Može se, među ostalim, koristiti i za interaktivne usluge kao što je, npr., Internet telefonija. Svaka informacija koja se šalje ovim protokolom sastoji se od podatkovnog i kontrolnog dijela. Kontrolni dio se sastoji od podataka koji služe za vremensku sinhronizaciju, sigurnost, identifikaciju sadržaja i detekciju gubitaka u prijenosu
- Real-time Control Protocol (RTCP) definiran RFC dokumentom RFC3605 - pruža podršku za konferencije u realnom vremenu za grupe bilo koje veličine. Ova podrška uključuje identifikaciju i autorizaciju sugovornika, podršku za prijenos slike i zvuka, a u najnovijim verzijama i real-time prepoznavanje glasa i prevođenje na druge jezike (za sada radi samo za nekoliko najvećih europskih jezika na engleski i zahtijeva jako brzu vezu - minimalno DSL). Također pruža mogućnost stalnog nadgledanja kvalitete usluge voditelju konferencije, a i svim sudionicima (ukoliko imaju dozvolu). [13]

U literaturi se često griješi nazivajući H.323 protokolom, pošto je on zapravo ITU standard koji se poziva više drugih standarda. Na slici 3.4.1.1. možemo vidjeti kako međusobno funkcioniraju protokoli koji rade zajedno sa H.323 standardom.



Slika 3.4.1.1. Dijelovi H.323 standarda [13]

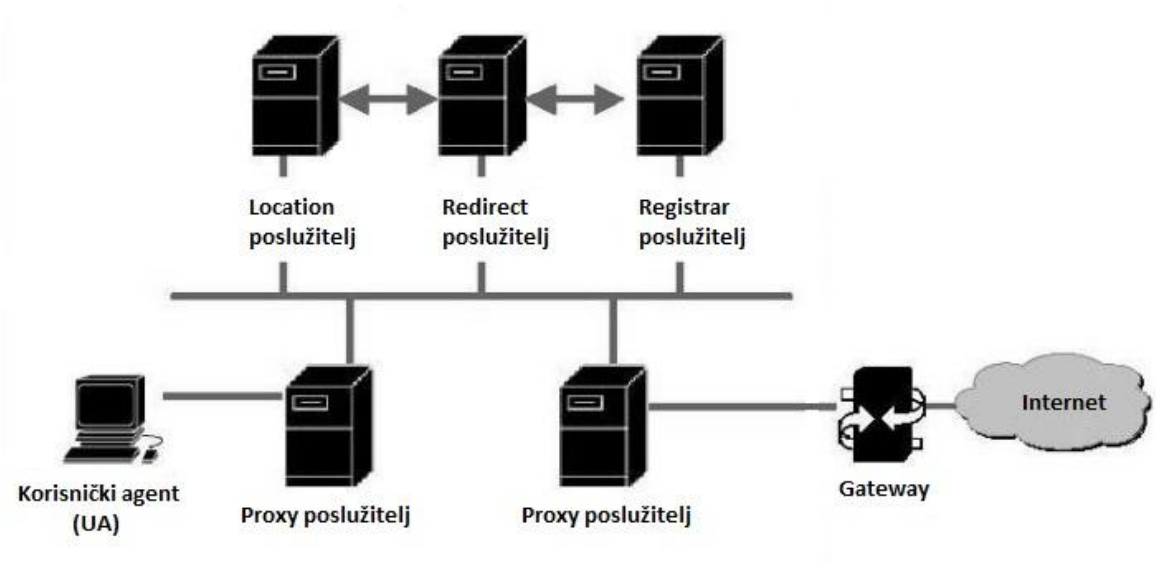
3.4.2. SIP protokol

SIP protokol (eng. *Session Initiation Protocol*) je IETF (eng. *Internet Engineering Task Force*) definirani signalni protokol koji se naširoko koristi za kontrolu multimedijskih komunikacijskih sesija kao što su glasovni i video pozivi preko IP protokola. Protokol se može koristiti za stvaranje, izmjenu i ukidanje dvostranih (unicast) ili višestranih (multicast) sesija koji se sastoje od jednog ili više medijskih tokova. Izmjena može uključivati izmjenu adresa ili priključaka, pozivanje više sudionika i dodavanje ili brisanje medijskih tokova. Ostali primjenjivi primjeri primjene uključuju video konferencije, streaming multimedijsku distribuciju, instant messaging, informacije o dostupnosti, prijenos datoteka i online igre.

SIP protokol je protokol aplikacijskog sloja dizajniran kako bi bio neovisan o transportnom sloju koji se nalazi ispod njega, a može se izvoditi na TCP protokolu (eng. *Transmission Control Protocol*), UDP protokolu (eng. *User Datagram Protocol*) ili SCTP protokolu (eng. *Stream Control Transmission Protocol*). To je tekstualni protokol koji uključuje mnoge elemente HTTP protokola (eng. *Hypertext Transfer Protocol*) i SMPT protokola (eng. *Simple Mail Transfer Protocol*).

Komponente SIP protokola:

- Korisnički agent (omogućuje primanje dolaznih poziva i slanje poziva)
- Mrežni poslužitelj (proxy poslužitelj - prosljeđuje zahtjeve idućem poslužitelju, redirecijski poslužitelj - šalje odgovor klijentu koji sadrži adresu idućeg poslužitelja) [18]



Slika 3.4.2.1. Osnovne komponente SIP protokola [16]

Vrste SIP poslužitelja:

- Posredni (eng. proxy) poslužitelj - najvažnija funkcija proxy poslužitelja je pronalaženja korisnika i prevođenje adresa. Tijekom svog rada može generirati zahtjeve drugim poslužiteljima ili klijentima.
- Identifikacijski (eng. registrar) poslužitelj - prihvaća identifikacijske zahtjeve i najčešće se postavlja skupa s redirect ili proxy poslužiteljem.
- Preusmjerivački (eng. redirect) poslužitelj - prihvaća zahtjeve i na njih odgovara s 0 ili više mogućih adresa za uspostavljanje veze. Za razliku od proxy poslužitelja on ne može poslati zahtjev niti kao korisnički agent klijent uspostaviti vezu.
- Locirajući (eng. location) poslužitelj - služi za pronalaženje trenutne korisnikove lokacije (IP adrese). [13]

3.4.3. RTP protokol

RTP protokol (eng. *Real-time Transport Protocol*) definira standardni format paketa za isporuku audia i videa preko IP mreže. RTP protokol se opsežno koristi u komunikacijskim i zabavnim sustavima koji uključuju streaming medije, kao što su telefonija i aplikacije za videokonferenciju. Zbog njih se provode medijski tokovi pod kontrolom protokola za signalizaciju H.323, MGCP, Megaco, SCCP ili SIP protokola, što ga čini jednim od tehničkih temelja VoIP-a.

RTP protokol se obično koristi zajedno s RTCP protokolom (eng. *RTP Control Protocol*). Dok RTP protokol provodi medijski tok (npr. audio i video), RTCP se koristi za praćenje statističkih podataka o prijenosu i kvaliteti usluge (QoS) te pomaže u sinkronizaciji više tokova. [21]

3.4.4. SDP protokol

SDP protokol (eng. *Session Description Protocol*) je format za opisivanje parametara inicijalizacije streaming toka. IETF je objavio originalnu specifikaciju kao predloženi standard IETF-a u travnju 1998. [20], a kasnije je objavio revidiranu specifikaciju kao predloženi standard IETF-a kao RFC 4566 u srpnju 2006. godine. [19]

SDP protokol je namijenjen za opisivanje multimedijskih komunikacijskih sjednica u svrhu najave sjednice, pozivnice sjednice i pregovaranja o parametrima. SDP protokol ne isporučuje

medije, već se koristi za pregovaranje između krajnjih točaka vrste medija, formata i svih povezanih svojstava. Skup svojstava i parametara često se zove profil sjednice. SDP protokol je dizajniran da bude proširiv za podršku novim vrstama medija i formata.

SDP protokol je započeo kao sastavni dio protokola za objavu sesije SAP (eng. *Session Announcement Protocol*), ali je pronašao druge svrhe zajedno s RTP (eng. *Real-Time Transport Protocol*), RTSP (eng. *Real Time Streaming Protocol*), te SIP protokolom (eng. *Session Initiation Protocol*) i čak kao samostalni format za opis višestrane sesije. [1]

3.5. Zahtjevi postavljeni pred VoIP tehnologiju

Postoji nekoliko zahtjeva koje treba zadovoljiti kako bi se osigurala kvalitetna VoIP mreža. Neki od zahtjeva koji se stavljalju pred VoIP tehnologiju su:

- Izbor signalnih protokola
- Sigurnost
- Kvaliteta usluge (QoS)
- Presretanje poziva
- Dinamički vatrozidni nadzor komunikacije
- NAT prevođenje
- Dinamički nadzor širine pojasa linka
- Mrežna povezanost

3.5.1. Izbor signalnih protokola

Razvijeni su brojni različiti signalni protokoli koji se primjenjuju na VoIP rješenja. Neki od njih su:

- Protokoli kontrole uređaja kao što su H.248 (Megaco), MGCP, NCS
- Signalni protokoli pristupne usluge kao što su SIP i H.323
- Mrežno servisni signalni protokoli kao što su SIP, SIP-T, BICC, CMSS

Odabir protokola koji će se koristiti u mreži davatelja usluga ovisi o ponudi usluga i opremi koja je dostupna za pružanje tih usluga. Na primjer, mreža mora podržavati SIP kako bi omogućila pristup SIP telefonima.

Da bi se izbjegli potencijalni problemi prilikom mijenjanja VoIP sigurnosnih komponenti, VoIP sigurnosna rješenja bi trebala biti korištena u sprezi sa svim verzijama SIP i H.323 standarda. [13]

3.5.2. Sigurnost

PSTN je bio vrlo otporan na sigurnosne napade i nije trpio od značajnih problema od kada je uvedena SS7 izvan pojasna signalizacija. VoIP mreža je mnogo osjetljivija na sigurnosne napade i mora se baviti sa tri ključna sigurnosna pitanja. [22]

- Uskraćivanje računalnih resursa (eng. *Denial of Service, DoS*) - zasnovani su na okupiranju računalnih mreža s nepotrebnim podacima ili na rušenju pojedinih komponenti mreže, prekidaju uslugu ili smanjuju kvalitetu postojeće usluge (eng. *Quality of Sevice - QoS*) za koju je nužno da bude visoka kako bi VoIP bio funkcionalan
- Krađa usluge (eng. *Theft of service*) - namijenjena je pružatelju usluga, gdje napadač jednostavno želi koristiti uslugu bez plaćanja, u VoIP pristupnoj mreži, primjerice DSL, širina pojasa je i dalje ograničeni resurs - osobito niski gubitak i kolebanje kašnjenja paketa potrebnih za dobru kvalitetu zvuka
- Narušavanje privatnosti (eng. *Invasion of privacy*) - pretplatnici očekuju da su njihovi pozivi privatni i da niti jedna treća strana ne može prisluškivati (osim zakonitog presretanja), kod VoIP-a, kabelske i bežične mreže koriste zajednički medij koji dopušta prisluškivanje osim ako se ne koristi enkripcija. [13]

3.5.3. Kvaliteta usluge (QoS)

Jedan od ključnih zahtjeva za široko rasprostranjenom implementacijom VoIP-a jest mogućnost pružanja kvalitete usluge koja je ekvivalentna postojećem PSTN-u. Neki pružatelji usluga čak gledaju mreže sljedeće generacije kao sredstvo za isporuku mnogo veće kvalitete glasa kao usluge.

Percipirana kvaliteta glasa vrlo je osjetljiva na tri ključna kriterija izvedbe u paketnoj mreži, a to su:

- kašnjenje
- kolebanje kašnjenja
- gubitak paketa

IP mreža, po svojoj prirodi, pruža najbolju moguću (eng. *best-effort*) uslugu i ne daje jamstva o ključnim parametrima. Nužno je provesti odgovarajuće QoS rješenje u većini slučajeva gdje jednostavna nadopuna ne može jamčiti uspjeh. Postoji velik broj tehnologija koje se mogu odabrati za pružanje QoS podrške kao što su Diffserv, RSVP, MPLS i čak ATM. Međutim, cilj takvog rješenja je uvijek jamčiti prioritet prijenosa glasovnih medija u odnosu na best-effort podatke te osigurati da glasovna usluga nije ugrožena nepredviđenim prometnim uzorcima. [13]

3.5.4. Presretanje poziva

Povijesno gledano, zakonito presretanje (prisluškivanje) telefonskih razgovora bilo je relativno dobro definiran i jasan proces. Tipično, agencija za provođenje zakona podnijela je zahtjev sudu za naredbu za presretanje određenog telefonskog broja. Davatelj usluga tada dopušta pregled, te daje sve potrebne informacije i proslijeđuje ih agenciji za provedbu zakona. Uvođenje VoIP-a znatno kompliciira ovaj proces. Zakon se mijenja ovisno o lokaciji u kojoj se nalazimo (u Sjedinjenim Američkim Državama relevantno zakonodavstvo je Zakon o poticanju komunikacija za provedbu zakona - CALEA).

VoIP pozivi se mogu na jednostavan način skupljati i dekodirati ukoliko napadač ima fizički pristup lokalnoj računalnoj mreži preko koje VoIP paketi putuju. Kao protumjere za ovakve napade potrebno je zaštititi fizičke pristupe mreži te implementirati enkripciju s nekom od raspoloživih metoda. [13]

3.5.5. Dinamički vatrozidni nadzor komunikacije

VoIP sigurnosna rješenja bi trebala koristiti "više" dinamičkih razina sigurnosti kako bi zaštitili VoIP mreže uključujući:

- dinamičko otvaranje i zatvaranje vatrozidnih portova prema pozivnoj bazi (eng. per-call basis)

- dijeljenje mreže u više sigurnosnih zona (odvajanje glasovne i podatkovne mreže u zasebne pod-mreže)
- traženje mrežne korisničke identifikacije prema pozivnoj bazi. [13]

3.5.6. NAT prevođenje

Korištenje NAT tehnologije između privatnih i javnih adresa može uzrokovati konfiguracijske probleme za uspostavljanje VoIP poziva. Stoga je potrebno koristiti takva rješenja za NAT koja podržavaju VoIP protokole te dopuštaju prolazak kriptiranih signala. [13]

3.5.7. Dinamčki nadzor širine pojasa linka

Perfomanse i kvalitete usluge prijenosa glasa su jedni od najvećih problema u uvođenju i implementiranju VoIP tehnologija. VoIP sigurnosna rješenja bi u rješavanju ovih problema trebala imati mogućnost da:

- dodjeljuju širinu pojasa linka prema pozivnoj osnovi
- dodjeljuju širinu pojasa linka prema klasifikaciji poziva
- dodjeljuju širinu pojasa linka i usmjeravaju pozive preko višestrukih WAN (eng. *Wide Area Network*) linkova
- istovremeno dodjeljuju širinu pojasa linka za usluge hitnih poziva (eng. *Emergency calls*). [13]

3.5.8. Mrežna povezanost

PSTN nije jedinstvena mreža, već skup mreža kojima upravljaju tisuće pružatelja usluga. Na svakoj granici mreže potrebna je mrežna povezanost. Sporovi mreža za međusobno povezivanje postavljeni su kako bi pokrivali stavke kao što su točke međusobnog povezivanja, signalizacija, vrijeme, naplata i tarife, prijevoz nositelja, regulatorne zahtjeve itd. Obično zahtijeva odobrenje od nadležne uprave. [1]

4. RAZVOJ QOS-A I NJEGOVA ULOGA U KOMUNIKACIJAMA

IP protokol (eng. Internet protocol), kao i sama Internet arhitektura se temelji na jednostavnom konceptu datagrama, koji s izvornom i odredišnom adresom mogu neovisno putovati kroz mrežu bez pomoći pošiljatelja ili primatelja. Razlog zašto je IP vrlo jednostavan leži u činjenici da ne pruža puno usluga, ne može pružiti bilo kakve garancije na količinu podataka koju će isporučiti u određenom vremenu. IP pruža takozvanu uslugu „najbolje moguće“ (eng. best-effort). [17]

Nameće se pitanje kako povećati razinu usluga Internet protokola i njegove infrastrukture bez dodavanja suvišne složenosti. Ovaj problem, s kojim se sve više suočavamo predstavlja pitanje kvalitete usluge – QoS (eng. Quality of Service). Kvaliteta usluge predočuje skup kvantitativnih i kvalitativnih obilježja koji je neophodan za postizanje tražene funkcionalnosti aplikacije i usluge. [3]

Posljednjih godina bežične pokretne komunikacije su doživjele snažan razvitak. Prvenstveno ih je karakterizirala jednostavna govorna usluga uz korištenje globalnog sustava za pokretne komunikacije (eng. Global System for Mobile communications, GSM), odnosno tehnologije višestrukog pristupa u kodnoj raspodjeli (eng. Code Division Multiple Access, CDMA), te brzo prihvaćanje usluge kratkih poruka (eng. Short Message Service, SMS). Potom obilježile su ih usluge zasnovane na IP paketima (eng. Internet Protocol) uz korištenje opće datagramske radijske usluge (eng. General Packet Radio Service, GPRS) i CDMA 2000 radijske pristupne mreže.

