

Analiza utjecaja različitih metoda kompresije govora na prijenosni kapacitet za uslugu VoIP

Ćulibrk, Goran

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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:119:746561>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-10**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Goran Ćulibrk

ANALIZA UTJECAJA RAZLIČITIH METODA
KOMPRESIJE GOVORA NA PRIJENOSNI
KAPACITET ZA USLUGU
VOIP

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

Zagreb, 21. travnja 2017.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4129

Pristupnik: **Goran Ćulibrk (0135231319)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Analiza utjecaja različitih metoda kompresije govora na prijenosni kapacitet za uslugu VoIP**

Opis zadatka:

U radu je potrebno najprije opisati oblike i karakteristike komuniciranja upotrebom VoIP tehnologije te korištenih protokola. Kako postoji više vrsta metoda kompresije govora, radom je potrebno opisati značajke različitih kodeka korištenih za kompresiju govora. Temeljem zadanih ulaznih vrijednosti (veličina prometnog toka, prosječna vremena posluživanja i dr.) potrebno je napraviti proračun potrebnog kapaciteta ovisno o korištenoj metodi kompresije govora. Dobivene rezultate potrebno je analizirati, grafički prikazati i komentirati.

Zadatak uručen pristupniku: 28. travnja 2017.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:

dr. sc. Marko Matulin

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

ANALIZA UTJECAJA RAZLIČITIH METODA
KOMPRESIJE GOVORA NA PRIJENOSNI
KAPACITET ZA USLUGU
VOIP

THE INFLUENCE ANALYSIS OF VARIOUS
SPEECH COMPRESSION METHODS ON THE
TRANSMISSION CAPACITY OF A VOIP
SERVICE

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin

Student: Goran Čulibrk

JMBAG: 0135231319

Zagreb, rujan 2018.

SAŽETAK

VoIP (*Voice over Internet Protocol*) tehnologija predstavlja prijenos govora putem IP (*Internet Protocol*) mreže. Korištenjem različitih kompresijskih metoda ostvaruju se i različiti učinci na govornu uslugu u VoIP-u. Cilj ovog rada bio je na temelju provedene analize usporediti kompresijske metode (kodeke) korištene za uslugu VoIP. Kako bi analizu bilo moguće provesti, kroz rad su objašnjene komponente koje sačinjavaju ovu tehnologiju kao i načini ostvarivanja komunikacije. Navedeni su i objašnjeni protokoli koji obavljaju određene funkcije kao i sami kodeci. Za proizvoljno odabran primjer korištenja komunikacijske usluge, a na temelju izračunatog prometa i željenog faktora odbijanja poziva izračunat je broj potrebnih kanala koji je korišten u analizi potrebnog prijenosnog kapaciteta izvršenoj na različitim kodecima. Kodeci su analizirani s detekcijom tišine kao i bez iste. Rezultati su grafički predloženi.

KLJUČNE RIJEČI: VoIP tehnologija; protokol; kodek; analiza; prijenosni kapacitet

SUMMARY

VoIP (*Voice over Internet Protocol*) technology is transfer of voice over IP (*Internet Protocol*) network. While using different compression methods, different speech service effects are also gained in VoIP. The aim of this paper was to compare the compression method (codecs) used for the VoIP service based on the conducted analysis. In order to make it possible to conduct an analysis, the components of this technology and the means of communication are explained through the paper. Explained protocols that perform certain functions as well as codecs themselves are listed and explained. For an arbitrarily selected example of use of a communication service, based on the calculated traffic and the desired probability of blocking, the number of required channels used in the analysis of the required transmission capacity executed on different codecs was calculated. Codecs were analyzed with silence detection as without the same. The results are graphically illustrated.

KEYWORDS: VoIP technology; protocol; codec; analysis; bandwidth

Sadržaj

1.UVOD	1
2.OBLICI I KARAKTERISTIKE KOMUNICIRANJA POSREDSTVOM VOIP TEHNOLOGIJE.....	3
2.1 Komponente i njihove zadaće	3
2.2 Oblici komunikacije VoIP tehnologijom	4
2.2.1 IP telefon – PC	4
2.2.2 PC- PC telefonija	4
2.2.3 IP telefon – IP telefon	5
2.2.4 PC / IP telefon – klasičan telefon	6
2.3 Karakteristike komuniciranja VoIP tehnologijom	6
3.PROTOKOLI USLUGE VOIP	8
3.1 Signalizacijski protokoli VoIP-a	8
3.1.1. H.323	8
3.1.2. Session Initiation Protocol (SIP)	10
3.2 Protokoli za opis sesije	12
3.2.1 Session Description Protocol (SDP).....	12
3.2.2 Media Gateway Control Protocol (MGCP)	13
3.3 Protokoli za prijenos informacija i kontrolu čega?.....	13
3.3.1 Real-Time Transport Protocol (RTP)	14
3.3.2 Real Time Control Protocol (RTCP)	14
3.3.3 Real Time Streaming Protocol (RTSP)	15
3.3.4 Resource Reservation Protocol (RSVP)	15
4.OPIS ZNAČAJKI RAZLIČITIH KODEKA ZA KOMPRESIJU GOVORA.....	17
4.1 G.711	18
4.2 G.726	19
4.3 Hibridni kodeci	20
4.3.1 G.728	20
4.3.2 G.723.1	21
4.3.3 G.729	22
4.4. Usporedba protoka korištenih kodeka	23
5.OPIS SKUPA PODATAKA KORIŠTENIH U ANALIZI	24
6.USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH ANALIZOM KODEKA	26
7.ZAKLJUČAK	37
LITERATURA.....	38

POPIS KRATICA	41
POPIS SLIKA	43
POPIS TABLICA.....	44

1.UVOD

Sveopćim razvojem tehnologija komuniciranja omogućen je prijenos glasovnih razgovora posredstvom Internet Protokola, a naziva se VoIP (*Voice over Internet Protocol*). Kako bi se ova sve više rastuća tehnologija implementirala u aspekte privatnog i poslovnog života, nezaobilazna je potreba za pristupom mreži, neovisno odvija li se razgovor u okvirima IP mreže ili, primjerice, privatne mreže unutar neke tvrtke.

Analiza ovog rada ima za cilj utvrđivanje utjecaja različitih kodeka na prijenosni kapacitet u VoIP-u. Kodeci koji su korišteni su G.711, G.276, G.728, G.723.1 i G.729. Kako bi moguće bilo dimenzionirati sustav za potrebe primjera danog u analizi, najprije je izračunat potreban broj kanala za taj promet na temelju. Za izračun potrebnog broja kanala korišten je Erlang B *Calculator*, a ulazne vrijednosti potrebne za izračun su količina prometa i faktor blokiranja (u radu je korišten faktor blokiranja 0,01). Nakon dobivenog potrebnog broja kanala, izvršena je analiza kodeka. Za tu namijenu korišten je VoIP *Bandwidth Calculator*. Kodeci su analizirani u slučajevima kada se koristi detekcija tišine i kada se ne koristi. Mreža korištena u analizi je ethernet 802.3. U svim slučajevima analize korišten je isti broj potrebnih kanala, a različiti kodeci rezultirali su različitim zauzećima prijenosnog kapaciteta što je kasnije i grafički prikazano.

Ovaj rad je podijeljen na sedam dijelova :

1. Uvod
2. Oblici i karakteristike komuniciranja posredstvom VoIP tehnologije
3. Protokoli usluge VoIP
4. Opis značajki različitih kodeka za kompresiju govora
5. Opis skupa podataka korištenih u analizi
6. Usporedba rezultata dobivenih analizom kodeka
7. Zaključak.

Drugo poglavlje ovog rada omogućuje pregled različitih načina funkcioniranja VoIP tehnologije i karakteristike svakog, a najviše u ovisnosti o korištenim terminalnim uređajima.

Protokoli su unaprijed dogovorena pravila funkcioniranja, a u VoIP-u se ističe nekoliko vrsta protokola koje su navedena i objašnjena u trećem poglavlju ovoga rada.

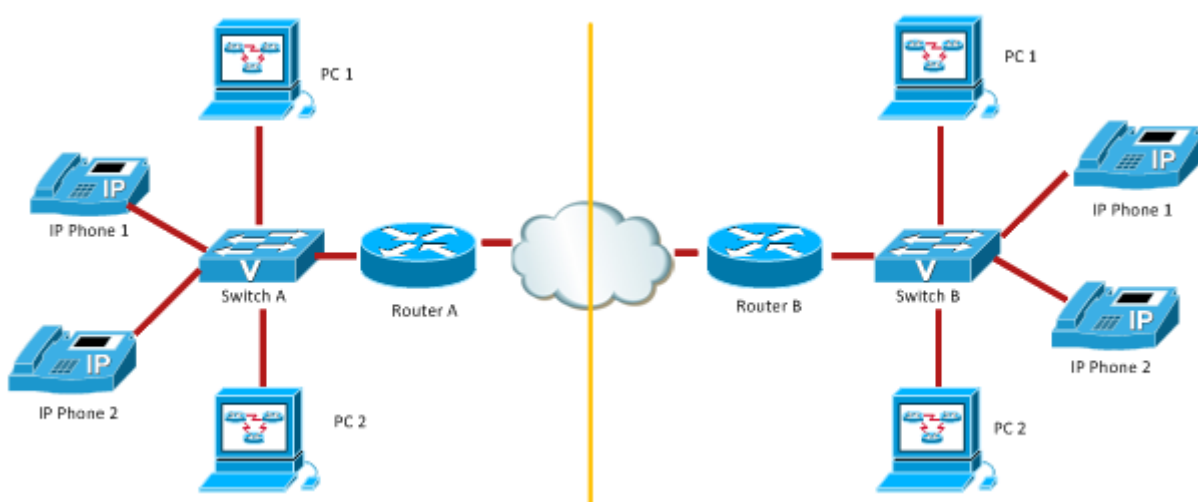
Četvrti dio objašnjava ulogu kodeka u kontekstu VoIP-a, navodi najbitnije kodeke te prikazuje njihove različite učinke na sveukupnu komunikacijsku uslugu.

Peto poglavlje navodi i opisuje skupove podataka koji su korišteni u analizi, dok šesto poglavlje prikazuje rezultate dobivene istom analizom. Zaključak izveden na temelju provedene analize sadržan je u sedmom poglavlju.

2.OBLICI I KARAKTERISTIKE KOMUNICIRANJA POSREDSTVOM VOIP TEHNOLOGIJE

2.1 Komponente i njihove zadaće

Kako bi se mogli opisati oblici i karakteristike komuniciranja VoIP tehnologijom, treba raščlaniti takav sustav na osnovne komponente. Generalno, može se reći da VoIP sustav čine mrežna infrastruktura, kontroleri poziva, prevodioci (eng. *Gateways*), korisnički terminali i eventualno osobna računala (*Personal Computer – PC*). Unatoč različitoj tehnologiji i načinu prijenosa i kod VoIP-a se koriste neki elementi klasičnih javnih telefonskih mreža (PSTN). Povlačeći paralelu s tradicionalnim mrežama za komunikaciju, mrežna infrastruktura za VoIP omogućava transmisiju govornih paketa mrežom zasnivajući prijenos na IP protokolu. Mora omogućiti sve funkcionalnosti koje omogućuje i javna telefonska mreža uz dodatno pružanje usluga prijenosa podataka. Kontroleri poziva su zapravo moduli potrebni za uspostavu, nadzor i prekidanje sesije. Prilikom poziva moraju izvršiti funkciju autorizacije korisnika koji zahtijeva usluge VoIP tehnologije i izvršiti nadzor brzine prometa na svakom od korištenih linkova. Nakon što se odrade spomenute radnje, glas je potrebno iz analognog oblika pretvoriti u digitalni, a ovu funkciju obavljaju prevodioci. Osim konverzije oblika glasa, imaju zadaću i omogućiti komunikaciju između raznorodnih tehnologija, primjerice između terminala spojenim na IP mrežu i terminala spojenim na digitalnu mrežu integriranih usluga (*Integrated Services Digital Network - ISDN*) koje moraju međusobno nesmetano komunicirati, a to i jest jedan od ciljeva VoIP tehnologije, [1]. Na slici 1 prikazan je pojednostavljeni model mreže u kojoj može funkcionirati VoIP.



Slika 1. Pojednostavljeni prikaz VoIP veze u mreži, [9]

Korisnički VoIP terminali su krajnji uređaji unutar VoIP mreže te pružaju korisniku mogućnost pristupa mreži. Primjerice, VoIP telefoni su terminalni uređaji nadograđenih funkcija u odnosu na konvencionalne telefone, ali istodobno pružaju svaku od mogućnosti tradicionalne telefonije. Govoreći o VoIP terminalima svakako treba spomenuti i konferencijske VoIP terminale koji pored mogućnosti klasičnih konferencijskih telefona dozvoljavaju dodatne funkcionalnosti upotrebe podatkovnih usluga. Sve više se koriste i mobilni VoIP terminali. Može se reći kako su terminali uređaji čija je primarna zadaća upućivanje i primanje poziva. Ukoliko krajnji korisnik nema potrebe posjedovati VoIP telefon, ovakav tip komunikacije može ostvarivati putem osobnog računala koristeći pritom slušalice, mikrofon te aplikativno rješenje za komuniciranje (npr. Skype) kao i pristup Internet mreži. Nadalje vidljivo je kako VoIP omogućuje razne oblike komunikacije posredstvom različitih oblika terminalnih uređaja, [1].

2.2 Oblici komunikacije VoIP tehnologijom

Za razliku od tradicionalne javne telefonske mreže, VoIP telefonija omogućuje nekoliko oblika komunikacije. Oblici komunikacije uglavnom se zasnivaju na korištenim terminalnim uređajima, tj. uređajima koji su krajnji u komunikacijskoj vezi. Uporaba određenih tipova terminalnog uređaja diktira način odvijanja usluge prijenosa paketa mrežom. Načini komuniciranja u VoIP mreži svode se na sljedeće kombinacije: PC – PC, IP telefon – PC , IP telefon – IP telefon ali moguća je i konekcija prema tradicionalnim telefonima pa su moguće kombinacije i PC- klasičan telefon, IP telefon – klasičan telefon.

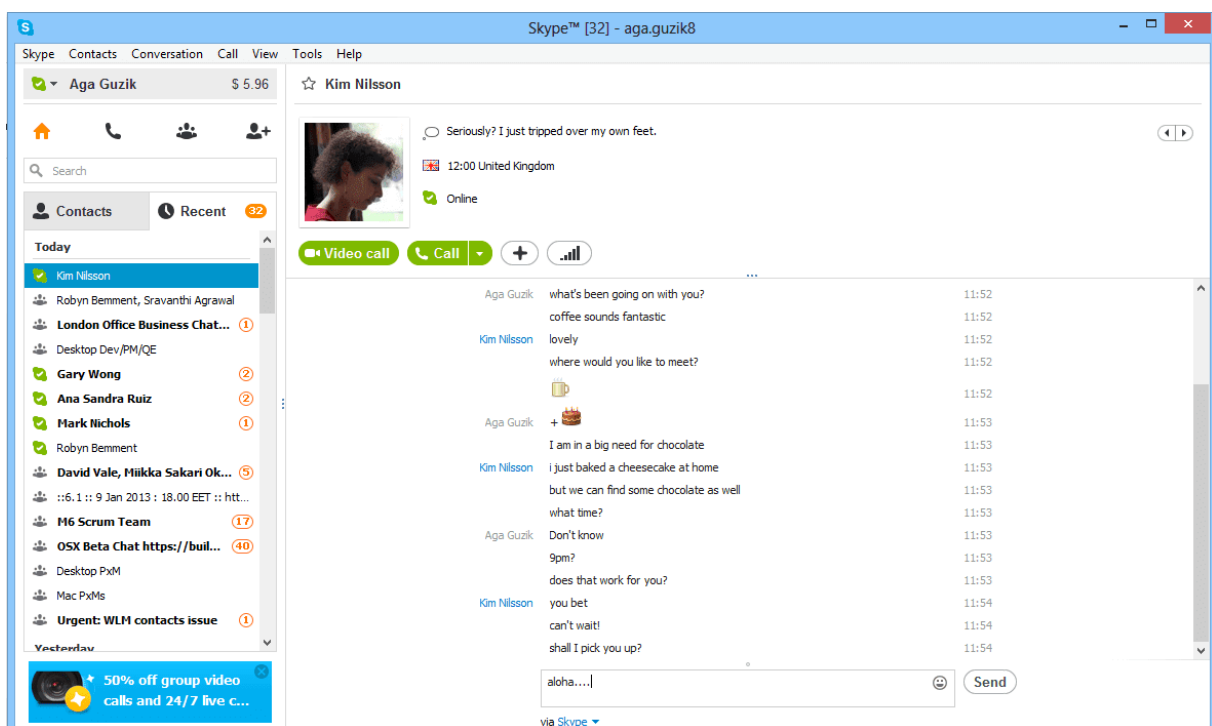
2.2.1 IP telefon – PC

Kao što i naziv govori, IP telefon za svoju komunikaciju koristi Internet protokol. Za osobno računalo je ranije spomenuto kako mora imati mogućnost povezivanja na Internet mrežu pa je rezimirajući te dvije činjenice jasno kako u slučaju komuniciranja između IP telefona i osobnog računala nije potrebna integracija klasične telefonske mreže s IP mrežom.

2.2.2 PC- PC telefonija

Korisnici kao terminalne uređaje koriste osobna računala i na taj način pristupaju mreži i ostvaruju komunikacijske usluge. Kako bi se komunikacija PC – PC ostvarila, neophodno je da računala imaju konekciju prema Internet mreži te opcionalno popratnu opremu u ovisnosti od željenog tipa komuniciranja (slušalice,

mikrofon, kamera). Nakon ispunjenja navedenih uvjeta, prelazi se na aplikacijsku razinu koja podrazumijeva aplikativna rješenja koja će korisniku prezentirati odvijanje same komunikacije. Kod PC – PC načina komuniciranja najčešće je potrebno imati postavljenu istu aplikaciju na obje strane razgovora, a preko iste korisnik ima mogućnost koordinacije razgovora prema želji. Aplikacija omogućuje vizualni uvid u zahtjeve za uspostavom, trajanjem, prekidom komunikacije, aktivacijom dodatnih mogućnosti, uplatom kredita za terećenje i ostale funkcije. Svakako bitna činjenica kod ovakvog oblika komuniciranja jest da klasična PSTN mreža i Internet mreža funkcioniraju neovisno jedno o drugome, a sučelje aplikacije Skype je prikazano na slici 2.