Današnji period obilježava treća generacija tehnologija i opći pokretni telekomunikacijski sustav (eng. Universal Mobile Telecommunications System, UMTS) korištenjem brzog datagramskog pristupa (eng. High Speed Packet Access, HSPA), te razvoj tehnologije LTE (eng. Long Term Evolution). Telekomunikacijske sustave budućnosti karakterizira realiziranje paradigme po kojoj pokretni korisnici mogu koristiti bilo koju uslugu, bilo gdje, bilo kada i sa zadovoljavajućim performansama, te konvergencija prema jedinstvenoj IP infrastrukturi, posredstvom koje se u mrežama sljedeće generacije NGN (eng. Next Generation Network) odvija objedinjeni prijenos paketa koji nose korisničke i signalizacijske informacije. Najveći izazov u NGN mrežama je osiguranje kvalitete usluge kao u tradicionalnim govornim komunikacijama i visoke razine iskustvene kvalitete usprkos pokretljivosti korisnika, ali i različitim QoS zahtjevima različitih aplikacija. Kompliciranost rješenja se povećava kada se u obzir uzmu strogi stvarno-vremenski

zahtjevi složenih komunikacijskih usluga koji se postavljaju pred telekomunikacijske sustave budućnosti. Također, otežavajuću okolnost predstavljaju i visoka očekivanja korisnika usluga sljedeće generacije 4G. [23]

Porastom broja korisnika i porastom njihovih zahtjeva dolazimo do problema kako povećati uslugu interneta korisnicima bez dodavanja suvišne složenosti. Sve se više suočavamo s tim problemom i tu se predstavlja pitanje kvalitete usluge QoS i njegove uloge u modernim telekomunikacijskim mrežama. Glavna uloga QoS-a je postizanje funkcionalnosti aplikacija i usluga krajnjim korisnicima u mreži. [3]

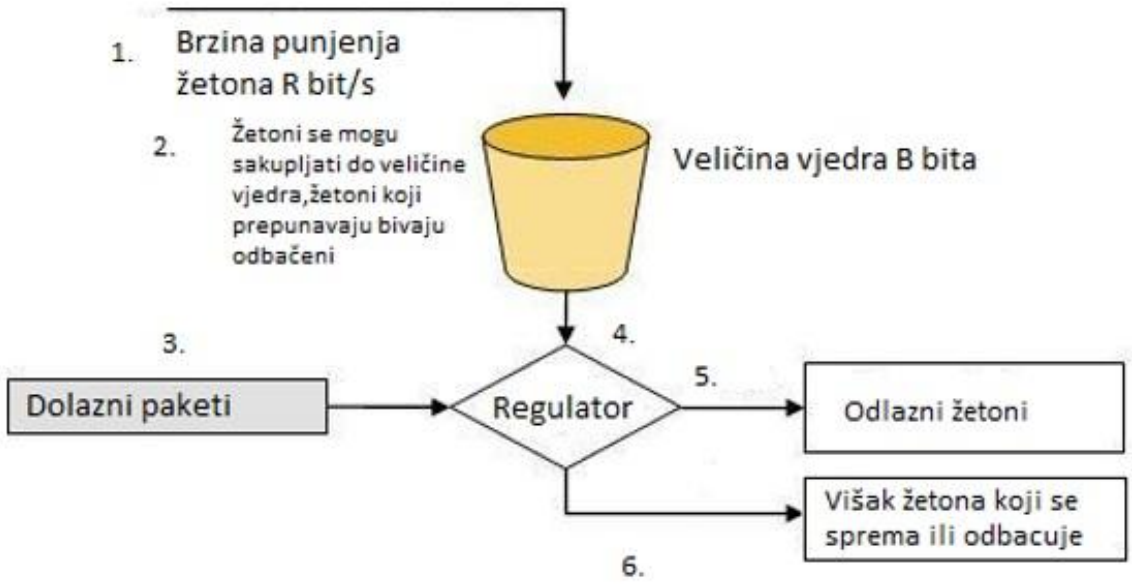
4.1. Mehanizmi kvalitete usluge (QoS)

Reguliranje prometa je mehanizam kojim se sav prekoračeni promet u protocima podataka, definirane najveće norme, odbacuje. Reguliranje prometa ne uključuje kašnjenje koje je u granicama smjernica prometa.

Oblikovanje prometa se odnosi na postavljenje prekoračenih paketa u redove čekanja. Svi prekoračeni paketi postavljaju se u memorijski „buffer“ mrežnog uređaja. Metoda oblikovanja prometa uvijek se konfigurira samo u izlaznom smjeru sučelja gdje se svi prekoračeni paketi smještaju u redove čekanja i oblikuju prema postavljenim smjernicama. Metoda oblikovanja prometa radi planiranje zakašnjelog paketa za njihov daljnji prijenos. Funkcija planiranja omogućava organiziranje oblikovanja prometa u različite redove čekanja, npr. Class Based Weighted Fair Queuing (CBWFQ) i Low Latency Queuing (LLQ). [6, 24]

Token bucket algoritam (Slika 4.1.1.) pruža korisnicima tri mogućnosti za svaki dolazni paket. Dolazni paketi se postavljaju u jednu od ovih kategorija, te korisnik odlučuje o tretmanu paketa:

1. usmjeritelj stavlja žetone u vjedro određenom brzinom
2. žetoni se mogu skupljati do veličine vjedra, oni koji prepunjuju vjedro budu odbačeni
3. promet traži pristup internetu
4. regulator repa posluživanja u usmjeritelju zahtjeva žetone jednake veličini sljedećeg paketa
5. ako postoje žetoni paket se sprema u rep za prijenos
6. ako ne postoje adekvatni žetoni paket se ili označava kao višak i sprema ili se odbacuje



Slika 4.1.1. Token bucket algoritam [3]

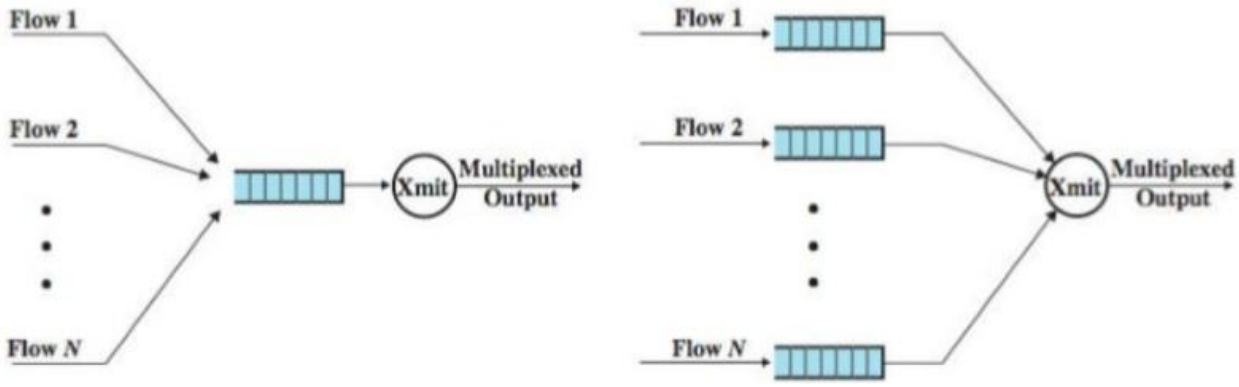
Glavna razlika između oblikovanja i reguliranja je mjera po kojoj se „žetoni u vjedru" ponovno pune. I oblikovanje i reguliranje prometa koriste metaforu vjedra žetona. Metoda kante žetona radi na slijedeći način:

- žetoni se postavljaju u vjedro po određenoj mjeri, odnosno izračunu
- žeton je dozvola izvoru za slanje određenog broja bitova u mrežu
- za slanje paketa prometni regulator mora biti u mogućnosti maknuti broj žetona iz vjedra koji je jednak veličini paketa
- ukoliko nema dovoljno žetona u vjedru za slanje paketa, paket čeka dok vjedro ne zaprimi dovoljan broj žetona ili se paketi odbacuju
- vjedro ima postavljene kapacitete (Bc i Be),ukoliko vjedro pređe kapacitete novi žetoni se odbacuju tako da nisu dostupni za buduće pakete. U svako vrijeme najveći nalet bitova koji izvor može poslati u mrežu proporcionalan je veličini vjedra. Vjedro žetona dopušta nalete bitova, ali ih i ograničava. [24]

Discipline posluživanja repova:

- FIFO (eng. First in first out) - prvi paket koji ulazi je prvi paket koji izlazi nema posebnog tretmana za pakete visokog prioriteta, veliki paket može zadržati mali paket, pohlepne veze popularnog naziva „greedy“ mogu onemogućiti manje pohlepne veze

- Potreban je neki oblik pravednog raspoređivanja – višestruki repovi na svakom izlaznom portu, paket se postavlja u rep za svoj tok, slijedi cikličko posluživanje repova koje može sadržavati pravedno raspoređivanje prema težinskim faktorima



Slika 4.1.2. FIFO i pravedno raspoređivanje [3]

4.2. QoS podrška u VoIP komunikaciji

VoIP je najčešće raspoređen preko konvergiranih IP mreža koje nose podatkovni, glasovni i video promet. Kada su mrežni resursi zagušeni, oni mogu ozbiljno utjecati na kvalitetu VoIP prometa uzrokujući loš korisnički doživljaj pretplatnika. To može dovesti do povećanja broja poziva (prijava potškoća) za poduzeće i gubitka prihoda zbog prometa korisnika. Stoga je vrlo važno da poduzeća implementiraju QoS za VoIP promet u svojim mrežama. Implementacija može pomoći u osiguravanju dobre kvalitete zvuka kada su mrežni resursi zagušeni.

Postoji niz čimbenika koji mogu utjecati na kvalitetu VoIP prometa kao što ih vidi krajnji korisnik. Neki od uobičajenih čimbenika uključuju kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa. Ti čimbenici mogu biti ključni pokazatelji cjelokupnog zdravlja govorne mreže i definirani su kako slijedi:

- **Kašnjenje (eng. *Delay*)** - vrijeme koje je potrebno da VoIP promet dosegne s jedne krajnje točke u drugu obično se naziva *end-to-end* kašnjenje. Kašnjenje se može mjeriti u jednosmjernom ili kružnom kašnjenju. Preporuka ITU G.114 navodi da je prihvatljiv jednosmjerno kašnjenje za govor do 150 ms. Svako kašnjenje veće od 150 ms može rezultirati slabom kvalitetom glasa i lošim korisničkim iskustvom.
- **Kolebanje kašnjenja (eng. *Jitter*)** - kolebanje kašnjenja tijekom vremena s jedne krajnje točke u drugu. Ako kašnjenje prijenosa varira prečesto u VoIP pozivu, kvaliteta poziva je

uvelike degradirana. VOIP mreža obično nadoknađuje tako da se na krajnjim točkama podešava *jitter buffer*, kako bi se VoIP promet do krajnjeg korisnika pružio konstantnom brzinom. Ako je kolebanje kašnjenja previsoko, može doći do prelijevanja *jitter buffera* na krajnjim točkama što dovodi do gubitka paketa i slabe kvalitete zvuka.

- **Gubitak paketa (eng. *Packet loss*) -** broj ispuštenih paketa na putu prijenosa podataka dok se prenosi VoIP promet s jedne krajnje točke u drugu. Gubitak 3-postotnog paketa obično se smatra najvećim dopuštenim ograničenjem za dobru kvalitetu glasa. VoIP mreža bi trebala biti dizajnirana za < 1.5% gubitka paketa kako bi se jamčila dobra kvaliteta zvuka. [14]

Slika 4.2.1. prikazuje prihvatljive granice za gore navedene ključne čimbenike.

	dobro	prihvatljivo	loše
Kašnjenje	0ms–150ms	150ms–300ms	> 300ms
Kolebanje kašnjenja	0ms–20ms	20ms–50ms	> 50ms
Gubitak paketa	0%–0.5%	0.5%–1.5%	> 1.5%

Slika 4.2.1. Prihvatljive granice za ključne QoS parametre [14]

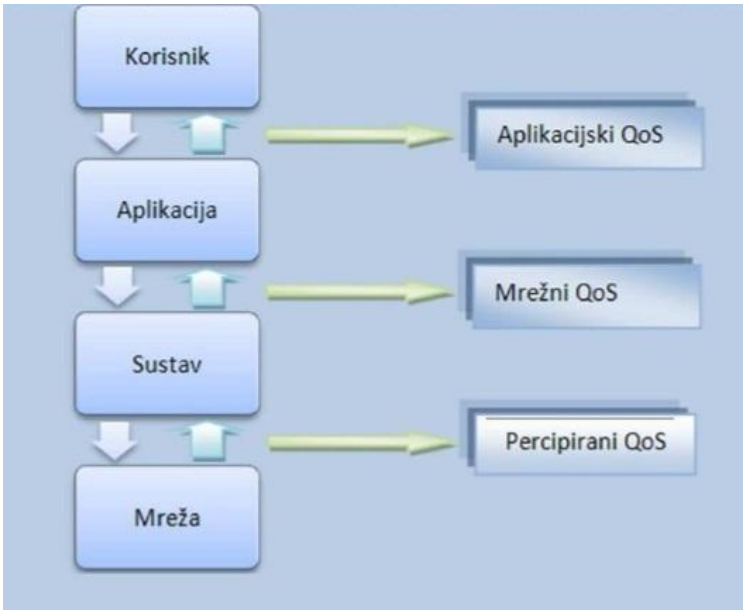
4.2.1. Definiranje QoS metodologije

QoS politika implementirana za VoIP promet trebala bi obuhvatiti end-to-end glasovnu mrežu. Preporuča se slojeviti QoS pristup koji olakšava implementaciju i upravljanje QoS politikom za VoIP.

QoS politika za VoIP promet trebala bi pokriti mrežni, percipirani, kao i sloj aplikacije. To će pomoći osigurati da se VoIP promet daje preferencijalnom tretmanu jer se transportira s jedne krajnje točke u drugu. QoS u aplikacijskom sloju je osobito koristan kada krajnji korisnici koriste VoIP aplikacije na računalu za postavljanje i primanje glasovnih poziva. U tom slučaju, VoIP promet može primiti željeni QoS dok prolazi mrežu, ali aplikacija krajnjeg korisnika baziranog na računalu možda ne daje prioritet VoIP-u u odnosu na druge aplikacije koje zahtijevaju resurse

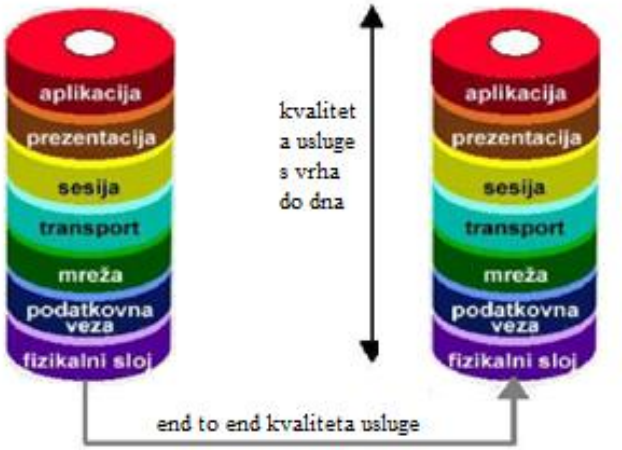
središnje procesorske jedinice (eng. *CPU*). To može rezultirati slabom kvalitetom glasa zbog kašnjenja, kolebanja kašnjenja ili gubitka paketa, kao što je gore opisano.

QoS može pomoći samo kada su resursi zagušeni. Ako nema razloga za širinu pojasa ili druge mrežne resurse, primjena QoS-a možda neće pružiti nikakve dodatne pogodnosti. [14]



Slika 4.2.1.1. Preslikavanje parametara kvalitete [3]

Cilj mreže i njenih usluga je postizanje željene korisničke procjene (engl. Quality of Experience - QoE), a QoS je glavni alat za postizanje tog cilja. Potrebno je osigurati „end to end“ kvalitetu usluge (Slika 4.2.1.2.) i pri tome glavnu ulogu imaju mehanizmi za osiguranje mrežnih parametara kao što su DiffServ (engl. Differentiated Services) i IntServ (engl. Integrated Services). [8]

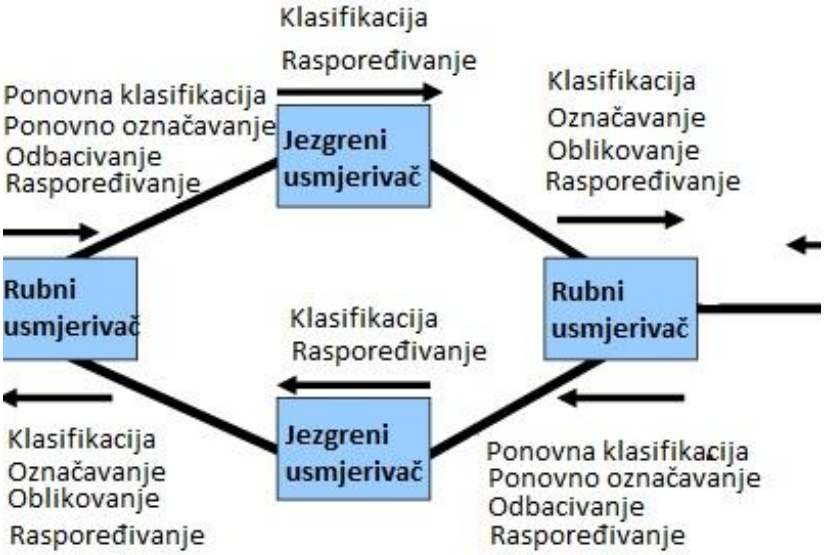


Slika 4.2.1.2. End to end kvaliteta usluge [9]

4.2.2. Diferencirane usluge (engl. Differentiated Services) za primjenu QoS-a

Dobra QoS pravila uključuju označavanje ili klasifikaciju VoIP prometa na rubu mreže, tako da srednji uređaji u mreži mogu razlikovati glasovni promet od drugog prometa i obraditi ih prema definiranim pravilima. Ova oznaka ili klasifikacija može se obaviti pomoću vrijednosti diferenciranih usluga kodne točke ili pomoću bitova IP prioriteta u vrsti uslužnog bajta u IP zaglavlju.

Diferencirane usluge definiraju traženo ponašanje u putu prosljeđivanja kako bi osigurale kvalitetu usluge za različite klase prometa. Vrlo važan aspekt u definiciji ponašanja putanja za QoS je način obavljanja klasifikacije paketa. Za kvalitetu usluge potrebno je klasificiranje paketa kako bi se odredilo koji će tretman imati određeni paket za dijeljenje resursa. Slika 4.2.2.1. prikazuje model QoS-a na temelju diferenciranih usluga (DiffServ). [14]



Slika 4.2.2.1. Model QoS-a na temelju diferenciranih usluga (DiffServ) [14]

4.3. Srednja iskustvena vrijednost – MOS u VoIP-u

Srednja iskustvena vrijednost (eng. *Meaning Opinion Score*) je mjera koja se koristi u području kvalitete usluge i telekomunikacijskog inženjerstva. Predstavlja ukupnu kvalitetu sustava i aritmetička je sredina prema svim pojedinačnim vrijednostima na unaprijed definiranoj skali koju sustav dodjeljuje njegovom mišljenju o izvedbi kvalitete sustava. Takve ocjene obično se skupljaju u subjektivnom testu ocjene kvalitete, ali se također mogu algoritamski procijeniti.
MOS daje VoIP testiranju brojne vrijednosti kao pokazatelja percipirane kvalitete primljenog glasa nakon što se prenose i komprimiraju pomoću kodeka. Mjerenje je rezultat temeljnih mrežnih atributa koji djeluju na protok podataka i korisni su u predviđanju kvalitete poziva. Dobar je VoIP alat za testiranje pri određivanju problema koji mogu utjecati na VoIP kvalitetu i razgovore. VoIP pozivi često se nalaze u rasponu od 3,5 do 4,2 MOS. Podaci sa slike 4.3.1. mogu koristiti kao vodič za VoIP MOS testiranje i dobru usporedbu za kvalitetu glasa. [27]

Maksimalno za G.711 kodek	4.4
Vrlo zadovoljavajuće	4.3-5.0
Zadovoljavajuće	4.0-4.3
Zadovoljavajuće za neke korisnike	3.6-4.0
Nezadovoljavajuće za mnoge korisnike	3.1-3.6
Nezadovoljavajuće za sve kornike	2.6-3.1
Nije preporučljivo	1.0-2.6

Slika 4.3.1. MOS usporedne vrijednosti [27]

5. MJERENJE PERFORMANSI VOIP KOMUNIKACIJE POMOĆU QOS PARAMETARA

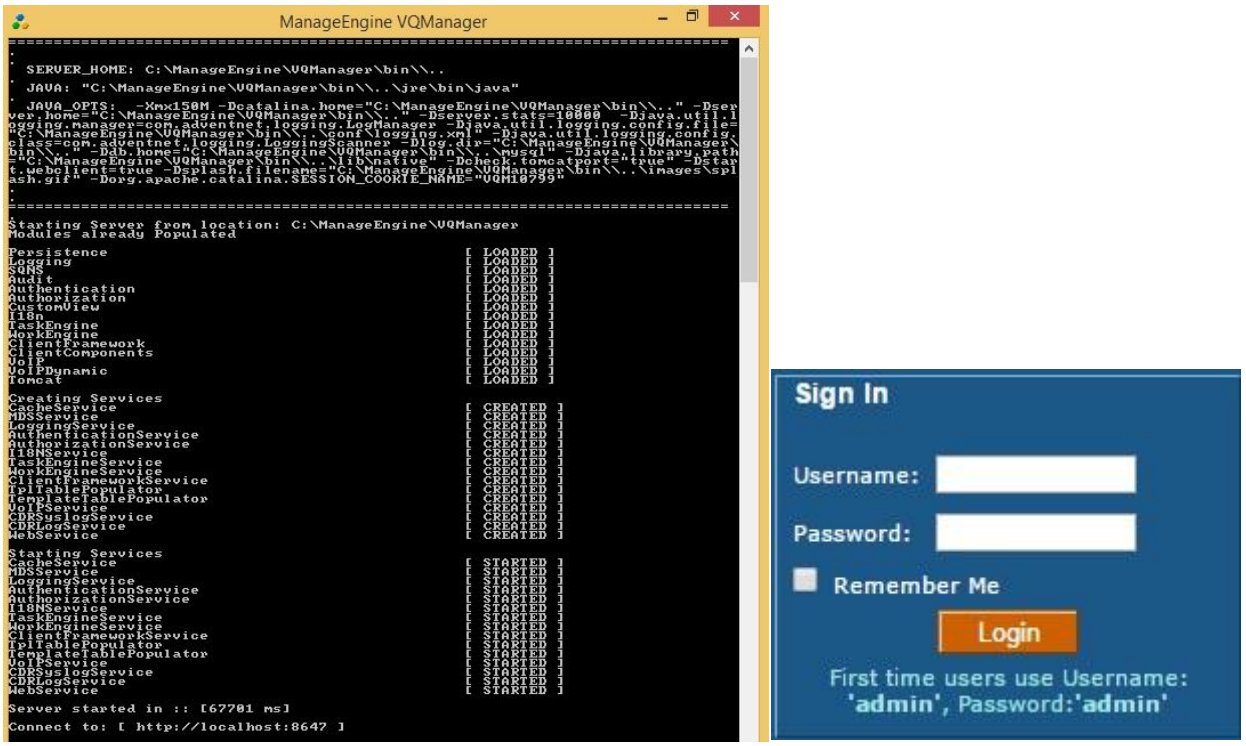
VoIP tehnologija je postala popularna razvojem širokopojasnog interneta. Dakle, radi se o paketskoj telefoniji koja se oslanja na WAN i LAN mreže te IP protokol. U ovom poglavlju će se analizirati parametre kvalitete usluge QoS (eng. Quality of Services) te uspostaviti testna VoIP mreža i ispitati parametre kvalitete usluge pomoću dostupnog programskog alata. Komentirani su rezultati mjerenja te su međusobno uspoređeni. Mjerenja su izvršena u zgradi Hrvatskog operatera prijenosnog sustava - HOPS.

VoIP tehnologija koristi širinu zajedničkog interneta za razliku od ostalih tradicionalnih komunikacijskih tehnologija. Isto tako, kao aplikacija u stvarnom vremenu koja koristi istu širinu pojasa, na mrežne parametre kao što su gubitak paketa, kašnjenje i kolebanje kašnjenja drastično utječu na VoIP kvalitetu u usporedbi s drugim aplikacijama kao što su e-pošta i Instant Messaging. Zbog toga je važno imati na raspolaganju sustav praćenja, kako bi bili svjesni stanja svih vitalnih parametara VoIP kvalitete na bazi 24/7. [25]

Za praćenje ili analizu VoIP QoS parametara i sekvencioniranih shema VoIP mreže koristiti će se softver VQManager 6.3. Za generiranje skupnih ili virtualnih poziva za nadgledanje uspostavljen je testni sustav generatora poziva TCS (eng. *Test Call Generator System*). Ovo je demo verzija softvera, a snimke snimljene u nastavku su iz pokrenutog softvera.

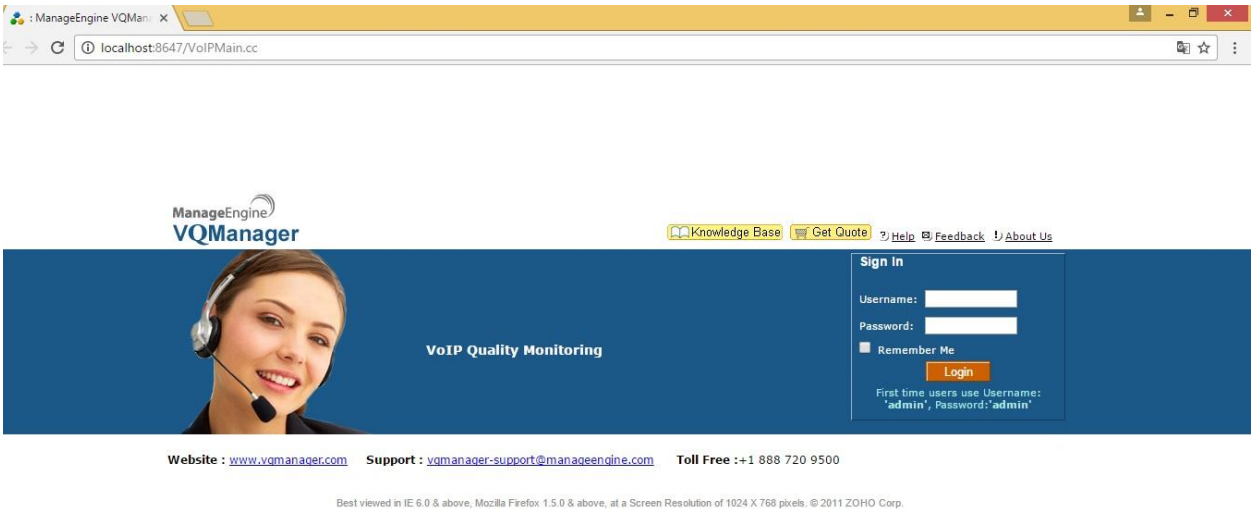
5.1. Instalacija i konfiguracija VQManager 6.3 softvera

VQManager 6.3 softver je besplatni programski alat dostupan za preuzimanje putem interneta. Instalacija VQManager-a je laka i slična instalaciji drugih Windows aplikacija. Kada cmd (command prompt) inicira instalaciju softvera, softver se otvori kao način konzole i otvara sekciju za prijavu u internet pregledniku.



Slika 5.1.1. VQManager u načinu konzole i zaslon za prijavu

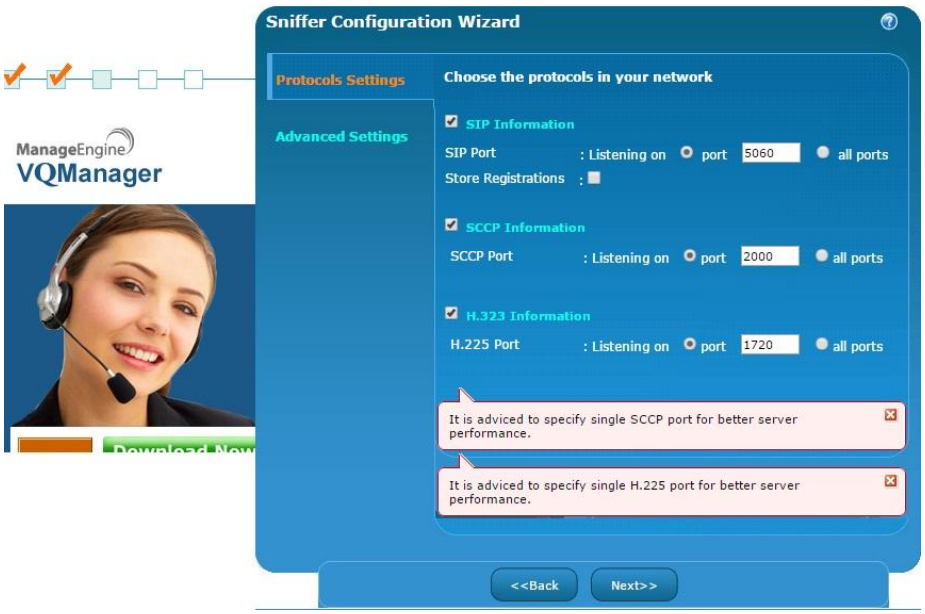
Pojavljuje se zaslon za prijavu te se mora upisati korisničko ime i lozinka za VoIP račun. Korisnik koji prvi put koristi ovaj softver upisuje korisničko ime i lozinku kao „admin“. Kada se podaci unesu i kada je korisnik prijavljen na VoIP račun, mogu se postaviti postavke računa.