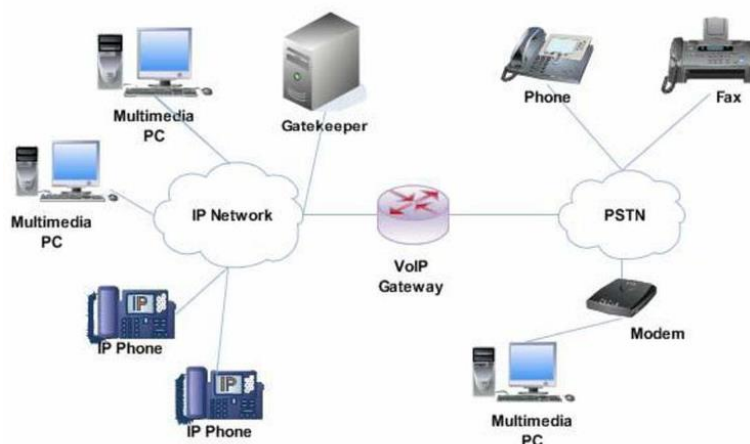
Slika 2. Sučelje programa Skype, [10]

2.2.3 IP telefon – IP telefon

Vid VoIP telefonije kada se odvija komunikacija između dva IP telefona veoma je zastupljen u poslovnim okruženjima unutar zgrade, ali nerijetko se koristi i između rezidencijalnih korisnika. Ovaj stupanj komunikacije viši je u odnosu na komunikaciju između dva tradicionalna telefona, a zasniva se također na IP protokolu. S obzirom na isti način spajanja i zasnovanost na istom protokolu, nije potrebna integracija PSTN i IP mreže. Korisnicima nije potrebno dodatno postavljanje aplikativnih rješenja. IP telefoni imaju implementirane mnoge funkcije višeg stupnja inteligencije u odnosu na klasične telefone.

2.2.4 PC / IP telefon – klasičan telefon

Posebnost ovakvog tipa komunikacije jest u tome što za komunikaciju osobno računalo ili IP telefon koriste povezanost na Internet mrežu i zasnivaju se na IP-u, dok se istodobno klasični telefon na drugom kraju komunikacijskog kanala povezuje na klasičnu telefonsku mrežu.



Slika 3. Funkcioniranje VoIP-a između raznorodnih tehnologija, [11]

Na slici 3 je dan primjer VoIP komunikacije između IP terminala (računala ili IP telefona) i terminala klasične javne mreže. Vidljivo kako između dvije raznorodne tehnologije mora postojati prevodilac da bi se omogućila komunikacija između ovakvih sučelja.

2.3 Karakteristike komuniciranja VoIP tehnologijom

Zasnovana na komutaciji kanala, komunikacija tradicionalnih oblika podrazumijevala je prijenos govora PSTN mrežom. Razvoj VoIP tehnologije omogućila je sve veća implementacija komutacije paketa u svakodnevnu komunikacijsku praksu. Paketnom komutacijom dozvoljeno je da paketi kao nosioci informacije na odredišta dolaze različitim putevima (rutama) i u različitim rasporedima u odnosu na izvorni raspored. VoIP tehnologija zapravo objedinjuje prijenos govora i podataka u jednu cjelinu što je ranije bilo nezamislivo. Protivnici ove tehnologije mogli bi istaknuti kvalitetu usluge ili kompleksnost potrebne opreme kao nedostatke, dok nasuprot nezaobilazne prednosti VoIP-a su efikasnost i cijena. Nepotrebne vremenske intervale VoIP pokušava minimizirati ili ukloniti kako bi ostali samo suštinski intervale komunikacije, oni koji predstavljaju govor. Moguće je detektirati šutnju kako se takvi uzorci ne bi prenosili, ali moguće je i upotrebom određenih kodeka prenositi samo razlike između uzetih uzoraka. Takva kompresija nije bila

moguća kod klasičnih mreža pa je stoga VoIP efikasniji, a manjim zauzećem za istu količinu govora ili jednakim zauzećem za višestruko veću količinu govora potvrđuje da je cjenovno prihvatljiviji.

IP protokol je temeljni protokol današnje komunikacije, nalazi se na trećem sloju konceptualnog modela za prikaz arhitekture mreže, OSI referentnog modela (*Open Systems Interconnection model* – OSI), tj. na mrežnom sloju. IP protokol predstavlja i suštinu funkcioniranja VoIP tehnologije, tj. transmisiju paketa između izvorišnog i odredišnog terminala. Kod VoIP-a se ne pruža kontrola isporuke paketa zbog korištenja bekonekcijskog protokola (*User Datagram Protocol* – UDP). Govorne se informacije oblikuju u pakete pogodne za prijenos IP mrežom, a potom na odredišnoj strani ponovno vraćaju u korisniku uporabljiv oblik.

3.PROTOKOLI USLUGE VOIP

Kako bi se telefonske usluge VoIP-a mogle odvijati, moraju biti definirana pravila prijenosa tijekom sesije. Protokoli predstavljaju striktne procedure koje obavljaju funkcije uspostavljanja, održavanja i zaključivanja podatkovnih konekcija ili komunikacija. Najsloženiji dio telefonije je uspostavljanje poziva i upravljanje pozivom. Signalizacija predstavlja složen skup određivanja lokacije pozvane stranke, traženje puta kroz mrežu, započinjanje, nadzor i raskidanje veze. I u ovom aspektu može se povući paralela između telefonskih mreža zasnovanih na IP protokolu i tradicionalnih mreža. Kako je signalizacija neizostavan dio svakog oblika telefonije, kod klasične javne telefonske mreže, funkciju signalizacije obavlja SS7 (*Signaling System 7*). Analizirajući dublje načine funkcioniranja VoIP-a vidljivo je kako za njegovu signalizaciju postoje implementirani signalizacijski protokoli. Iako nisu jedini, u VoIP-u postoje dva temeljna: H.323 i protokol inicijacije sesije (*Session Initiation Protocol – SIP*).

Nasuprot signalizacijskim protokolima, postoje protokoli koji su zaduženi za prijenos informacija koje predstavljaju govor na određenoj strani, kontrolni protokoli te protokoli za opis sesije. Bez njihove implementacije ne bi bilo moguće provesti prijenos, kontrolu i nadzor sesije unatoč obavljenoj signalizaciji. Ovo nisu jedini VoIP protokoli ali se ističu kao najbitniji.

3.1 Signalizacijski protokoli VoIP-a

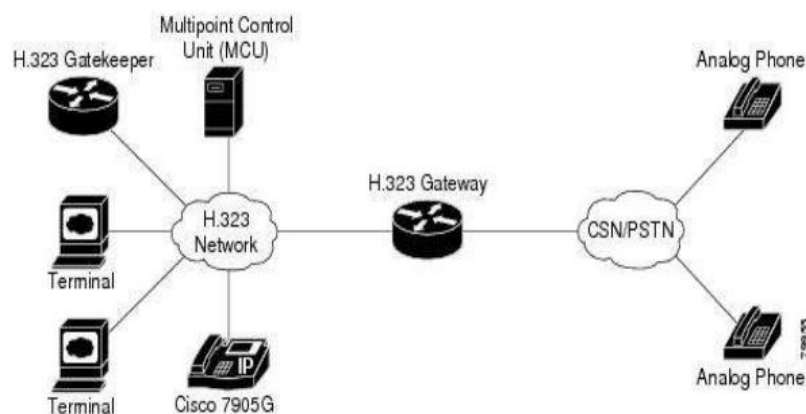
Kako bi se postigla zadovoljavajuća razina usluge, protokoli signalizacije u VoIP sustavima moraju omogućiti sposobnost uspostave, održavanja i raskida sesija. S obzirom da je tema tehnologija koja je još uvijek zastupljena u relativno maloj mjeri, mora biti prostora za fleksibilnost, tj. sposobnost upijanja i uvođenja novih mogućnosti i funkcija. Kako bi se istovremeno mogao odvijati promet između velikog broja terminalnih uređaja, neizostavan je pojam skalabilnosti. Govoreći o signalizacijskim protokolima VoIP mreže, treba spomenuti standardiziranost koja omogućuje interoperabilnost između proizvoda različitih proizvođača. Pored navedenih zahtjeva koji se postavljaju pred protokole, valja izdvojiti i upravljanje mrežom kao i naplatu usluga.

3.1.1. H.323

H.323 predstavlja skup protokola koji kontroliraju uspostavu, tok i raskidanje poziva. U odnosu na SIP, H.323 je znatno starije protokolarno rješenje implementirano u proizvode mnogih proizvođača opreme kao i davatelja usluga.