Slika 5.1.2. Zaslon za prijavu na VQManager

Otvara se čarobnjak za konfiguriranje sniffera ili paketa analizatora. Ovdje konfiguriramo podatke protokola za lokal host softver. Softver podržava SIP (eng. *Session Initiation Protocol*) i

SCCP (eng. *Skinny Call Control Protocol*) protokole te H.323 standarde za VoIP prijenos. Svi portovi su prema zadanim postavkama.

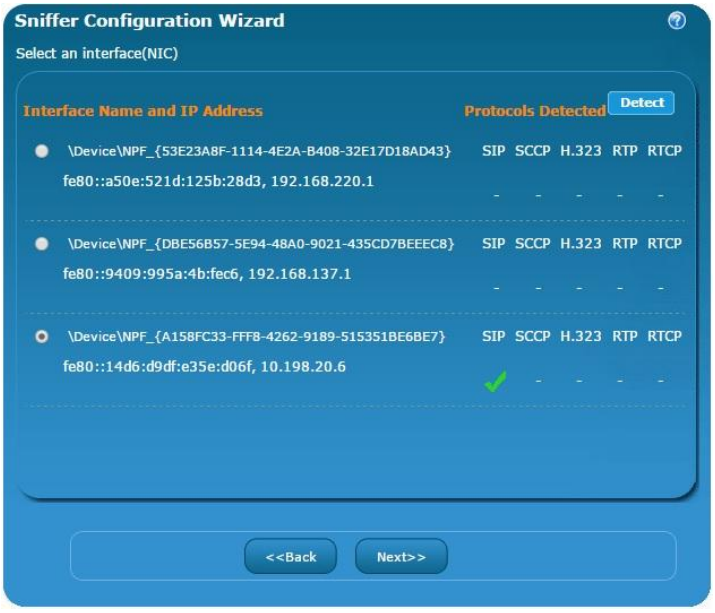


Slika 5.1.3. Postavke čarobnjaka za konfiguriranje sniffera

Nakon završetka procesa konfiguracije sniffera, postupak napredovanja protokola je u tijeku. Odabire se naziv sučelja i IP adresa lokal host servera.

Sučelje koje se koristi:

Device_1(A158FC33-FFF8-4262-9189-515351BE6BE7)



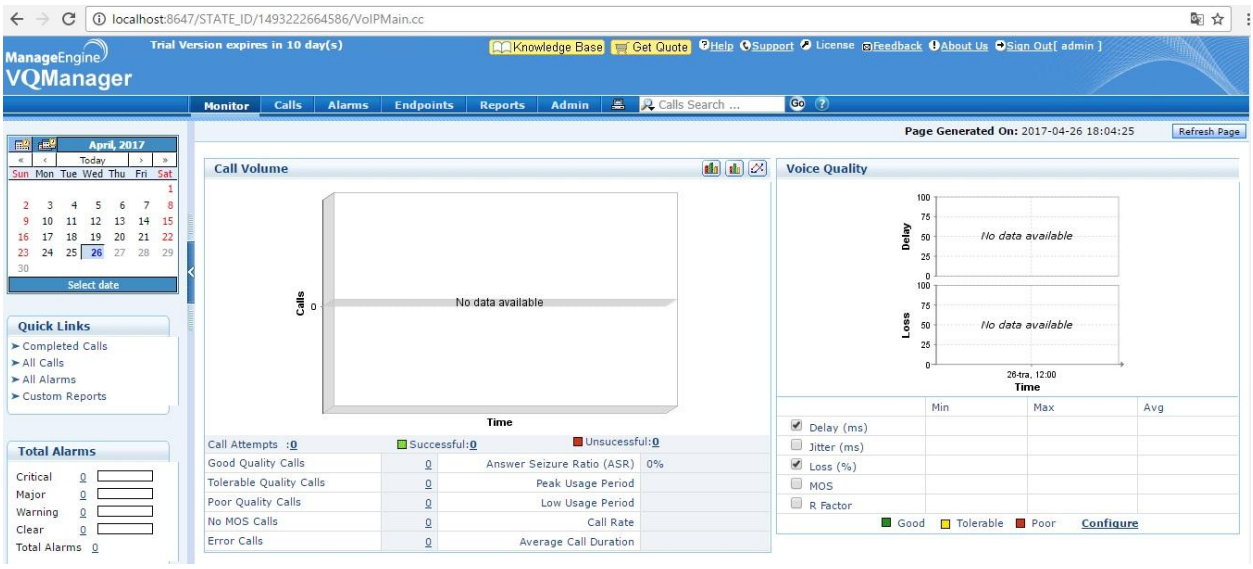
Slika 5.1.4. Odjeljak konfiguriranja sniffera za odabir sučelja i IP adrese

Pojavljuje se jedinica Sniffer Summary i prikazuje odabrano sučelje i IP adresu. Napredne opcije praćenja se također prikazuju u ovom dijelu postavki. Ovdje se može vidjeti da su odabrani portovi protokola i mogućnosti koje podržava softver.

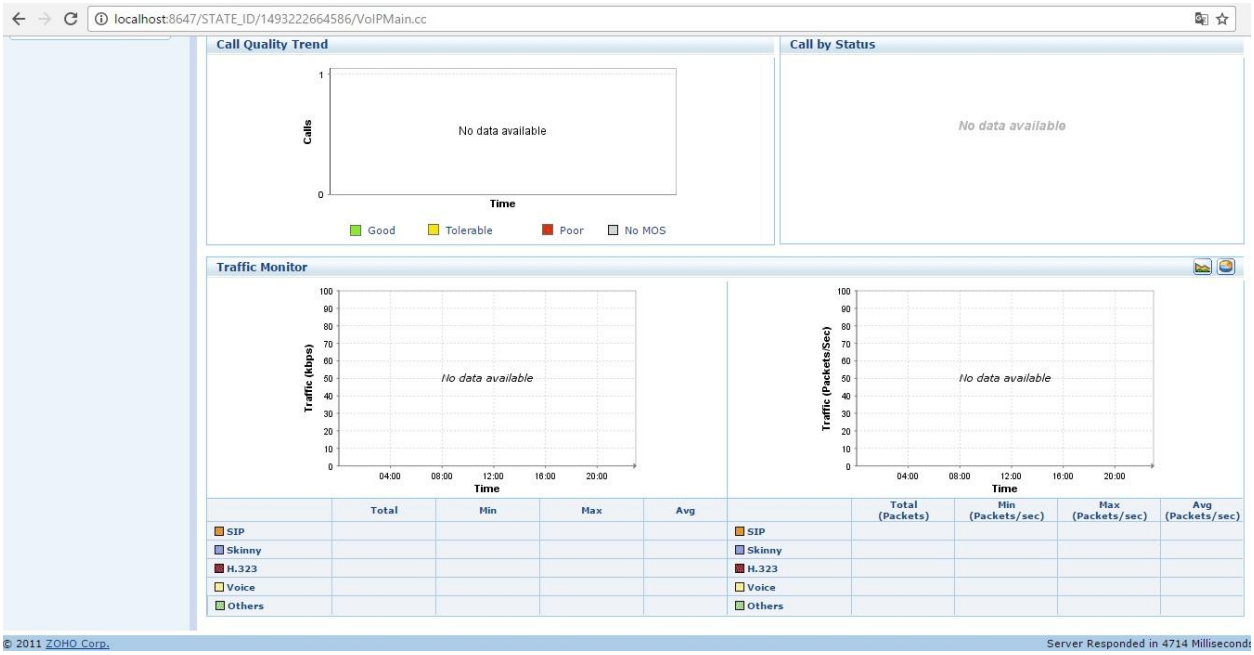


Slika 5.1.5. Postavke naprednih mogućnosti praćenja sniffera

Kada su postavke softvera dovršene, otvori se stranica za praćenje koja dostavlja svaki dio VoIP sustava i njegovih informacija.



Slika 5.1.6. Osnovni izgled prozora za VoIP nadzor koji sadrži grafikon glasnoće poziva i grafikon kvalitete glasa



Slika 5.1.7. Osnovni izgled prozora za VoIP nadzor koji sadrži trendove kvalitete poziva, status poziva i grafikon nadgledanja prometa

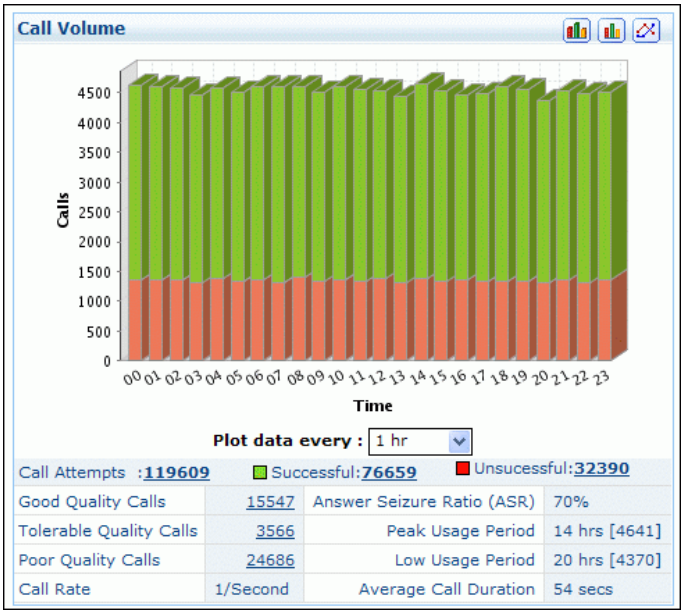
VoIP nadzor sadrži sljedeće:

- Grafikon glasnoće poziva koji pokazuje glasnoću poziva koji su bili uspješni ili neuspješni, dobre, prihvatljive ili loše kvalitete, vršne i niske periode korištenja, ukupno trajanje poziva i ukupni ASR
- Grafikon kvalitete glasa koji prikazuje snimku QoS mjernih podataka s njihovim Min, Max i Avg vrijednostima te je li dobar, prihvatljiv ili loš kako je odredio korisnik
- Grafikon trendovi kvalitete poziva prikazuje parametar kvalitete - dobro, prihvatljivo i loše kvalitetan poziv po satu
- Status poziva je tortni grafikon koji prikazuje postotak i broj uspješnih, neodgovorenih, pogrešaka i neprikazanih poziva
- Grafikon nadgledanja prometa koji prikazuje razdjelnu širinu pojasa za svaku VoIP prometnu komponentu.

5.1.1. Grafikon glasnoće poziva

Grafikon glasnoće poziva predstavlja sažetak poziva koji su se dogodili tijekom vremenskog razdoblja kao što je odabrano u kalendaru. Vremensko razdoblje se može podijeliti u intervale prema zahtjevu. Grafikon glasnoće poziva sadrži sljedeće elemente:

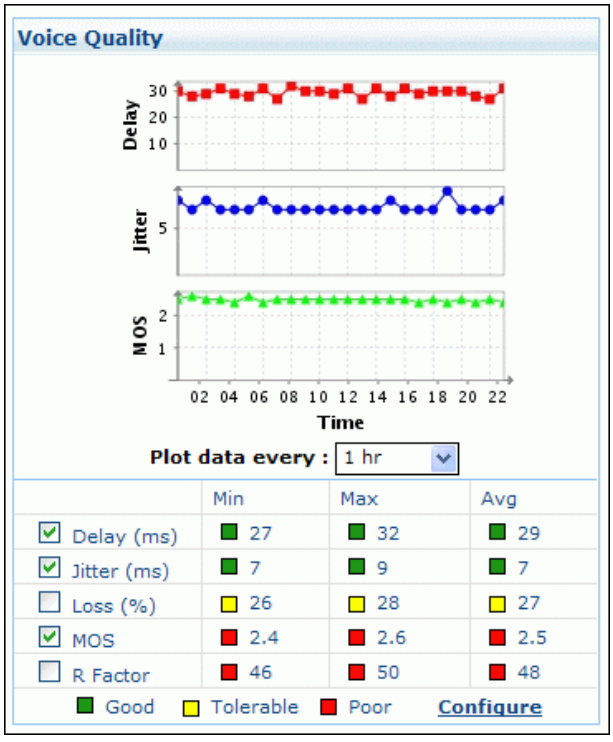
- Prikaz statistike svih poziva koji su pokrenuti u odabranom vremenskom okviru kao što je postavljeno u kalendaru.
- Grafikon koji ima zelena područja koja predstavljaju uspješne pozive dok crvena područja označavaju neuspješne pozive.
- Prikazuje broj pokušaja poziva, uspješan i neuspješan broj kao povezani broj poziva. Kada se klikne na taj povezani broj, mogu se pregledati podatci o odgovarajućim pozivima.
- Uspješni pozivi podijeljeni su na pozive na temelju kvalitete - dobri, prihvatljivi i loši pozivi. Pozivi s MOS (srednja ocjena mišljenja) većim od 3,6 klasificiraju se kao pozivi dobre kvalitete. Pozivi s MOS-om manjim od 3,1 označeni su kao pozivi loše kvalitete. Pozivi s MOS-om između 3.1 i 3.6 označeni su kao pozivi prihvatljive kvalitete.
- ASR - prikazuje omjer uspješno povezanih poziva u odnosu na pokušaj poziva.
- Navodi vremensko razdoblje na kojem je bio maksimalan broj poziva - njegova vršna upotreba, te vremensko razdoblje na kojem je volumen poziva bio minimalan - niska upotreba.
- Pruža prosječno trajanje poziva tijekom svih poziva u odabranom vremenskom razdoblju.
- Prikazuje se stopa poziva koja pokazuje brzinu kojom se pozivi vrše u VoIP mreži.



Slika 5.1.1.1. Grafikon glanoće poziva

5.1.2. Grafikon kvalitete glasa

- Pruža podatke vitalnih parametara kvalitete za kašnjenje, kolebanje kašnjenja, gubitka paketa, MOS i R-Faktora tijekom definiranog vremenskog razdoblja kako je postavljeno u kalendaru.
- Tablica podataka prikazuje vrijednosti "Min", "Max" i "Avg" za svaki parametar kvalitete, te koja je od tih vrijednosti "Dobra", "Prihvatljiva" ili "Loša" prema korisniku.
- Grafikoni trendova prikazani su za svaki parametar. Istodobno se mogu prikazati do tri grafikona odabirom odgovarajućeg kvadratića pored svakog parametra. Kada se odabere najviše tri prikazana grafikona, da bi vidjeli potrebne dodatne parametre, mora se ukloniti trenutno odabrane parametre.
- Svaka pojedinačna QoS vrijednost na grafikonu može se kliknuti kako bi se dobili detalji o pozivima koji su pridonijeli odgovarajućoj QoS vrijednosti.



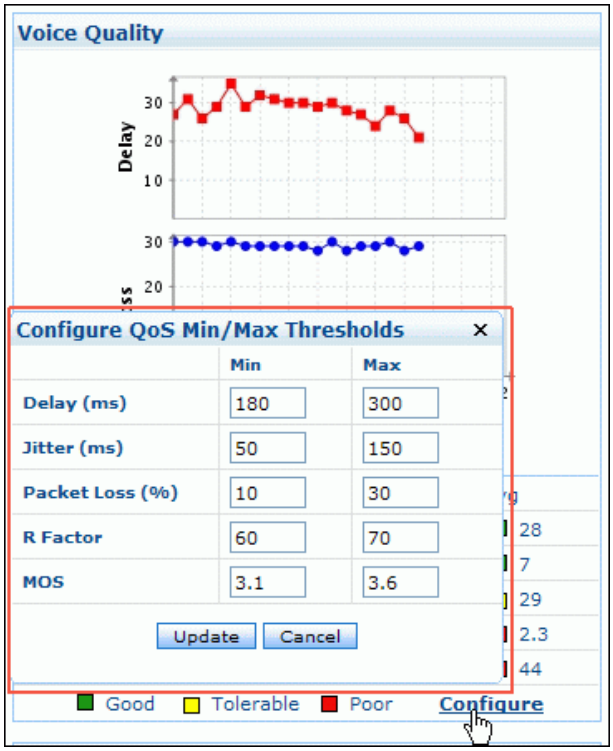
Slika 5.1.2.1. Grafikon kvalitete glasa

QoS mjerni podaci mogu se prilagoditi prema VoIP zahtjevima kvalitete. Administratori sustava mogu definirati vrijednost praga za vrijednosti kašnjenja, kolebanja kašnjenja, gubitka paketa, MOS i R-faktora. Minimalna i maksimalna vrijednost prihvatljive vrijednosti pomažu u određivanju dobre i loše ocjene kvalitete. QoS mjerenja ispod minimalne razine praga bi se

klasificirala kao "Dobra", a mjerni podaci koji premašuju maksimalnu vrijednost praga nazivaju se "Loša".

Za konfiguriranje raspona QoS mjernih podataka:

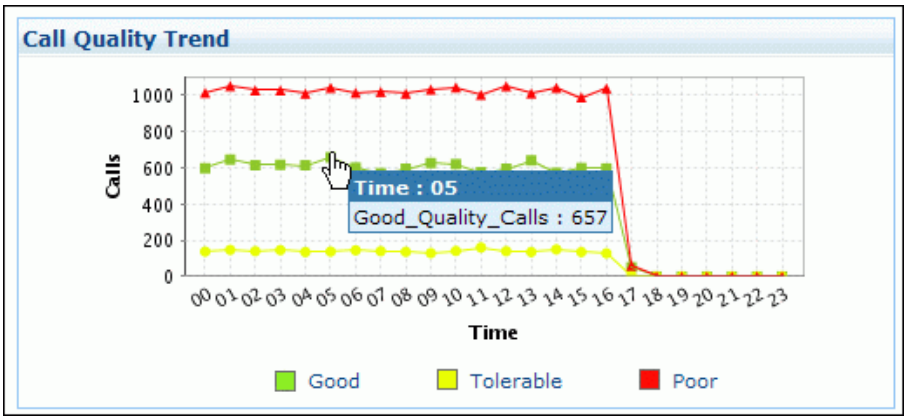
- Klik na vezu "Configuration"
- Pojavit će se zaslon za "Configure QoS Min/Max thresholds"
- Ispuniti raspon različitih mjernih podataka kao što su kašnjenje, kolebanje kašnjenja, gubitak paketa, MOS
- Kliknuti gumb "Update" da bi potvrdili vrijednosti



Slika 5.1.2.2. Grafikon kvalitete glasa i QoS konfiguracijski zaslon

5.1.3. Grafikon trendovi kvalitete poziva

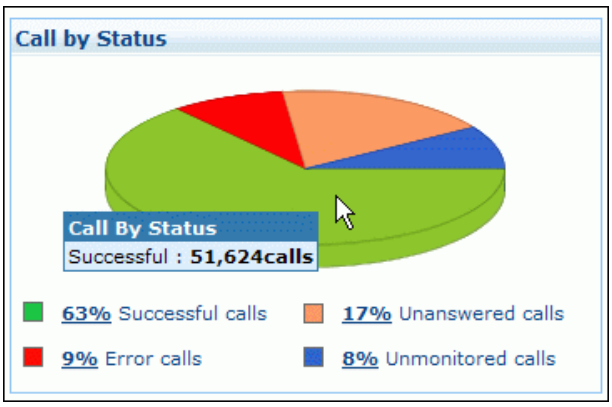
Trend kvalitete poziva prikazuje parametar kvalitete - dobri, prihvatljivi i loši pozivi po satu. Može se kliknuti svaki pojedinačni ispis trendova kvalitete na grafikonu kako bi se dobili detalji o ukupnom broju poziva za odabrani vremenski period.



Slika 5.1.3.1. Grafikon trendovi kvalitete poziva

5.1.4. Status poziva

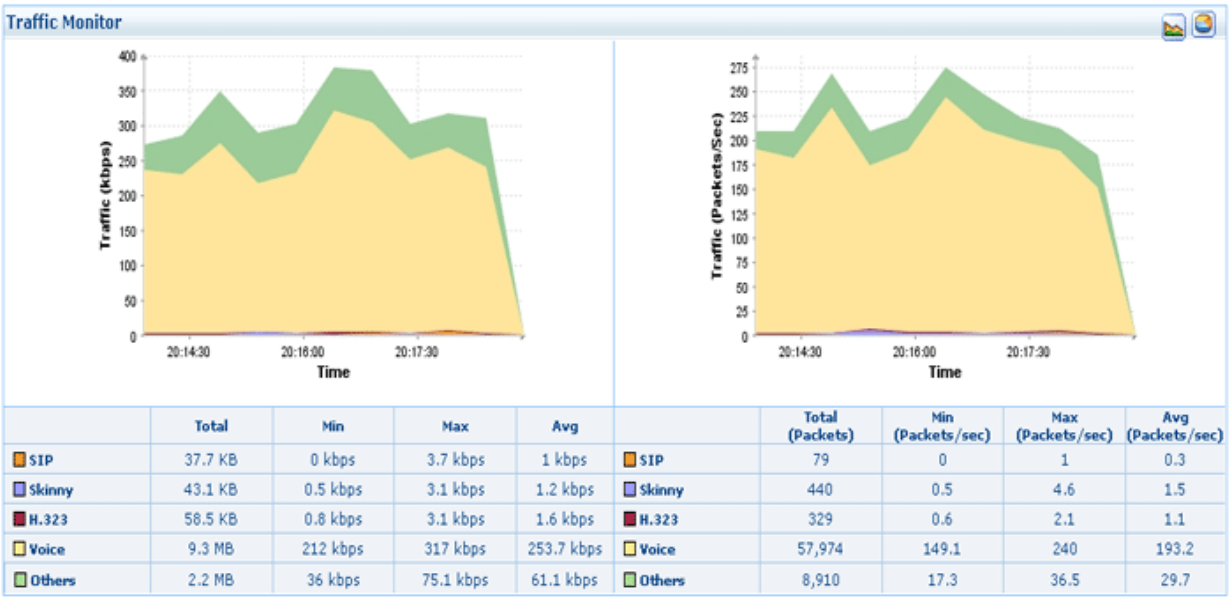
Pomaže u identificiranju postotka i broja uspješnih, neodgovorenih, neuspjelih i neprikazanih poziva na dnevnoj osnovi kako je postavljeno u kalendaru. Ovi parametri prikazani su u kružnoj tablici s odgovarajućim kodovima boja. Uspješni pozivi prikazani su zelenom bojom i uključuju dobre i loše kvalitete poziva. Neuspješni pozivi podijeljeni su na neodgovorene pozive i neuspjele pozive. Pozivi na koje korisnik nije odgovorio (korisnik zauzet, korisnik nije dostupan itd.) spada u kategoriju neodgovorenih poziva. Drugi pozivi koji nisu uspjeli zbog pogrešaka na poslužitelju ili klijentu označeni su kao neuspjeli pozivi. Neprikazani pozivi su oni za koje je VQManager naglo zaustavio praćenje - to može biti zbog naglog zaustavljanja i ponovnog pokretanja VQManager poslužitelja ili zato što nije bilo govornih paketa koji su primljeni u neprekidnom vremenu (30 sekundi). Da bi se vidio ukupan broj uspješnih, neodgovorenih, pogrešaka i nepregledanih poziva za jedan dan, potrebno je zadržati pokazivač iznad tortnog grafikona. Kada se klikne na vezani postotak za parametar, može se pregledati sažetak informacija o odgovarajućim pozivima.



Slika 5.1.4.1. Status poziva

5.1.5. Grafikon nadgledanja poziva

Pomaže u pronalaženju podataka o prometu (upotreba propusne moći) mreže kojom upravlja VQManager u određenom vremenskom intervalu kao što je postavljeno u kalendaru. Podaci o prometu prikazuju se u dva skupa grafikona. Jedan skup prikazuje ukupnu veličinu (u kbps) primljenih paketa, a drugi skup daje ukupan broj poslanih paketa u sekundi (paketa/s). Širina pojasa koju koriste razne komponente kao što su SIP, Skinny, H.323, Voice i drugi su pojedinačni grafikoni. Tablica podataka prikazuje vrijednosti "Min", "Max" i "Avg" za svaku prometnu komponentu.



	Total	Min	Max	Avg
SIP	37.7 KB	0 kbps	3.7 kbps	1 kbps
Skinny	43.1 KB	0.5 kbps	3.1 kbps	1.2 kbps
H.323	58.5 KB	0.8 kbps	3.1 kbps	1.6 kbps
Voice	9.3 MB	212 kbps	317 kbps	253.7 kbps
Others	2.2 MB	36 kbps	75.1 kbps	61.1 kbps

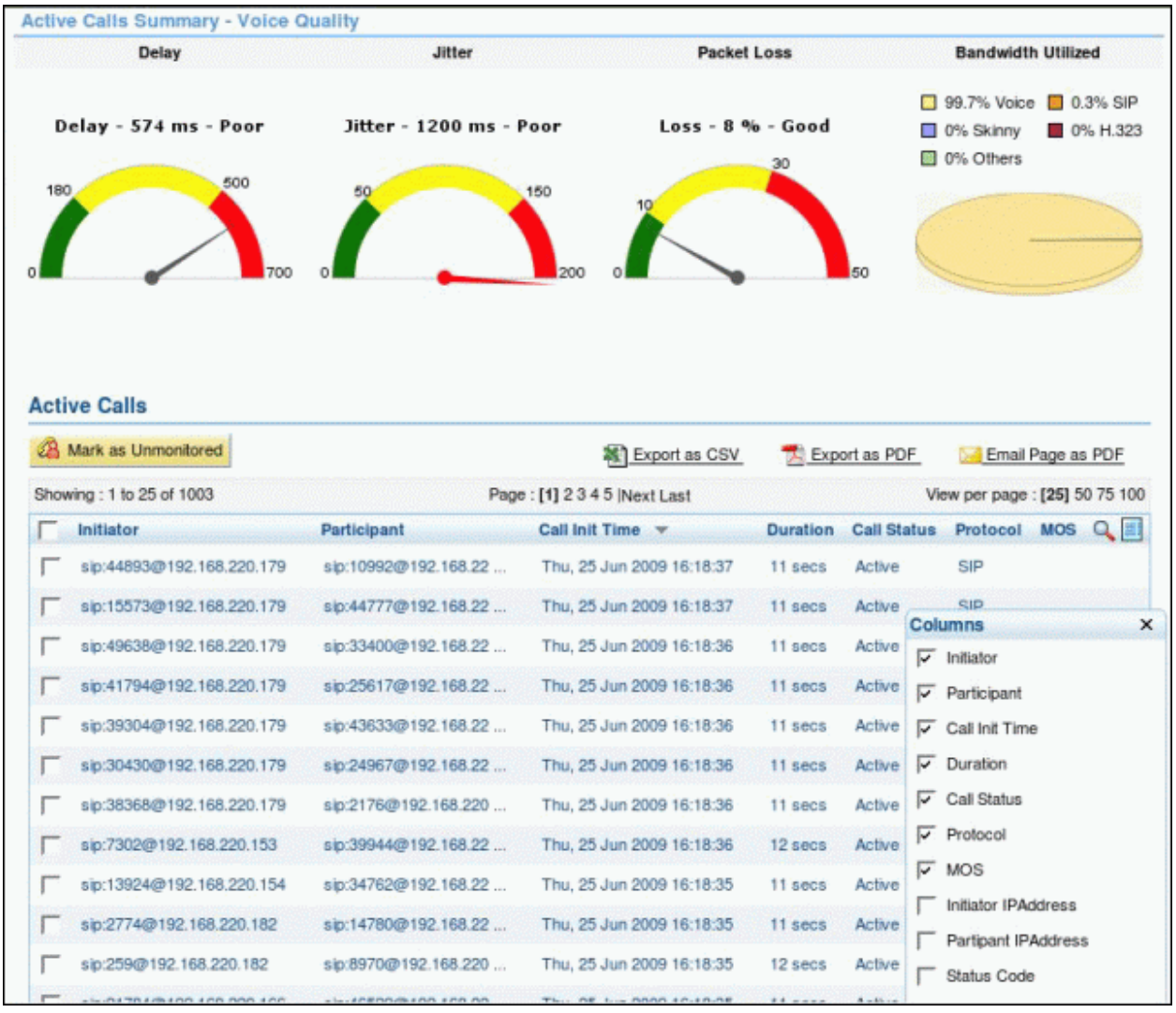
	Total (Packets)	Min (Packets/sec)	Max (Packets/sec)	Avg (Packets/sec)
SIP	79	0	1	0.3
Skinny	440	0.5	4.6	1.5
H.323	329	0.6	2.1	1.1
Voice	57,974	149.1	240	193.2
Others	8,910	17.3	36.5	29.7

5.1.5.1. Grafikon nadgledanja prometa

5.1.6. Sažetak aktivnih poziva

- U Sniffer sučelju ovo je prvo korisničko sučelje koje se otvara na kartici poziva koji prikazuje detalje aktivnih poziva koji se događaju u mreži.
- Kvaliteta aktivnih poziva prikazana je u obliku intuitivnih grafikona. Prosječne vrijednosti svih QoS parametara kao što su kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa prikazane su na grafikonu.
- Prikazan je i dijagram širine pojasa koji prikazuje najnoviju upotrebu propusne moći u mreži. Širina pojasa je podijeljena na SIP, Skinny, H.323, Voice i ostalo. Prilikom pomicanja pokazivača miša preko različitih područja u tortnom grafikonu, odgovarajuća količina paketa za komponente širine pojasa prikazana je u kbps.

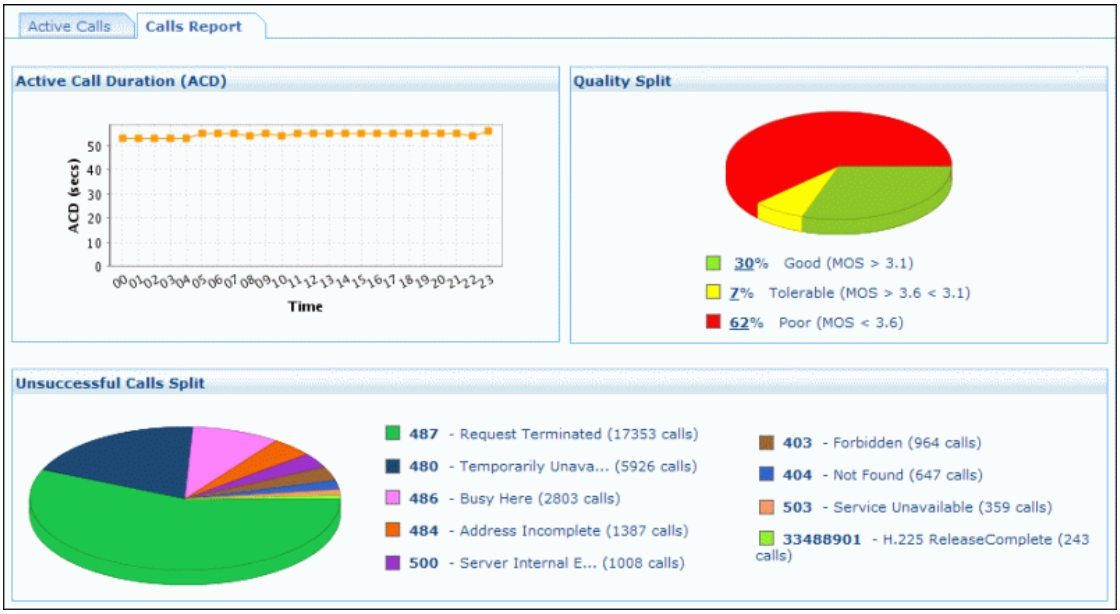
- Prema zadanim postavkama, ova se stranica ponovno učitava svake 2 minute da bi se prikazali najnoviji aktivni pozivi koji se događaju u mreži. Korisnik može konfigurirati ovu brzinu osvježavanja. Ova opcija nalazi se u gornjem lijevom dijelu korisničkog sučelja neposredno ispod linije kartica.
- Ispod QoS grafikona nalazi se popis svih aktivnih poziva u mreži. U tablici se prema zadanim postavkama prikazuju informacije kao što su inicijator poziva, vrijeme pokretanja poziva, trajanje, statusni kod i MOS poziva.
- Popis aktivnih poziva može se izvesti kao PDF ili CSV datoteka ili poslati e-poštom kao privitak.