Stvoren je od strane ITU-a (*International Telecommunications Union*) i do pojave SIP-a bio je prvi protokol za signalizaciju u VoIP tehnologiji. Omogućava govornu i vizualnu komunikaciju u mrežama zasnovani na komutaciji paketa ali i povezivanje takvog tipa mreža s mrežama tradicionalnih tehnologija zasnovanih na komutaciji kanala. Ovaj protokol je vrlo kompleksan što vodi do problema u mrežama u kojima se koristi vatrozid (*firewall*) stvarajući velika kašnjenja prilikom poziva. Da se radi o starijem skupu protokola svjedoči činjenica da H.323 nalaže kako terminalni uređaji moraju imati podršku za govorne usluge, dok su prijenos videa i podataka tek moguće opcije. Na slici 4 je vidljivo da je svaka krajnja točka (terminal) u mreži povezana na *Gatekeeper*. On je zadužen za određenu zonu i obavlja funkciju adresiranja IP prema E.164 telefonskim adresama i obratno kako bi se omogućila nesmetana komunikacija između primjerice VoIP terminalnog uređaja i uređaja povezanog na klasičnu telefonsku mrežu. H.323 arhitektura se sastoji i od terminala, prevodioca (*gateway*) i jedinicu za kontrolu više konferencijskih točaka (*Multi – point Control Unit – MCU*), [1].

H.323 Architecture



Slika 4. Primjer H.323 mrežne arhitekture, [12]

H.323 je zapravo protokolarni složaj, sastavljen od više protokola koji služe određenim funkcijama unutar komunikacijske usluge. Protokoli koji ga determiniraju su H.245, H.225, H.332, H.235, H.246 i H.450. Prema [1] uloge spomenutih protokola su:

- H.245 – Kontrolni protokol koji služi za definiranje procedura korištenih u postupku izmjene poruka vezanih uz samo održavanje komunikacije kao i upravljanje logičkim kanalima.
- H.225 Call Signaling – Signalizacija koja se odvija između H.323 terminala.
- H.225 RAS – Protokol zadužen za uspostavu komunikacije, signalizaciju poziva a odvija se u okvirima između *Gatekeepera* i određižnog terminalnog

uređaja kojemu se signalizira poziv, naziva se još i RAS (*Registration, Admission and Status*).

3.1.2. Session Initiation Protocol (SIP)

SIP se ubraja u skupinu klijent – poslužitelj protokola. Ovo je signalizacijski protokol koji služi za uspostavu, održavanje i prekid sesija održavanih u mrežama zasnovanim na IP protokolu. Klijenti ili korisnici upućuju određene zahtjeve na koje poslužitelji (*serveri*) pružaju odgovore. Ovaj protokol jest razvila organizacija IETF (*Internet Engineering Task Force*). Baziran je na HTTP protokolu (*Hypertext Transfer Protocol*) za prijenos informacija putem web sučelja. Ovo jest end-to-end protokol. On u ovisnosti od ostalih protokola omogućuje komunikaciju, a najpoznatiji od njih je RTP protokol (*Real Time Transport Protocol*). SIP protokol svoju implementaciju nalazi u ostvarivanju poziva kao i video konferencija, [2].

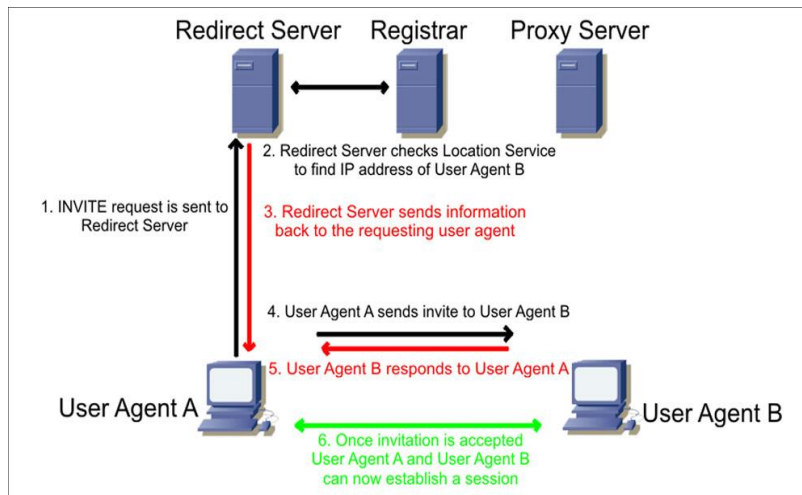
IP telefonski pozivi su multimedijske komunikacije čijim ostvarenjem se otvaraju komunikacijske sesije. Terminalni uređaji u VoIP telefoniji su IP telefoni koji zapravo predstavljaju SIP klijente, osobna računala s instaliranim aplikacijama konfiguriranim na način da koriste implementaciju SIP protokola. S obzirom da je ovo klijent – poslužitelj protokol, on definira samo dvije vrste poruka a to su zahtjevi i odgovori, pri čemu se svaka poruka sastoji od zaglavlja i tijela poruke. S obzirom da se funkcioniranje odvija na način da se izmjenjuju poruke između klijenata i poslužitelja, SIP je tekstualno orijentirani protokol.

Rad samog protokola ne bi bio moguć bez poruka koje determiniraju njegovu funkcionalnost. One se odašilju od korisnika ka poslužitelju i dobivaju potvrdu o uspješnosti ili neuspješnosti. Poruke koje koristi ovaj protokol su:

- INVITE - Poruka se odašilje od korisnika prema poslužitelju i omogućuje otvaranje sesije, a ukoliko se šalje za vrijeme otvorene sesije, može rezultirati popratnim mogućnostima vezanim uz sam poziv, primjerice odlaganje poziva na čekanje.
- ACK (*Acknowledgment*) - Poruka čija je namjena potvrda otvaranja sesije, najčešće odgovor na poruku INVITE.
- BYE – Metoda čiji je rezultat prekid konekcije iniciran nekim od krajnjih korisnika, a za posljedicu ima prekid razgovora ili konferencije.
- CANCEL – Poruka odbijanja koristi se ukoliko ima potrebe za prekidom zbog uspješnog pronalaženja nekog od korisnika.
- OPTIONS – Poruka koja zahtijeva popis mogućnosti nekog poslužitelja, u odgovoru se navode mogućnosti koje isti može pružiti.
- REGISTER – Poruka koja omogućuje poslužitelju uvid u lokaciju krajnjeg korisnika na način da ga se povezuje s adresom mreže njegova pristupa, [3].

Nadalje, nakon navedenih poruka kojima svoju funkciju obavlja SIP, nezaobilazno je prikazati i objasniti njegovu strukturu. Struktura je prikazana na slici 5, a može se primijetiti kako se ističe šest glavnih elemenata, a to su korisnički agent, proxy poslužitelj, registar, poslužitelj preusmjeravanja i poslužitelj lociranja. Nadalje je objašnjen svaki od elemenata.

- Korisnički agent - Krajnja točka u komunikacijskom lancu zadužena za slanje ili primanje SIP poruka. U takvom se okruženju podrazumijeva da mora imati i ulogu poslužitelja i ulogu klijenta što je netipično za protokol na kojemu je SIP baziran, HTTP-u s obzirom da se prilikom korištenja usluge koje HTTP omogućuje, pristup web sadržajima, uvijek pristupa u ulogu klijenta. Zbog takve odlike korisnički agent (*User agent* - UA) mora istodobno biti i klijent (*User Agent Client* - UAC) i poslužitelj (*User Agent Server* - UAS). Korisnički agent je najinteligentniji dio SIP mreže. Ovaj dio SIP mreže može započeti, promijeniti ili odbiti (prekinuti) sesiju. Ovu točku može predstavljati mobilni uređaj, tablet ili osobno računalo.
- *Proxy* poslužitelj - Mrežni poslužitelj koji također funkcionira u svojstvima klijenta (UAC) i poslužitelja (UAS). Literatura [6] navodi podatak da je moguć maksimum od 70 *proxy* poslužitelja između izvora i destinacije. Njegova primarna zadaća jest usmjeravanje ka sljedećim elementima SIP mreže, bližima ciljanom korisniku. *Proxy* omogućuje i svojevršno obavljanje nadzora na način da provjerava smije li određeni korisnik uputiti poziv ili ne, ali i kao prikupljanje podataka o lokaciji korisnika koji je učesnik sesije.
Razlikujemo dvije vrste *proxy* poslužitelja:
 1. *Proxy* poslužitelj koji samo prosljeđuje primljene poruke dalje bez pamćenja informacija o pozivima ili porukama.
 2. *Proxy* poslužitelj koji pamti stanja svakog odaslano i primljenog entiteta. Omogućuje retransmisiju ukoliko ne dobiva odgovor s određene strane.
- Registrar - Omogućuje zahtjeve prijave od strane korisničkih agenata kao i autentikaciju istih unutar mreže. Ovo je dio strukture u kojemu se na temelju lokacijskih servisa može zapisati adresa krajnje točke i kao takva biti korisna za ostale SIP poslužitelje s istom domenom.
- Poslužitelj preusmjeravanja - Poslužitelj koji omogućuje klijentu da zaobilaznim putem, alternativnom rutom pošalje željene poruke.
- Poslužitelj lociranja - Poslužitelj koji komunicira s registracijskim poslužiteljom i *proxy* poslužiteljom i pohranjuje od njih dobivene informacije o lokacijama terminala, [6].



Slika 5. Princip rada SIP protokola, [13]

3.2 Protokoli za opis sesije

Nakon obavljene signalizacije dolazi do uspostave veze između terminala, tj. otvorenja sesije. Sama sesija može biti aktivna ali pod različitim parametrima koji je definiraju. U narednom tekstu definirana su dva protokola koji prikupljaju informacije o komunikaciji, a to su protokol opisa sesije (*Session Description Protocol* - SDP) i protokol nadzora prespojnika (*Media Gateway Control Protocol* - MGCP). Ovo su zapravo protokoli koji se odvijaju paralelno s aktivnošću signalizacijskih protokola i protokola za prijenos informacija. Oni nemaju signalizacijska ni prijenosna svojstva, ali su u uskoj povezanosti s protokolima tog tipa.

3.2.1 Session Description Protocol (SDP)

SDP protokol jest protokol koji opisuje parametre komunikacijske veze. Ne sudjeluje u signalizaciji ni prijenosu informacija između VoIP terminala. Ovaj protokol je dobio specifikaciju od strane IETF 1998. godine. Koristi se kao alat za obavijesti vezane uz stanje sesije i pregovaranje na osnovu trenutnih parametara sesije prepuštajući na volju primatelju želi li u takvim okolnostima ostvarivati sesiju. SDP je kompatibilan s nekim od drugih protokola kao što su ranije spomenuti SIP, RTP i protokol aplikacijskog sloja za nadzor isporuke podataka (*Real Time Streaming Protocol* – RTSP). Informacije koje SDP analizira su podaci o sesiji (naziv i tip), opis vremena i opis medija.

Vezano uz samu sesiju, SDP prikuplja podatke o verzijama ostalih protokola, korisničko ime, mrežnu adresu, naziv sesije, e-mail adrese ili telefonske brojeve kontakata, podatke o pojasnoj širini, podešenja vremenske zone i mnoge druge. Govoreći o prikupljanju podataka o vremenu, ovdje postoji mala kompleksnost. SDP ovdje prikuplja dva podatka a to su ukupno vrijeme aktivnosti sesije i broj ponavljanja sesije. U posljednjoj sekciji, opisu medija, SDP ima zadaću prikupljanja podataka o

imenu medija i načinu prijenosa, konekciji, pojasnoj širini medija, ključu enkripcije itd., [3].

3.2.2 Media Gateway Control Protocol (MGCP)

MGCP protokol je kontrolni protokol korišten u IP mrežama. Poput SDP-a, ni MGCP ne obavlja signalizaciju ni prijenos paketa kroz mrežu ni nadzor istog procesa. Zadaća ovog protokola je nadzor nad prespojnicima u IP mreži povezanim na PSTN mrežu. Protokol je tekstualno usmjeren što znači da je funkcionira po principu slanja zahtijeva i primanja odgovora. Poruke ovog protokola se šalju koristeći protokol korisničkih datagrama bez kontrole isporuke (*User Datagram Protocol – UDP*), dakle bez garancije pravovremenosti ili poretka. UDP omogućuje prijenos informacija u obliku datagrama između korisničkih terminala bez obzira jesu li svi paketi pristigli na odredište i jesu li pristigli u točno određenom rasporedu.

Ovo je relativno jednostavan protokol, bez neke kompleksnosti. Arhitektura u čijim okvirima protokol funkcionira sastoji se od krajnjih točaka, pristupnika i veza između tih entiteta. Svaki od pristupnika mrežnim vezama povezan je na više krajnjih točaka. Funkcionalnost se zasniva na tome da MGCP zadaje pristupniku u mreži upit jedne strane o želji za otvaranjem sesije koji potom isti prosljeđuje nekom od idućih pristupnika unutar mreže (sa odredišne strane). Suština je da pristupnici međusobno izmjenjuju informacije o trenutnim stanjima sesije sa svojih strana a na temelju tih informacija komunikacija se ili ostvaruje ili biva odbijena. Ovim protokolom je omogućena komunikacija raznorodnih tehnologija kojima pripadaju IP telefon s jedne i klasični telefon s druge strane, IP i PSTN uz postojanje pristupnika unutar mreže. Takva je konvergencija potrebna zbog različitih tipova korisnika koji pristupaju telekomunikacijskim uslugama, a neizostavna zato što se takve komunikacijske usluge temelje na različitim načinima prospajanja, IP na komutaciji paketa, a PSTN na komutaciji kanala, [3].

3.3 Protokoli za prijenos informacija i kontrolu čega?

Protokoli koji nakon obavljene signalizacije obavljaju zadaću prijenosa multimedijских sadržaja su protokoli za prijenos informacija. Zaključno sa signalizacijom i otvaranjem multimedijске sesije dolazi do strujanja informacija između krajnjih terminala a posredstvom elemenata VoIP mreže. Protokoli koji su nadalje objašnjeni nisu jedini koji prenose multimedijске sadržaje, ali se svakako ističu u toj namijeni.

3.3.1 Real-Time Transport Protocol (RTP)

RTP jest protokol koji ima namjenu prenošenja multimedijских informacija u stvarnom danom trenutku. Koristi se u prijenosu glasovnih informacija (govor) i video sadržaja. Kako se VoIP komunikacija može odvijati u okvirima IP ili privatne mreže, česta pojava su gubitak paketa u mreži ili netočan raspored njihova pristizanja na odredište, kašnjenje paketa ili varijacije u kašnjenjima (*jitter*).

Temeljen na UDP protokolu, RTP se može doimati nepouzdanim protokolom za prijenos multimedijских sadržaja. UDP ne sadrži mehanizme kontrole isporuke ili redoslijeda paketa ka odredištu jer je bitna stvarnovremenost, a to je jedna od odlika RTP-a.

RTP protokol funkcionira u uskoj vezi s kasnije spomenutim i objašnjenim RTCP protokolom. RTP prenosi medijske informacije (govor i video) od izvorišta ka odredištu, a RTCP je kontrolni protokol i za to vrijeme obavlja nadzor prijenosa u cilju što većeg ostvarenja kvalitete usluge. RTP je u sprezi i sa signalizacijskim protokolom SIP.

RTP može obavljati skupno ili pojedinačno odašiljanje. Njega koristi i SIP protokol za signalizaciju, a pogodan je za prijenos glasovnih i video sadržaja zbog mogućnosti ispravljanja pogrešaka, detekcije izgubljenih paketa kao i osiguranja podataka koje prenosi, [4].

3.3.2 Real Time Control Protocol (RTCP)

RTCP jest protokol koji obavlja nadzor prijenosa multimedijских informacija, tj. govora. Kako mu ime govori, radi se zapravo o kontrolnom protokolu koji je u sprezi s RTP protokolom. S obzirom da RTP nema mehanizme kontrole toka ili njegova upravljanja, RTCP mu služi kao dopuna u tom smislu.

Degradacije koje se mogu pojaviti za vrijeme otvorene sesije su kašnjenje, varijacija kašnjenja (*jitter*) i udio izgubljenih paketa u svim odaslanim paketima. Kako bi se omogućilo djelovanje RTCP, po uzoru na ostale protokole dolazi do transmisije određenih poruka kojima se obavlja protokolarni nadzor stanja. RTCP okružje ima pet tipova poruka:

- *Sender report* (SR) – Izvještaj koji se periodično šalje i daje na uvid statistiku svih odaslanih RTP paketa tijekom određenog intervala.
- *Receiver report* (RR) – Izvještaj koji ima primarnu zadaću prikaz statistike pasivnih sudionika sesije, onih koji ne šalju RTP pakete već ih primaju.

- *Source description* (SDES) – Opis koji pruža informacije o dodatnim, popratnim informacijama poput imena, adrese, telefonskog broja ili e-mail adrese samog izvora.
- *Goodbye* (BYE) – Poruka koja rezultira prekidom sesije.
- *Application – specific message* (APP) – Poruka koja sadrži mehanizme koji omogućuju dodatne mogućnosti bazirane na RTCP protokolu unutar novog aplikativnog rješenja, [7].

3.3.3 Real Time Streaming Protocol (RTSP)

RTSP je protokol korišten u sustavima zabave i komunikacije kao model upravljanja prijenosa informacija. Protokol se oslanja na dva temeljna pristupa u procesu transporta a kontrolira promet između klijenta i poslužitelja.

RTSP protokol oslanja se na TCP i UDP protokole transportnog sloja te može funkcionirati u sprezi s bilo kojim od njih. Široka je paleta usluga koje se svakodnevno zasnivaju na RTSP protokolu, a njihove su odlike da mogu biti u stvarnom vremenu ili na način da su isječci pohranjeni na poslužitelju. Sam RTSP protokol odgovara funkcijama aplikacijskog sloja OSI referentnog modela, a s obzirom na mogućnost objedinjenja dva temeljna protokola transportnog sloja, nesmetano je omogućena korisnička upotreba raznih oblika usluga.