Slika 5.1.6.1. Sažetak aktivnih poziva

5.1.7. Izvješće o pozivima

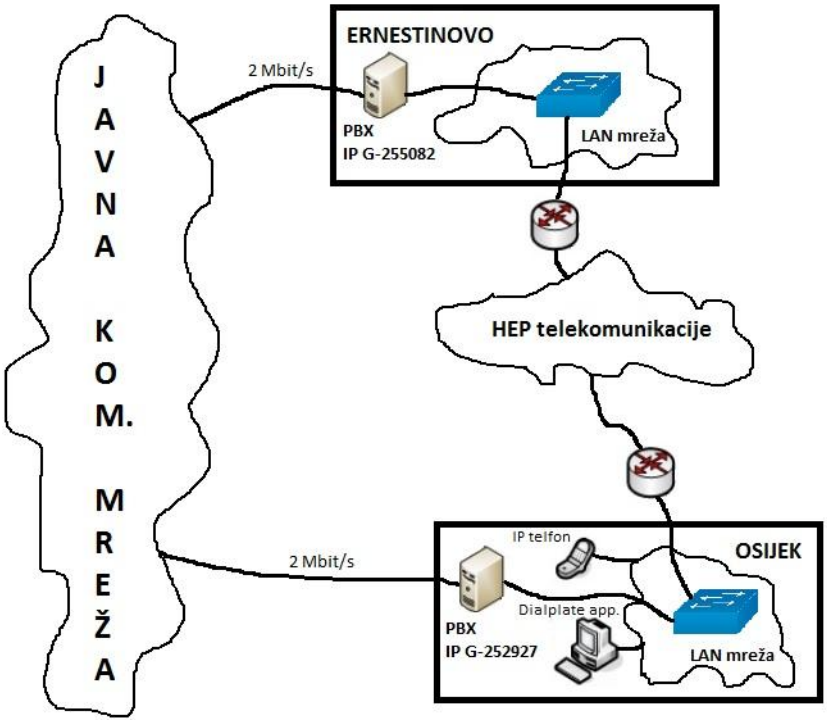
- Kartica izvješća o pozivima prikazuje prosječno trajanje poziva (ACD) i tortni grafikon u odnosu na podjelu kvalitete i neuspješnih poziva.
- Prosječno trajanje poziva (ACD) prikazuje trajanje uspješnih poziva (u sekundama) za svaki sat. Može se kliknuti svaka pojedinačna parcela na grafikonu kako bi se dobili detalji o ukupnom broju poziva za odabrani vremenski period.
- Tortni grafikon kvalitete identificira postotak i broj dobre, prihvatljive i loše kvalitete zvuka. Minimalna i maksimalna MOS vrijednost konfigurirana pod glasovna kvaliteta označava dobre, prihvatljive i loše kvalitete poziva.
- Neuspješni razgovor s pozivima navodi najbolju klasifikaciju za neuspješan poziv. Tortni grafikon označava klasifikaciju svih neuspješnih poziva uz razloge svih kvarova i broja poziva.



Slika 5.1.7.1. Izvješće o pozivima

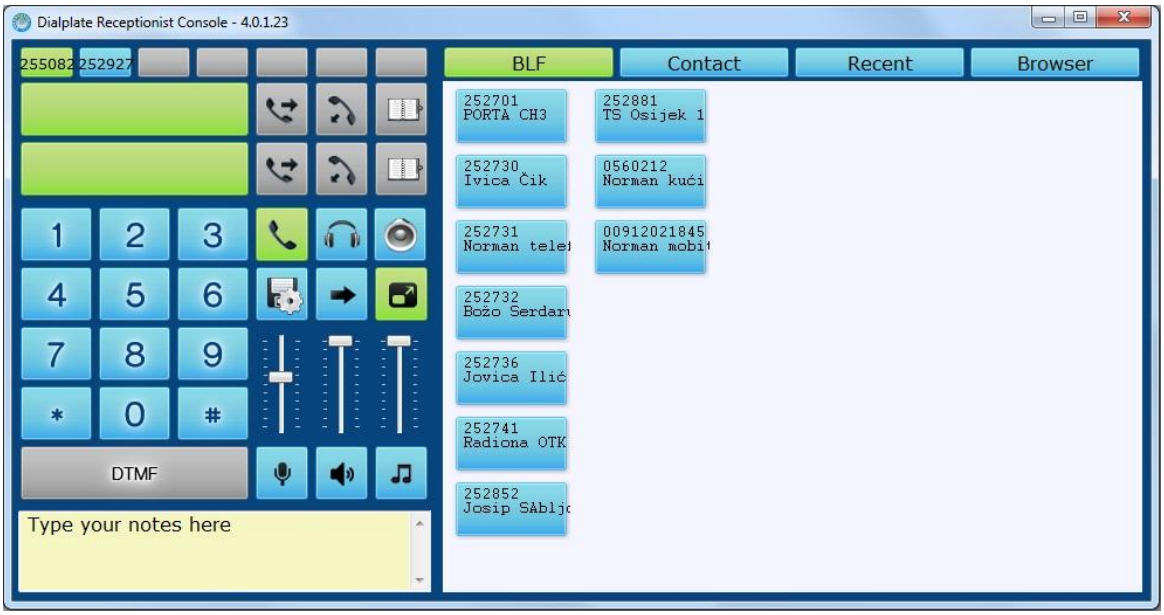
5.2. Mjerenje kvalitete usluge VoIP komunikacije

Mjerenje kvalitete usluge VoIP komunikacije izvršeno je u zgradi Hrvatskog operatora prijenosnog sustava HOPS u Osijeku. Instaliran je softver VQManager na jedno od računala u zgradi, a koje je međusobno povezano s ostalim računalima i telefonima unutar zgrade putem VoIP tehnologije.



Slika 5.2.1. Figaritivni prikaz testne VoIP mreže

VQManager pokazuje puno rezultata kao što su kašnjenje, kolebanje kašnjenja, gubitak paketa, MOS, R-faktor, širina pojasa, trend poziva, aktivni poziv, protok poziva, detalje svih poziva i tako dalje. Putem računala je preko zasebnog programa, *Dialplate Receptionist Console*, moguće pozivati bilo koji fiksni ili mobilni broj telefona.



Slika 5.2.2. Dialplate Receptionist Console

Kada se VQManager pokrene, računalo i softver moraju konstantno biti uključeni kako bi softver mogao prikupljati podatke o VoIP pozivima. U ovom slučaju softver je prikupljao podatke u određenom razdoblju te su podaci bili dostupni tri tjedna nakon čega se automatski baza podataka briše, kako bi bilo prostora za najnovije rezultate. U tom periodu ukupno je ostvareno 60 odlaznih i dolaznih poziva, od kojih je 35 bilo uspješnih, a 25 neuspješnih poziva. Softver mjeri podatke kao što su broj, trajanje, prosječno trajanje, kvaliteta, te postotak dobrih, prihvatljivih i loših poziva, ukupnu veličinu primljenih paketa i ukupan broj poslanih paketa u sekundi.

5.2.1. Rezultati mjerenja VoIP mreže



Slika 5.2.1.1. Grafikon glasnoće poziva – rezultati

Na slici 5.2.1.1. vidljiv je prikaz statistike svih poziva koji su pokrenuti u odabranom vremenskom okviru kao što je postavljeno u kalendaru. Grafikon sadrži zelena područja koja predstavljaju uspješne pozive dok crvena područja označavaju neuspješne pozive. Prikazuje se broj pokušaja poziva, uspješan i neuspješan broj poziva. Uspješni pozivi podijeljeni su na pozive na temelju kvalitete - dobri, prihvatljivi i loši pozivi. Pozivi s MOS (srednja ocjena mišljenja) većim od 3,6 klasificiraju se kao pozivi dobre kvalitete. Pozivi s MOS-om manjim od 3,1 označeni su kao pozivi loše kvalitete. Pozivi s MOS-om između 3.1 i 3.6 označeni su kao pozivi prihvatljive kvalitete. ASR - prikazuje omjer uspješno povezanih poziva u odnosu na pokušaj poziva. U ovom slučaju ima ukupno 7 poziva dobre kvalitete, a ostalih 28 poziva od ukupno 35

uspješnih poziva, klasificirani su kao pozivi bez MOS ocjene te za iste nije bilo moguće očitati kvalitetu.



Slika 5.2.1.2. Grafikon kvalitete glasa – rezultati

Na slici 5.2.1.2. je vidljiv grafikon kvalitete glasa koji pruža podatke vitalnih parametara kvalitete za kašnjenje, kolebanje kašnjenja, gubitka paketa, MOS i R-Faktora tijekom definiranog vremenskog razdoblja kako je postavljeno u kalendaru. Tablica podataka prikazuje vrijednosti "Min", "Max" i "Avg" za svaki parametar kvalitete, te koja je od tih vrijednosti "Dobra", "Prihvatljiva" ili "Loša" prema korisniku. Za snimano vremensko razdoblje vidljivo je kako su rezultati relativno dobri, s malim vrijednostima, što znači da je ova VoIP mreža dobro projektirana.



Slika 5.2.1.3. Status poziva – rezultati

Status poziva pomaže u identificiranju postotka i broja uspješnih, neodgovorenih, neuspjelih i neprikazanih poziva. Ovi parametri prikazani su u kružnoj tablici s odgovarajućim kodovima boja. Uspješni pozivi prikazani su zelenom bojom i uključuju dobre i loše kvalitete poziva. Neuspješni pozivi podijeljeni su na neodgovorene pozive i neuspjele pozive. Pozivi na koje korisnik nije odgovorio (korisnik zauzet, korisnik nije dostupan itd.) spada u kategoriju neodgovorenih poziva. Drugi pozivi koji nisu uspjeli zbog pogrešaka na poslužitelju ili klijentu označeni su kao neuspjeli pozivi. Neprikazani pozivi su oni za koje je VQManager naglo zaustavio praćenje - to može biti zbog naglog zaustavljanja i ponovnog pokretanja VQManager poslužitelja ili zato što nije bilo govornih paketa koji su primljeni u neprekidnom vremenu (30 sekundi).



	Total	Min	Max	Avg
SIP	278,3 MB	11 mbps	24,4 mbps	18,6 mbps
Skinny	0 KB	0 kbps	0 kbps	0 kbps
H.323	0 KB	0 kbps	0 kbps	0 kbps
Voice	32,2 MB	142,6 kbps	5,1 mbps	2,1 mbps
Others	3 GB	142,2 mbps	304,5 mbps	203,8 mbps

	Total (Packets)	Min (Packets/sec)	Max (Packets/sec)	Avg (Packets/sec)
SIP	546.968	2.721,3	5.994,7	4.558,1
Skinny	0	0	0	0
H.323	0	0	0	0
Voice	118.989	78	2.338,7	991,6
Others	7.211.486	38.598,3	87.913,5	60.095,7

Slika 5.2.1.4. Grafikon nadgledanja prometa - rezultati

Pomaže u pronalaženju podataka o prometu (upotreba propusne moći) mreže kojom upravlja VQManager u određenom vremenskom intervalu kao što je postavljeno u kalendaru. Podaci o prometu prikazuju se u dva skupa grafikona. Jedan skup prikazuje ukupnu veličinu (u kbps) primljenih paketa, a drugi skup daje ukupan broj poslanih paketa u sekundi (paketa/s). Tablica podataka prikazuje vrijednosti "Min", "Max" i "Avg" za svaku prometnu komponentu. U ovom slučaju je vidljivo kako je najviše primljeno SIP (278.3 MB) i „drugih“ (3 GB) podataka, dok je glasovnih podataka najmanje primljeno (32.2 MB). Prema tim podacima na slici 5.2.1.4. je vidljiv ukupan broj poslanih paketa u sekundi. To se može pripisati šumovima i ostalim smetnjama koje su se događale za vrijeme trajanja poziva.



Slika 5.2.1.5. Izvješće o pozivima – rezultati

Kartica izvješća o pozivima prikazuje prosječno trajanje poziva (ACD) i tortni grafikon u odnosu na podjelu kvalitete i neuspješnih poziva. Prosječno trajanje poziva (ACD) prikazuje trajanje uspješnih poziva (u sekundama) za svaki dan, te je vidljivo da je prosječno trajanje uspješnih poziva iznosilo ukupno 88 sekundi. Tortni grafikon kvalitete identificira postotak i broj dobre, prihvatljive i loše kvalitete zvuka, a u ovom slučaju je vidljivo kako je postotak kvalitete dobrih poziva 100% što je izvrstan rezultat za ovakvu vrstu mjerenja. Tortni grafikon neuspješnih poziva označava klasifikaciju svih neuspješnih poziva uz razloge svih kvarova i broja poziva, tako je bilo ukupno 22 poziva sa prekinutim zahtjevom za pozivanje, 2 poziva sa trenutno nedostupnim pozivom i 1 poziv s nedostupnošću korisnika.

5.3. Usporedni rezultati mjerenja VoIP mreže

5.3.1. Mjerenje QoS parametara VoIP poziva

Kako bi mrežu testirali kada je zagušenje zbog broja poziva povećano, istovremeno se u dva slučaja pokreće jedan odlazni i jedan dolazni poziv, te se mjere QoS parametri. Trajanje svakog poziva trajalo je 1 minutu.

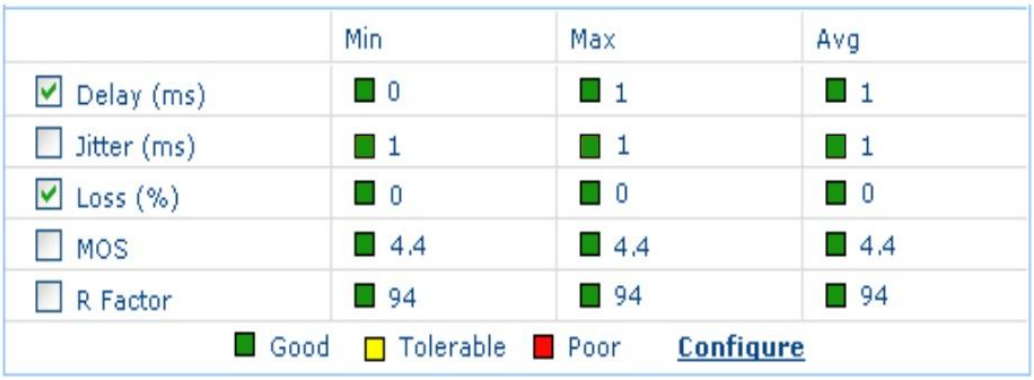
Na slici 5.3.1.1. vidljivi su rezultati za prvi slučaj gdje je putem programa *Dialplate Receptionist Console* upućen jedan odlazni poziv na telefon unutar zgrade HOPS-a, a primljen je jedan dolazni poziv s drugog telefona u istoj zgradi. Kod programa VQManager trebaju se zanemariti prikazane minimalne i maksimalne vrijednosti, pa se njegova prosječna vrijednost (Avg) treba smatrati najbližoj točnoj vrijednosti. Kašnjenje za ovaj slučaj iznosi 0, dok kolebanje kašnjenja ima vrijednost 1 uz gubitak paketa od 0%. MOS iznosi 4.4, a R-faktor iznosi 94. Ovakvi rezultati mogu se pripisati dobro dimenzioniranoj mreži unutar zgrade, ali i samoj činjenici da su pozivi ostali unutar HEP mreže (vidjeti sliku 5.2.1.) gdje zbog fizički male udaljenosti ne dolazi do šuma u govoru, te gubljenja ili pucanja signala.

	Min	Max	Avg
☑ Delay (ms)	0	0	0
☐ Jitter (ms)	0	1	1
☑ Loss (%)	0	0	0
☐ MOS	4.4	4.4	4.4
☐ R Factor	93	94	94
Good Tolerable Poor Configure			

Slika 5.3.1.1. QoS parametri – prvi slučaj

U drugom slučaju na slici 5.3.1.2. vidljivi su rezultati mjerenja gdje je putem programa *Dialplate Receptionist Console* upućen odlazni poziv na kućni broj telefona koji se nalazi u drugoj telekomunikacijskoj mreži, a istovremeno je primljen poziv s mobilnog broja koji je registriran u svojoj mobilnoj mreži. Mjereni su QoS parametri za oba poziva u trajanju od 1 minute. Prema rezultatima mjerenja može se vidjeti kako se kašnjenje za ovaj slučaj povećalo na 1, dok su vrijednosti kolebanja kašnjenja, gubitka paketa, MOS-a i R-faktora ostali na istoj vrijednosti. Može se zaključiti kako do kašnjenja dolazi zbog toga jer se pozivani i primljeni broj nalaze

izvan HEP-ove telekomunikacijske mreže, te se na njihove parametre konfiguracije ne može utjecati.

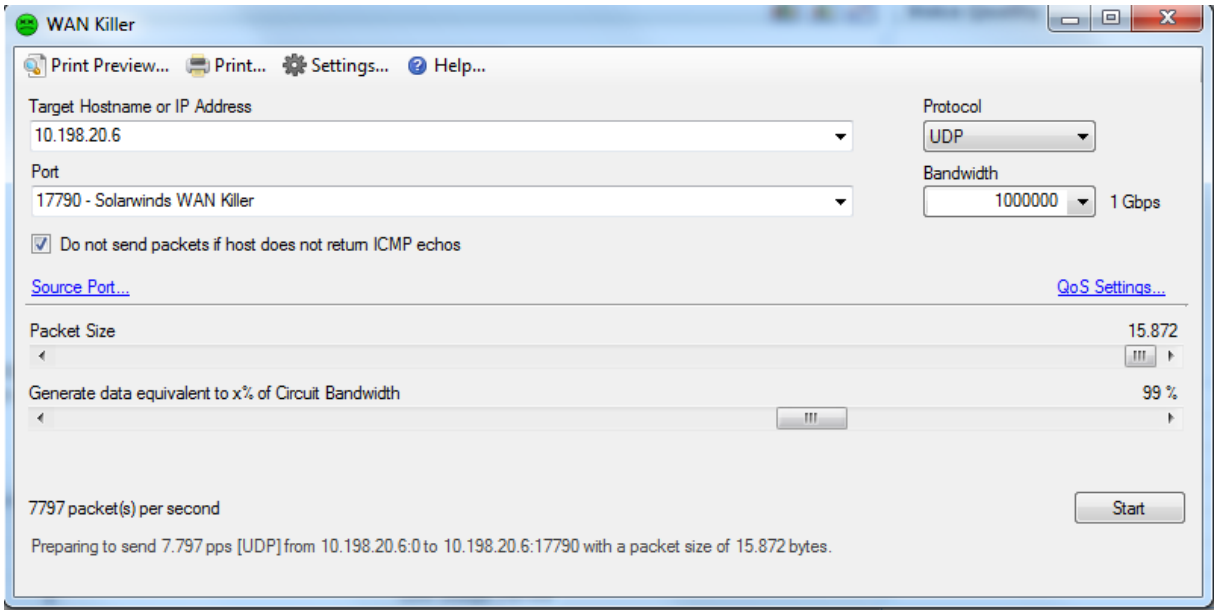


Slika 5.3.1.2. QoS parametri – drugi slučaj

Usporedbom rezultata prvog i drugog slučaja vidljivo je kako se radi o visokoj razini kvalitete usluge testirane mreže. Mjerenja su rađena na SIP protokolu jer je on zaslužan za upravljanje multimedijskom komunikacijom kao zvuk ili video preko mreža koje koriste IP. Iako je zanemariva razlika između mjerenja u ova dva slučaja, veća razlika u parametrima kvalitete bi vjerojatno bila vidljiva kod npr. live stream video konferencije. Ovisno koja internet konekcija (LAN ili WiFi) bi se koristila, u live streamu bi dolazilo do zatrzavanja slike i isprekidanog govora. Kada bi se za svaki poziv mogli prilagođavati QoS parametri sa sigurnošću se može reći da bi došlo do poboljšanja performansi bilo koje VoIP mreže.

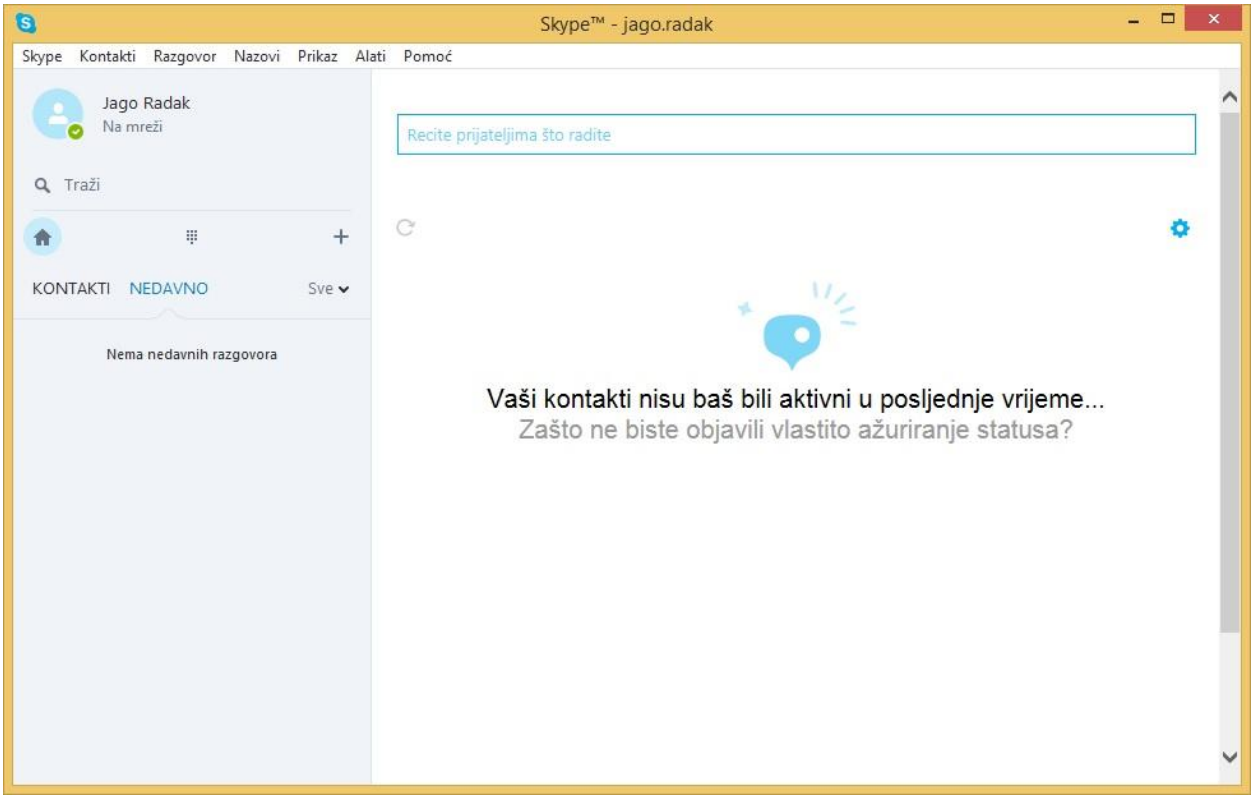
5.3.2. Mjerenje QoS parametara Skype videopoziva na LAN i Wi-fi mreži

Kako bi se mreža testirala za vrijeme video konferencijskog poziva instaliran je softver za generiranje IP prometa *WAN Killer* (Slika 5.3.2.1.) koji opterećuje mrežu te se može vidjeti kvaliteta usluge u ovom slučaju. Pomoću ovog softvera preko UDP protokola na odabranu IP adresu šalje se 7797 paketa/s sa generiranjem 99% ekvivalencije širine pojasa koja je postavljena na 1Gb/s , a veličina svakog paketa je 15872 byte-a.



Slika 5.3.2.1. Softver WAN Killer za generiranje IP prometa

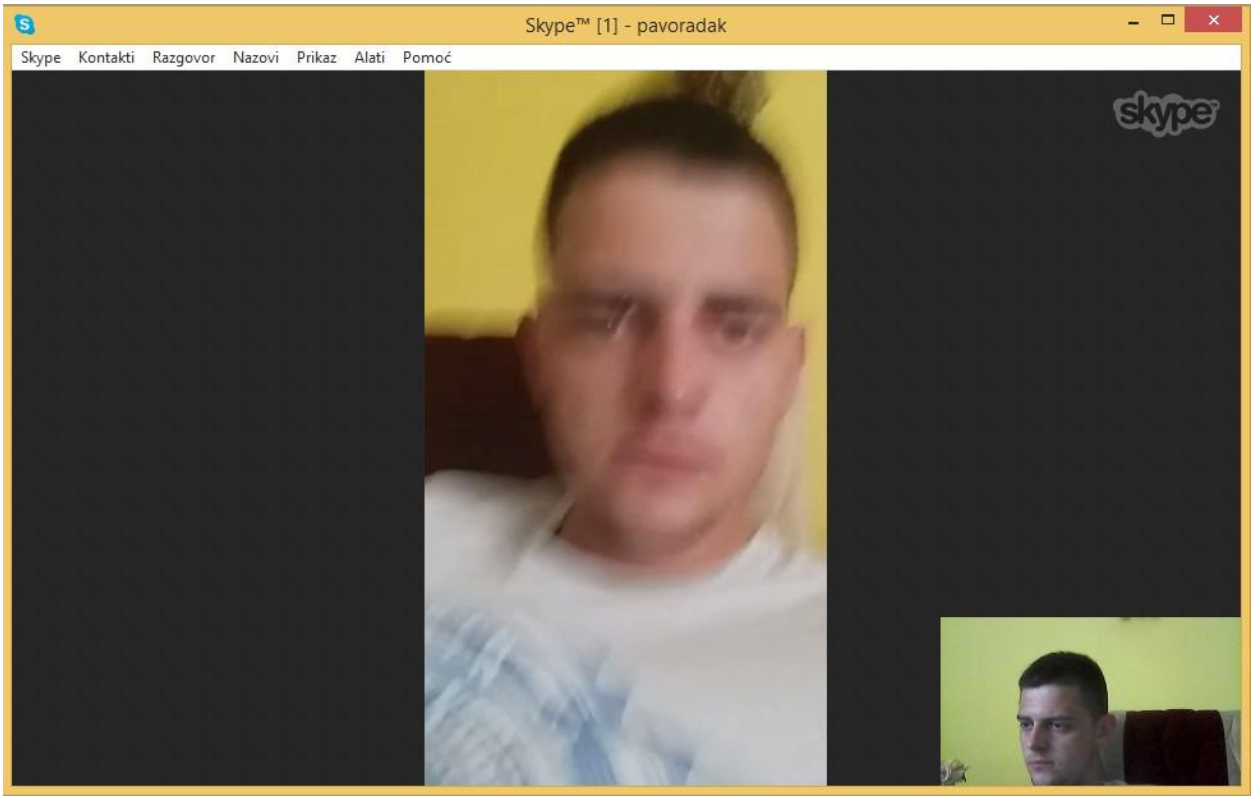
Za potrebe ostvarivanja video konferencijskog poziva korišten je programski alat Skype™, a za logiranje u softver je korišten privatni račun (Slika 5.3.2.2.).



Slika 5.3.2.2. Programski alat Skype™

Na slici 5.3.2.4. mogu se vidjeti rezultati mjerenja za slučaj kada se video konferencijski poziv ostvaruje putem Wi-fi mreže. Trajanje poziva iznosi 1 minutu kao i u prijašnjim mjerenjima.

Širina pojasa za ovaj slučaj je 70% glasovnog prometa i 30% podatkovnog promet. Rezultati kašnjenja, kolebanja kašnjenja i gubitka paketa su veća. Stvara se promet generiran pomoću generatora IP prometa koji povećava opterećenje mreže. Kašnjenje je veće za ovaj slučaj s prosječnom vrijednošću od 10 ms. Prosječno kolebanje kašnjenja iznosi 97 ms što upućuje na zagušenje u mreži. Ovako veliki iznos može se pripisati generatoru IP prometa koji je opteretio mrežu, kao i tome što su na Wi-fi mrežu u trenutku mjerenja bila spojena još tri uređaja. Zbog toga je došlo do zatrzavanja slike i gubitka govora za vrijeme video konferencijskog poziva kao što je vidljivo na slici 5.3.2.3.