Gledano iz pozicije konekcijskog protokola TCP-a, on biva korišten u RTSP okruženju kada dolazi do zahtijeva pristupu isječcima pohranjenim na poslužitelju. U ovom slučaju TCP zahtijeva isporuku svih paketa, u točnom redoslijedu i uz što je moguće manja kašnjenja i varijacije u kašnjenjima. Egzaktan primjer takve usluge jest praćenje video sadržaja putem *Youtube* servisa. Mogućnosti koje se tako omogućuju su usluge vezane uz praćenje sadržaja kao što su pauza, reprodukcija, ubrzano premotavanje itd. Usluge kojima je nužno bitna stvarnovremenost poput govora ili video konferencije, a nebitna isporuka primjerice baš svakog od paketa, baziraju se na uključenosti UDP protokola. Takvi primjeri su aplikacije *Skype* (VoIP), *Windows Media Player*, *Winamp* (*streaming*) i drugi, [3].

3.3.4 Resource Reservation Protocol (RSVP)

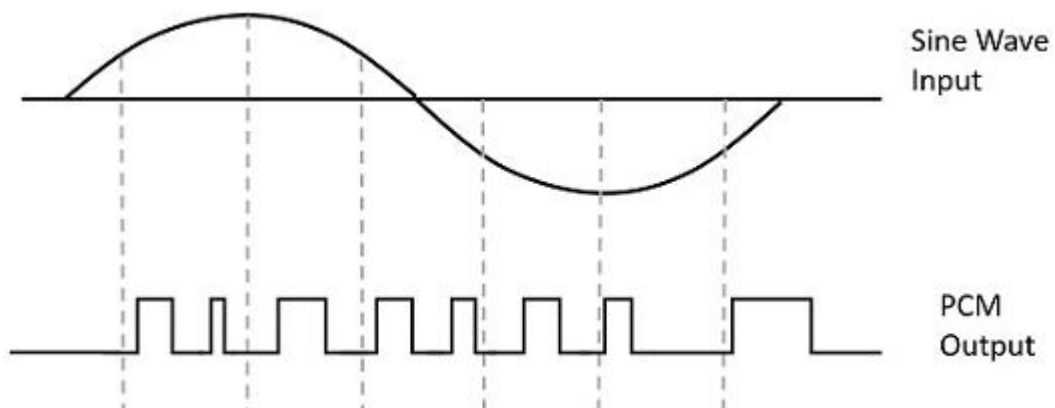
RSVP je protokol koji, kako mu i naziv govori, služi za rezervacije resursa (*Resource Reservation Protocol* – RSVP). Zadužen je da omogući što je moguće veću kvalitetu usluge (*Quality of Service* - QoS) prethodnim angažiranjem resursa mreže koji trebaju biti korišteni tijekom sesije. RSVP zapravo omogućuje krajnjim točkama da postavljaju zahtjeve u vidu kvalitete usluge. RSVP nije transportni protokol već funkcionira u sprezi s drugim protokolima. Karakterizira ga *simplex* način rada jer postoji jedino jedan smjer od izvora ka primateljima, osigurava određeni kapacitet

mreže kako bi se takav prijenos omogućio. Za RSVP se može reći da je adaptivan jer se brzo i efikasno prilagođava trenutnim mrežnim stanjima. Kako se VoIP održava u okvirima komutacije paketa, ne postoji direktna fizička veza s kraja na kraj komunikacijskog puta, već ona prolazi cijelim nizom čvorova i linkova. RSVP treba svaki taj čvor i link rezervirati za planiranu komunikaciju. Promet u realnom vremenu zahtjeva rezervaciju kako bi se povećala razina kvalitete usluge (QoS), a to postaje moguće tek smanjenjem jittera, kašnjenja, gubitka paketa i osiguranjem dovoljnog prijenosnog kapaciteta. To su glavni razlozi rezervacije resursa i funkcioniranja ovog protokola, [15].

Ovaj protokol ima dva tipa poruka, a to su uspostava rute (*path*) i rezervacija rute (*resv*). RSVP omogućuje rezervaciju resursa za prijenos podataka i stvarnovremenski prijenos pri čemu se za prijenos podataka zahtjeva manja garancija prijenosa. Izvor šalje *path* poruku ka jednom ili više čvorova u mreži istodobno. Put kroz mrežu može se odvijati „u skokovima“ od čvora do čvora pri čemu svaki ima informaciju o prethodnom čvoru u mreži, odnosno o čvoru koji mu je poruku proslijedio. Poruka rezervacije rute ide u obratnom smjeru, od primatelja ka pošiljatelju i to je ruta prethodno definirana *path* porukom. Također potrebno je i kod rezervacije angažirati svaki od čvorova te se i taj proces može odvijati u skokovima. Posljednji u nizu čvorova u procesu rezervacije rute jest čvor najbliži pošiljatelju (onome tko je započeo proces uspostave rute *path* porukom), a njegovom rezervacijom omogućena je komunikacijska usluga. Navedeni postupak prikazao je uspostavu i rezervaciju rute, ali valja napomenuti kako se i za vrijeme same komunikacijske usluge može promijeniti ruta (npr. neki od čvorova u mreži je zaobiđen, a opterećen je neki od dosad nekorištenih čvorova) i kao takva mora biti rezervirana. Ovo je dokaz da RSVP ima mogućnost adaptivnog održavanja ruta. Literatura navodi kako je 75% kapaciteta sučelja moguće rezervirati. Ovime se ostvaruje i mogućnost tuneliranja prethodnim angažiranjem resursa, [15].

4.OPIS ZNAČAJKI RAZLIČITIH KODEKA ZA KOMPRESIJU GOVORA

Kako bi se nad govornim signalima izvršila transmisija ka njihovom odredištu, iste je neophodno pretvoriti u oblik pogodan za prijenos određenom vrstom medija. Ljudski govor se generira kada zrak iz pluća prolazi glasnicama, a glas koji se čuje je analognog oblika. Klasične telefonske mreže koje su se zasnivale na komutaciji kanala u većini svojih participiranja u telekomunikacijskim uslugama prenosile su glasovne signale analognog oblika. Danas, većina telefonskih mreža ima sposobnost prijenosa digitalno konvertiranih signala, a ovisno o izvedbi ovisi u kojem udjelu je zastupljena digitalizacija glasovnih signala kao prometnih entiteta. Kako je za prijenos govora u klasičnim telefonskim mrežama bila dovoljna brzina od 64 kbit/s, posredstvom komutacije paketa i nje kao osnove za većinu podatkovnih mreža kao i Internet u cjelini takva brzina bi bila degradirajući faktor u komunikacijskom sustavu. Govoreći o usluzi VoIP koja se zasniva na paketskom modu prijenosa, ljudske glasove analognog oblika neophodno je pretvoriti u njima ekvivalentan digitalan oblik. Analogni signal jest sinusoidalnog, odnosno valnog oblika, a u digitalnom obliku poprima vrijednosti nula i jedinica, odnosno pravokutan oblik što je vidljivo na slici 6. Nakon postupka digitalizacije, signal se treba paketizirati kako bi ga bilo moguće prenijeti putem IP mreže. Postupak pretvaranja analognog oblika glasa u njemu ekvivalentan digitalan oblik naziva se kodiranje.



Slika 6. Pulsno – kodna modulacija, [14]

Postupak kodiranja provodi kodek (eng. *codec*) čiji je naziv kratica od koder-dekoder. Kodek postupkom kodiranja omogućuje prijenos istih informacija određenim prometnim kanalom uz znatno manje prometno opterećenje pa je jasno da spomenuti proces vodi do sažimanja (kompresije) određene vrste signala. Sažimanje se može

provести na način da se procjenjuje koji je od dijelova određenog zapisa redundantan, a koji neizostavan, no nakon ovakvog oblika kompresije nepovratno se uklanjaju određeni segmenti što može rezultirati i smanjenom kvalitetom ostatka signala. Govoreći o kompresiji može se izdvojiti i metoda kada dolazi do procjene eventualno redundantnih segmenata signala koji se ne uklanjaju već označavaju i pohranjuju kao nekorisni kako se ne bi bespotrebno opterećivao kapacitet određenog medija. S obzirom da se kod usluge VoIP govori o tehnologiji koja pruža mogućnost komunikacije prenoseći pritom glasovne i video sadržaje, jasno je da se manipulacijom odabira određenog kodeka određuje i način komprimiranja komunikacijskih sadržaja što kasnije rezultira različitim performansama i razinama kvalitete usluge VoIP razgovora. Nakon izvršene digitalizacije signala isti treba pravilno usmjeriti ka odredištu. Mrežni sloj OSI modela zadužen je za tu zadaću procesom paketizacije. Digitalizirani signal se smješta u sadržaj paketa (*payload*) a u zaglavlju paketa dobiva informacije o željenoj adresi. Postupak na odredišnoj strani je dijametralno suprotan, prvenstveno zbog potrebe za depaketizacijom a potom i vraćanje signala iz digitalnog u čovjeku razumljiv oblik. U nastavku su detaljnije opisane karakteristike kodeka za kompresiju govora u VoIP usluzi.