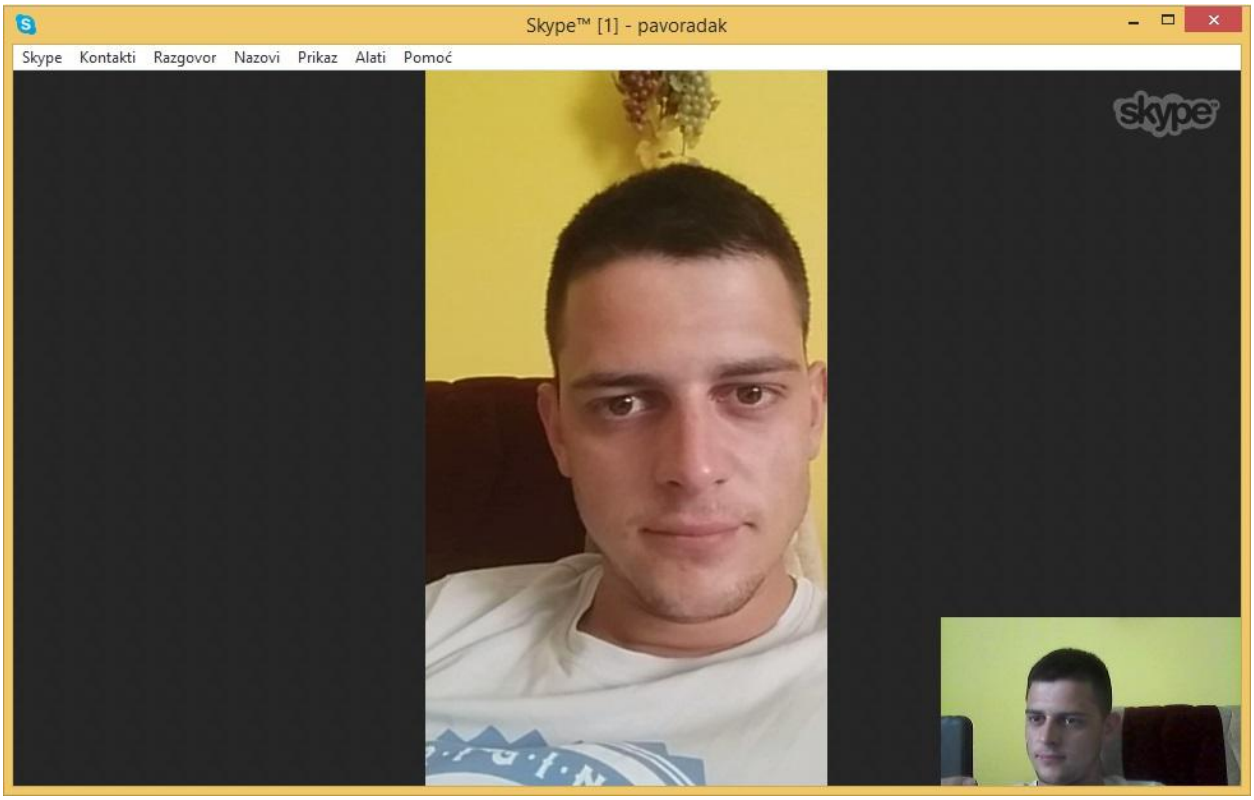
Slika 5.3.2.3. Poziv ostvaren putem Wi-fi mreže

	Min	Max	Avg
Delay (ms)	6	13	10
Jitter (ms)	94	99	97
Loss (%)	0	2	1
MOS	4	4.4	4.1
R Factor	82	92	85

Good Tolerable Poor Configure

Slika 5.3.2.4. Rezultati mjerenja Wi-fi mreže

U drugom slučaju na slici 5.3.2.6. vidljivi su rezultati mjerenja za slučaj kada se video konferencijski poziv ostvaruje putem LAN mreže. Pomoću softvera *WAN* Killer generiran IP promet koji ponovno opterećuje mrežu s istim parametrima opisanim ranije. Rezultat je da se kašnjenje smanjuje na 0 ms, a kolebanje kašnjenja iznosi 89 ms što je prihvatljivo. Gubitak paketa je 0% dok MOS iznosi 4.4 što je vrlo zadovoljavajuća ocjena. Ovakvi rezultati mogu se pripisati tome što je poziv ostvaren dok je računalo spojeno putem LAN kabela na mrežu, te nije bilo većih gubitaka u prijenosu. Na slici 5.3.2.5. vidljivo je kako za vrijeme poziva nije bilo zatrzavanja slike, ali je bilo minimalnih gubitaka govora.



Slika 5.3.2.5. Poziv ostvaren putem LAN mreže

	Min	Max	Avg
Delay (ms)	0	0	0
Jitter (ms)	82	97	89
Loss (%)	0	0	0
MOS	4.4	4.4	4.4
R Factor	92	92	92

Good Tolerable Poor **Configure**

Slika 5.3.2.6. Rezultati mjerenja LAN mreže

Vidljivo je da u oba slučaja imamo podjednake rezultate mjerenja što ukazuje na visoku razinu kvalitete. Iako razlika u rezultatima nije značajna odlučiti će koja mreža je postigla bolji rezultat. Kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa tri su glavna čimbenika koja definiraju kvalitetu mreže. Promatrajući rezultate za kašnjenje, LAN mreža je ostvarila bolji rezultat sa 0ms dok je kod Wi-fi mreže taj iznos 10ms. Kolebanje kašnjenja je također bolje kod LAN mreže i iznosi 89ms, dok je iznos kod Wi-fi mreže 97ms. Iako je razlika od 1% kod gubitka paketa između LAN i Wi-fi mreže zanemariva, može biti značajna za određivanje kvalitete usluge. U ovom mjerenju se LAN mreža pokazala s boljim rezultatima, što ne znači da Wi-fi mreža nema dobru kvalitetu usluge. Jedan od razloga za to može biti i sama topologija HOPS-ove mreže, budući da ne možemo provjeriti što se točno događa s kolebanjem kašnjenja na međupodručjima čvorova. Kako bi se vidjelo što se događa s prometom, potrebno je provjeriti međusučelja putem softvera kao što je VQManager i izvršiti promjene u topologiji mreže.

6. ZAKLJUČAK

Postići pouzdani, visoko kvalitetni prijenos govora preko IP mreže, koja je dizajniran za podatkovnu komunikaciju, predstavlja inženjerski izazov. Čimbenici uključeni u projektiranje dobre kvalitete VoIP sustava uključuju izbor oblikovanja prometa i savršeni mehanizam za posluživanje i raspoređivanje paketa u redove čekanja. VoIP je tehnologija koja se brzo razvija, a većina širokopojasnih davatelja usluga implementiraju VoIP uslugu. VoIP aplikacija je osjetljiva na vrijeme i zahtijeva podršku u stvarnom vremenu za QoS zahtjeve. Ovaj rad daje pregled pristupu koji se koriste za procjenu kvalitete usluga u realizaciji VoIP glasovnih aplikacija za implementaciju kvalitetne mreže. Opisan je pregled VoIP-a, njegov razlog implementacije, mrežna arhitektura osnovnog VoIP sustava, VoIP protokoli i zahtjevi u VoIP mreži. Instaliran je program VQManager koji može generirati skupne ili virtualne pozive koristeći različite VoIP protokole i pratiti QoS parametre kao što su kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa koji se koristi za izračunavanje faktora ocjene (R-faktor) i srednje iskustvene vrijednosti (MOS).

U ovom radu, mjerenja su izvedena u realnom vremenu u mreži tvrtke Hrvatskog operatora prijenosnog sustava HOPS. HOPS je državna tvrtka gdje koriste VoIP usluge u svom poslu. Mjerenja su provedena u stvarnoj mreži, kako bi se procijenila kvaliteta mreže u realnom vremenu. Za dobru kvalitetu govora ključni su mnogi faktori koji uključuju primjerice dizajn mreže i savršeno kabliranje. Rezultati mjerenja su vrlo dobri kao što se može zaključiti iz priloženoga. Razlog zanemarivih vrijednosti kašnjenja, kolebanja kašnjenja i gubitka paketa proizlazi iz dobro dimenzionirane mreže HEP telekomunikacijskog sustava. Ovakvi rezultati su bili i očekivani jer je zgrada HOPS-a relativno nova, a time je obnovljen ili potpuno novo opremljen telekomunikacijski sustav.

Kada bi se željelo dobiti veću količinu statistike s više točnosti, trebalo bi imati neku vezu s komercijalnom komunikacijskom tvrtkom, što bi pružilo još bolji uvid u način na koji se mreže ponašaju u stvarnom svijetu i što bi moglo biti izazov u postizanju potrebnih rezultata na većoj mreži. Nije uvijek najbolja dostupna tehnologija i komercijalno najvažnija tehnologija. U korištenom okruženju mogli smo dobiti samo ideju o tome kako se VoIP mreža ponaša s obzirom na kašnjenje, kolebanje kašnjenja, gubitak, R-faktor i srednju iskustvenu vrijednost (MOS).

LITERATURA

[1] N. Hussain, L. Ali, B. Hossain, Performance analysis of VoIP network using QoS parameters, Daffodil International University Dhaka, Bangladesh, Veljača 2011.
http://dspace.daffodilvarsity.edu.bd:8080/bitstream/handle/20.500.11948/1098/071-19-661_P03923.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[2] https://en.wikipedia.org/wiki/Voice_over_IP

[3] Protokoli usmjeravanja s mogućnošću QoS-a, seminarski rad, Jago Radak, Tomislav Tunuković, Osijek 2015.

[4] http://www.rivoip.com/html/voip_informacije.html

[5] http://www.voip-info.org

[6] Kvalitet servisa Quality of Service – QoS, Autori: prof. dr. Zoran Jovanović dr. Pavle Vuletić dr. Slavko Gajin, ETF, Katedra za računarsku tehniku i informatiku
http://rti.etf.bg.ac.rs/rti/ir4roi/Prezentacije/05%20-%20QoS.pdf

[7] http://www.fcc.gov/voip

[8] Kratak pregled nekih od osnovnih QoS mehanizama u paketskim mrežama, A short overview of some of the basic QoS mechanisms in packet networks, Mr. Alem Čolaković dipl.ing. saob. i kom.
https://www.academia.edu/20066626/Kratak_pregled_nekih_od_osnovnih_QoS_mehanizama_u_paketskim_mre%C5%BEama

[9] Upravljanje QoS u IP mreži, seminarski rad, Davor Lešnjaković, Osijek 2015.

[10] Goode, B. "Voice over Internet Protocol (VoIP)". Proceedings of The IEEE. Volume 90. No. 9. September 2002.

[11] AT&T; VoIP protocol architecture description by AT&T company; Common VoIP Architecture, December 2003

[12] C. Long. IP network design. Osborne/McGraw-Hill, Berkeley, CA, 2001.

[13] CARNet CERT i LS&S, Sigurnosni aspekti VoIP tehnologije, Zagreb, 2006.
http://www.cert.hr/sites/default/files/CCERT-PUBDOC-2006-03-151.pdf

[14] http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=1339559&seqNum=7

[15] Davidson, Jonathan; James Peters, Jim Peters, Brian Gracely. "H.323". Voice over IP fundamentals. Cisco Press. pp. 229–230. ISBN 9781578701681
http://books.google.com/books?id=S5P7-Xtq7W8C&pg=PA229

[16] Josip Šaban, SIP protokol, Zavod za elektroniku, mikroelektroniku, računalne i inteligentne sustave, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2003.
http://www.zemris.fer.hr/predmeti/mr/arhiva/2002-2003/seminari/finished/pdf/sip.pdf

[17] A. H. Muhamad Amin, „VoIP Performance Measurement using QoS Parameters“, IT/IS Department, Universiti Teknologi PETRONAS, Perak Darul Ridzuan, Malaysia, The Second International Conference on Innovations in Information Technology (IIT'05), 2005.
http://www.it-innovations.ae/iit005/proceedings/articles/H_3_IIT05_Amin.pdf

[18] http://www.phy.pmf.unizg.hr/~dandroic/nastava/mr/session_initiation_protocol.pdf

[19] Handley, Mark; Van Jacobson, Colin Perkins (2006-07). "SDP: Session Description Protocol (RFC 4566)". IETF, http://tools.ietf.org/html/rfc4566. Retrieved 2008-04-19

[20] Handley, Mark; Van Jacobson (1998-04). "SDP: Session Description Protocol (RFC 2327)". IETF, http://tools.ietf.org/html/rfc2327. Retrieved 2008-04-19

[21] https://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_Transport_Protocolhttps://en.wikipedia.org/wiki/Real-time_Transport_Protocol

[22] Troupis Theodoros, „Attacks against VoIP deployments“, KINGSTON UNIVERSITY, SCHOOL OF COMPUTING AND INFORMATION SYSTEMS TEI OF PIRAEUS, DEPARTMENTS OF ELECTRONICS AND AUTOMATION, 2011.

[23] https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Sabina_Barakovic._KDI.pdf

[24] http://sistemac.carnet.hr/node/505

[25] Miloucheva, I., Nassri, A., and Anzaloni, A., "Automated Analysis of Network QoS Parameters for Voice over IP Applications", D41 – 2nd Inter-Domain Performance and Simulation Workshop (IPS 2004)

[26] http://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2001/prijenos_govora.htm

[27] https://www.voipmechanic.com/mos-mean-opinion-score.htm

SAŽETAK

VoIP tehnologija je brzo rastuća internetska usluga. Stekla je popularnost na način da smanji troškove međunarodnih telefonskih priključaka prijenosom glasa preko javne IP mreže. Danas se implementira u mnoge IP aplikacije, gdje se omogućava izravno te besplatno komuniciranje preko interneta, za ljude iz svih krajeva svijeta. Kao posljedica toga, VoIP tehnologija polako zamjenjuje tradicionalnu telefoniju. Veliki problem u VoIP komunikaciji je sposobnost pružanja kvalitete usluge (engl. QoS – Quality of Service) kod prijenosa multimedije i korištenja stvarno vremenskih aplikacija kao što je „*live video streaming*“. Ovaj diplomski rad se bavi problematikom kvalitete usluge kao i analizom i testiranjem QoS parametara (kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa) na SIP protokolu. Ispitivanje se obavlja na VoIP mreži koja se koristi u zgradi Hrvatskog operatera prijenosnog sustava HOPS. Mjereni su brzina, kašnjenje, kolebanje kašnjenja i gubitak paketa te se rezultati uspoređuju. Analizom izmjerenih rezultata zaključeno je kako je HEP telekomunikacijska mreža dobro dimenzionirana, te zbog toga daje vrlo dobre rezultate kvalitete usluge.

Ključne riječi: širokopojasna komunikacija, VoIP, javna komutirana telefonska mreža, QoS, kvaliteta usluge, VQManager

ABSTRACT

VoIP technology is a rapidly growing Internet service. It has gained popularity by reducing the cost of international telephone connections by voice transmission over the public IP network. Today, it is implemented in many IP applications, where it provides direct and free internet communication for people from all over the world. As a result, VoIP technology slowly replaces traditional telephony. A major problem in VoIP communication is the ability to provide QoS (Quality of Service) quality when transferring multimedia and using real-time applications such as live video streaming. This graduate thesis deals with quality service issues as well as analysis and testing of QoS parameters (Delay, Jitter and Package Loss) on SIP protocol. Testing is done on the VoIP network used in the HOPS Transmission System Operator in Croatia. Speed, Delay, Jitter, and Package Loss are measured and results are compared. By analyzing the measured results, it was concluded that the HEP telecommunication network is well dimensioned and therefore provides very good service quality results.

Key words: Broadband Communication, VoIP, Public Switched Telephone Network, QoS, Quality of Service, VQManager

ŽIVOTOPIS

Jago Radak rođen 21. rujna 1991. godine u Odžaku, Bosna i Hercegovina od oca Blaža i majke Ružice r. Lucić. Osnovnu školu završio u Čepinu, a srednju Elektrotehničku i prometnu školu u Osijeku, smjer tehničar za mehatroniku, gdje pokazuje interes za rad na računalu i rad sa računalnim programima. Vrlo dobro vlada alatima Microsoft Office™ (Word™, Excel™ i PowerPoint™) i odlično poznaje računalne mreže. Nakon državne mature upisao je studij Elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku smjer komunikacije i informatika. Ima položen vozački ispit B kategorije, služi se engleskim i njemačkim jezikom.

PRILOZI

Tehnički podaci korištenog bežičnog usmjerivača TP-link TD-W8951ND

Karakteristike sklopovlja:

Sučelje: 4 x 10/100Mbps LAN PORTS

1 x 10/100Mbps WAN PORT

Antena: 1 x 5dBi fiksna omni - direkciona antena

Vanjski izvor napajanja: 9VDC / 0.6A

Wireless standardi: IEEE 802.11g, IEEE 802.11b

Dimenzije: 181 x 125 x 36 mm

Wireless karakteristike:

Frekvencija: 2.4 - 2.4835 GHz

Snaga odašiljača: EIRP: <20 dBm

Zaštita wireless mreže: 64/128 bit WEP, WPA-PSK/WPA2-PSK, Wireless MAC Filtering



Slika 1. Korišteni Wi-fi usmjerivač

Detaljna topologija HOPS mreže