4.1 G.711

Danas najzastupljenija tehnika kodiranja u telefonskim mrežama je kodek G.711. Ova tehnika je standardizirana od strane ITU-T, i u upotrebi je od 1972. godine. Korištena u vrijeme dok je u telefonskoj tehnici bila zastupljena jedino komutacija kanala, ova kompresijska metoda i danas ima udio u sažimanju zapisa. Kodiranje signala se obavlja tako da frekvencija uzimanja uzoraka bude najmanje dvostruke veće frekvencije od maksimalne frekvencije signala koji se želi kodirati. U slučaju kodeka G.711 frekvencija uzimanja uzoraka je 8 kHz što znači da je maksimalna frekvencija modulacijskog signala 4 kHz. Nakon što se preuzme uzorak, postupak ove kompresijske metode jest da se on digitalizira pretvarajući ga u skup od 8 bita, tj. 8 simbola predstavljenih kombinacijom znamenaka 0 i 1. Jednostavnim se izračunom umnoška iz frekvencije uzimanja uzoraka koja iznosi 8 kHz i skupa od 8 bita za svaki uzorak dolazi do brzine od 64000 bit/s, tj. 64 kbit/s, a to je upravo brzina koja se koristila u klasičnoj javnoj telefonskoj mreži. G.711 je metoda kompresije govora. Ovaj kodek zasniva se na pulsno – kodnoj modulaciji (*Pulse – Code Modulation – PCM*) .

PCM se zasniva na tri ključne faze :

- uzimanje uzoraka
- kvantizacija
- kodiranje.

Kodek G.711 jest podijeljen na dva zakona korištena u ovisnosti od geografske lokacije. To su A zakon koji se koristi u Europi za potrebe PCM-a i μ zakon koji na upotrebu nailazi u PCM sustavima na američkom kontinentu.

Da se radi o kompleksnom kodeku, svjedoči i činjenica kako postoje dvije podrazine G.711, a to su G.711.0 i G.711.1. Kao što su ranije spomenute neke od mogućnosti kojima se kompresijske metode koriste, G.711.0 se temelji na sažimanju zapisa bez gubitka relevantnih informacija, a literatura [5] navodi kako je ovom nadogradnjom na postojeći kodek ostvareno i do 50% manje zauzeće postojećeg kanala. Dodatna poboljšanja dana su nadogradnjom G.711.1 čija upotreba karakterizira i VoIP sustave. G.711.1 zahtjeva propusnost 80 ili 96 kbit/s i smanjena su kašnjenja.

4.2 G.726

Iz ranije objašnjenog G.711 kodeka vidi se kako on konstantno preuzima uzorke koje potom konvertira pri čemu se oslanja na pulsno-kodnu modulaciju. Ne računajući nadogradnje G.711.0 i G.711.1 on svaki uzorak predstavlja kao skupinu od 8 bitova tako da dolazi i do nepotrebnog opterećenja kanala. Kodek G.726 ima upravo za cilj smanjiti količinu segmenata koje treba digitalizirati i potom distribuirati mrežom. Ukoliko prvi ulazni parametar iznosi vrijednost x , a vremenski odmaknut drugi parametar iznosi $x+1$, ranije spomenuti kodek G.711 izvršit će uzimanje oba uzorka i modulirati ih u oblik pogodan za prijenos medijem. Govor komprimiran kodekom G.726 izvršit će uzimanje prvog uzorka x , a umjesto cijelog drugog uzorka, na odredišnu stranu će poslati samo podatak o vrijednosti za koju se razlikuje u odnosu na prvi uzorak, u ovom slučaju broj 1. S obzirom da se ovakva metoda temelji na obradi podataka o diferencijalu, tj. razlici između uzoraka koje kodek obrađuje, naziva se diferencijalna impulsno – kodna modulacija (*Differential pulse – code modulation - DPCM*).

Bitno obilježje svakako je što se ne mora prenositi 8 bitova koji prezentiraju jedan odsječak izvornog signala, već taj broj varira s obzirom na razliku koju je potrebno prikazati. Potreba za propusnošću prometnog kanala se u velikoj mjeri smanjuje bez da se signal nepotrebno izobličuje. S obzirom da se zauzeće prometnog kanala smanjilo kompresijskim tehnikama koje koristi ovaj kodek, moguća je manja frekvencija uzimanja uzoraka kao i njihova obrada. Općenito može se reći kako je G.726 kodek standardiziran od strane ITU-T namijenjen kodiranju glasovnih poruka uz moguće protoke 16, 24, 32 i 40 kbit/s. Razlike među uzorcima može prikazati kao kombinacije 2, 3, 4 ili 5 bita. Najčešće korišten protok je 32 kbit/s, tj. kodiranje s 4 bita. S obzirom da diferencijalna impulsno – kodna modulacija nije adekvatna na velike razlike između odsječaka, treba implementirati mehanizam koji

će biti imun na takve oblike distrakcije. Rješenje ovakvih problema leži u adaptivnoj DPCM modulaciji, ADPCM (*Adaptive DPCM*).

S obzirom da se radi o adaptivnoj metodi, ona ima sposobnost regulacije razlike na temelju rezultata ulaznog signala kao i predviđanja potencijalnih skokovitih promjena s obzirom na prijašnje promjene. Bitna karakteristika je da za kodiranje razlike među uzorcima treba daleko manji broj bitova od potrebnih za kodiranje samih uzoraka. Time se propusni kanal rasterećuje, ali je i kvaliteta prijenosa niža. Ova tehnika prijenosa koristi se za prijenos glasovnih i video sadržaja. Ističući prednosti i nedostatke pulsno – kodne modulacije i adaptivne DPCM (ADPCM) valja istaknuti njihovo malo kašnjenje, a kao glavni nedostatak još uvijek visoko zauzeće prometnog kanala, [16].

4.3 Hibridni kodeci

Kao što i sam naziv govori, hibridni kodeci kombiniraju nekoliko izvora. Preuzimaju ulogu od kodera valnih oblika koji imaju izuzetnu kvalitetu zvuka i kodera izvora koji se nazivaju vokoderi. Vokoderi su u stanju prenositi govor razumljiv čovjeku na veoma niskim brzinama, no unatoč razumljivosti taj govor zvuči umjetno, sintetski. Vokoderi obavljaju prijenos na brzini od 2,4 kbit/s i primjenjuju samo dva stanja (zvuk ili tišina). Hibridni kodeci iz dva uzorka konstruiraju novi valni oblik govora na izlazu uz tendenciju da on izgleda što sličnije originalnom obliku govora na ulazu. Ova tehnika koja omogućuje konstrukciju signala iz valnog oblika govora i vokodera se naziva AbS (*Analysis by Synthesis*). AbS kodeci pojavljuju se i pod nazivom kodeci sa višeimpulsnom pobudom (*Multi – Pulse Excited* - MPE) kao i kodeci s filterom koji mijenja svoje karakteristike u ovisnosti o vremenu (*Code – Excited Linear Prediction* - CELP). Postoje i kodeci korišteni u GSM mreži (*Regular Pulse Excited* – RPE). Ukoliko se izlazni i ulazni signal previše razlikuju, parametri govora se podešavaju kako bi se stupanj sličnosti povišao. Tako podešeni parametri se kompariraju s vrijednostima iz knjige kodova (*codebook*) te nakon procesa usporedbe parametri se zamjenjuju pozicijom iz knjige kodova kako bi se smanjio obujam podataka koje je potrebno prenijeti. Kod hibridnih kodeka, kašnjenje je obrnute proporcionalnosti prijenosnoj brzini (*bit rate*). Postoji podatak da MPE i RPE kodeci ostvaruju dobru kvalitetu na 10 kbit/s dok CELP kodeci ostvaruju istu kvalitetu u rasponu 2,4 – 10 kbit/s, [17].

4.3.1 G.728

G.728 je CELP kodek. Ranije je spomenuto kako AbS tehnika koristi postojanje knjige s akustičnim vektorima pri čemu svaki sadrži skup elemenata, a oni su podloga za definiranje pobuda signala. G.728 je kodek stvoren od ITU-T, a

namijenjen je prijenosu uz što manja kašnjenja pa je on zapravo CELP kodek malih kašnjenja (*Low-Delay CELP – LD - CELP*). Koristeći ranije uzorke govora, koeficijente filtera određuje za 0,625 ms. Frekvencija uzimanja uzoraka je 8 kHz. Ovaj algoritam istovremeno obrađuje 5 uzoraka, a s obzirom na brzinu skeniranja odabiranje se obavlja svakih 0,125 ms. Iz podataka o učestalosti odabiranja i broja istovremenih obrada uzoraka dolazi se do ukupnog kašnjenja koje iznosi 0,625 ms što predstavlja tehničari teško osjetljivo, a čovjeku apsolutno neosjetljivo kašnjenje. Knjiga kodova sadrži 1024 vektora, a indeks svakog od vektora ima 10 bita. S obzirom da se uzorci uzimaju 8000 puta u sekundi, da se istovremeno obrađuje 5 uzoraka koji se predstavljaju sa 10 bita dolazi se do podatka da kodeku G.728 za rad treba propusnost od 16 kbit/s. Navedeni postupak funkcioniranja je u tehničkoj naravi vrlo kompleksan jer ga treba izvesti u veoma kratkim vremenskim intervalima pa bi VoIP terminalnim uređajima trebao vrlo brz procesor digitalnog signala (*Digital Signal Processor - DSP*), a to bi proporcionalno povisilo cijenu nabavke i održavanja uređaja, stoga ovaj kodek nije u velikom udjelu zastupljen u metodama kodiranja u VoIP tehnologiji. U usporedbi s kodekom G.711 ostvaruje loše rezultate, ali mu postepeno popularnost i upotreba rastu za video, mobilne i satelitske aplikacije pri čemu je u stanju ostvariti rezultate kvalitete glasa kao i kodek G.726 pri protoku 32 kbit/s koristeći samo pola prijenosnog kapaciteta, [16].

4.3.2 G.723.1

Kodek G.723.1 standardiziran od strane ITU-T kao algoritam za kompresiju govornih signala i namijenjen za implementaciju u videotelefoni. Ovaj kodek predstavlja mogućnost kompresije na dvije osnovne brzine 5,3 kbit/s i 6,4 kbit/s. Svaka od brzina ima svoj razlog postojanja kod ovog kodeka. Niža brzina omogućuje relativno dobru fleksibilnost, a viša brzina omogućuje bolju kvalitetu glasa. Kako bi se postigla implementacija obje brzine u radu kodeka, one se međusobno izmjenjuju svakih 30 ms. G.723.1 uzima uzorke brzinom 8000 puta u sekundi i formira PCM signal od 16 bita. Istovremeno radi s 240 uzoraka i to dovodi do kašnjenja od 30 ms. Literatura navodi kako se kašnjenje dodatno uvećava za 7,5 ms zbog nedostupnosti uzoraka koji trebaju biti prepoznati. Dodatna se kašnjenja uvode zbog procesiranja signala, prijenosa komunikacijskim medijem. Bitna karakteristika G.723.1 kodeka jest da ne zauzima propusni opseg ako je detektirana tišina, primjerice dok jedan sugovornik šuti i sluša uvođenjem 4 byte dugačkih paketa koji predstavljaju razdoblja tišine u govoru (*Silence Insertion Description - SID*). Primjenom navedenog mehanizma potiskivanja tišine u razgovoru omogućuje zauzeće od samo 1 kbit/s da bi istu prenio. Unatoč izvrsnom mehanizmu kvalitetnog a efikasnog prijenosa razdoblja tišine, ovaj kodek ostvaruje visoko kašnjenje u iznosu 37,5 ms što je u realnosti uvećano i za dodatna ostala postojeća kašnjenja, [16].

4.3.3 G.729

Kodek G.729 je standardiziran od strane ITU-T, a predstavlja algoritam za kodiranje govora brzinom od 8 kbit/s. Nakon što se analogni signal preko filtera preoblikuje u digitalan oblik kreće uzimanje uzoraka 8000 puta u sekundi. Svaki signal doveden na ulaz, mora biti pretvoren u 16-bitni pulsno – kodno modulirani signal.

Naveden postupak i način funkcioniranja kodeka G.729 je poprilično složen, a kako bi se kompleksnost smanjila, uvodi se nekoliko nadopuna, tj. aneksa. Oni nadopunjuju postojeći kodek G.729 na način da se neke od operacija izvršavaju na drugačiji, funkcionalniji način.

Kod aneksa A glavno smanjenje kompleksnosti se odnosi na pretraživanje kodne knjige prilikom pretrage vektora. Moguće je da koder ili dekodek ne rade nužno prema istoj preporuci, tj. moguće je da koder radi prema G.729, a dekodek prema G.729a, kao i obratan slučaj.

Aneks B kodeka G.729 implementira nove algoritme koji smanjuju kompleksnost i doprinose lakšem i kvalitetnijem prijenosu. Ova dopuna podrazumijeva ugradnju algoritma za detekciju aktivnosti govora (*Voice Activity Detection* - VAD), algoritam za diskontinuirani prijenos (*Discontinuous Transmission* - DTX) kao i algoritam za generiranje komfornog šuma (*Comfort Noise Generation* - CNG). Osnovna namjena ovih algoritama je smanjiti brzinu prijenosa u vrijeme dok se govor ne pojavljuje, tj. dok traje tišina. VAD algoritam određuje pojavljuje li se na ulazu govorni signal ili šum. Rezultat na izlazu VAD algoritma može biti 0 ako se pojavio šum ili 1 ako se pojavio govor. U slučaju da nema govora, tj. da se radi o razdoblju tišine, aktiviraju se algoritmi DTX i CNG. Prema strani odredišta se upućuju SID paketi koji posjeduju informacije o energiji šuma kako bi se ona zorno prezentirala odredišnom korisniku. Ušteda u kapacitetu jest što SID paketi G.729b imaju dužinu od 15 bita za razliku od 80 bita dugačkih paketa koji simboliziraju govor.

Aneks D za preporuku G.729 odnosi se na smanjenje prijenosne brzine u odnosu na taj izvorni kodek. Također koristi trajanje uzoraka od 10 ms, i šalje 64 bita po jednom paketu. Jednostavnim proračunom dolazi se do podatka da G.729d koristi brzinu od 6,4 kbit/s. Ova podvrsta algoritma jest dobra u uvjetima dok je razina šuma niska.

Aneks E jest u potpunoj suprotnosti u odnosu na Aneks D kodeka G.729. Kod aneksa D primarni cilj jest povećanje brzine prijenosa kako bi se veći uzorak ulaznih signala bio u mogućnosti obraditi. Do više brzine došlo je povećanjem duljine kodne knjige s 35 na 44 bita pa tako G.729e obavlja prijenos na 11,8 kbit/s, [16].

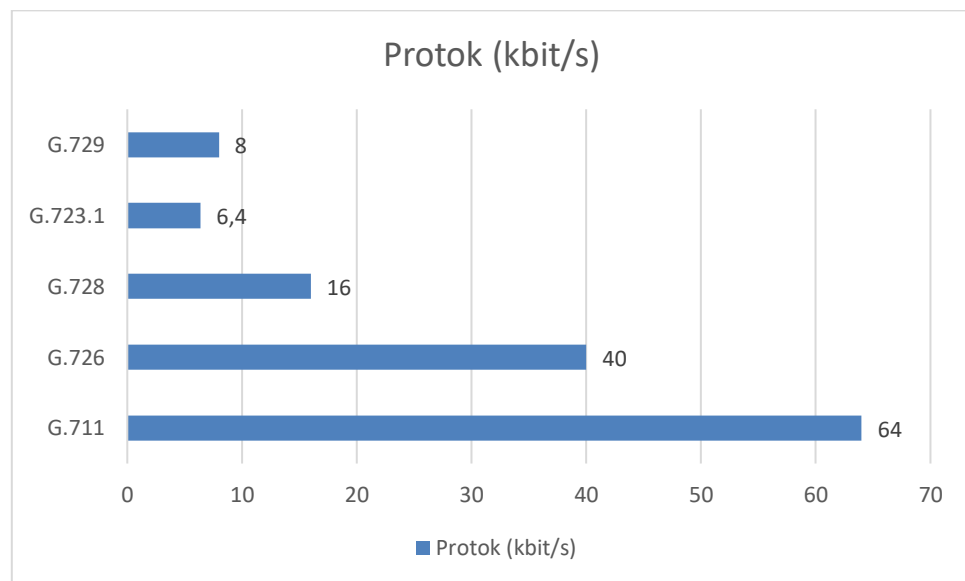
4.4. Usporedba protoka korištenih kodeka

Jedan od podataka koji determinira kodeke jest njihov protok. U tablici 1 su prikazani protoci za pojedini korišteni kodek.

Tablica 1. Analizirani kodeci i njihovi protoci

kodek	G.711	G.726	G.728	G.723.1	G.729
protok (kbit/s)	64	40	16	6,4	8

Protoci pojedinih kodeka prikazani su i grafički na slici 7:



Slika 7. Grafički prikaz protoka korištenih kodeka

Na slici 7 jest vidljivo kako kodek G.711 ima najveći protok koji iznosi 64 kbit/s. Isti protokol je u analizi pokazao najveće opterećenje prijenosnog kapaciteta ali i rezultira s najvećom kvalitetom usluge. Nadalje, kodek G.726 ima protok 40 kbit/s i u ovoj gradaciji zauzima drugo najveće mjesto nakon G.711. G.726 je i u analizi ostvarivao nešto manju prometnu opterećenost medija. Analizirajući i povlačeći paralelu s obzirom na ostale analizirane kodeke, G.728, G.729 ali i G.723.1 koji i u ovom prikazu ostvaruje najmanje performanse zaključuje se da su protok odabranog kodeka i opterećenost prijenosnog kapaciteta u uskoj vezi. Kodek koji je u stanju ostvariti veći protok isti će medij više opteretiti ali i pružiti veću kvalitetu usluge.

5.OPIS SKUPA PODATAKA KORIŠTENIH U ANALIZI

U prethodnom poglavlju 4 gdje su kodeci opisani vidljivo je kako rade na različitim brzinama, što je i grafički predočeno na slici 7. Analizu je potrebno provesti kako bi se prikazao izravan utjecaj brzine kodeka na prijenosni kapacitet. Upravo zbog činjenice da kodeci nemaju jednake brzine ostvaruju različita opterećenja prijenosnog kapaciteta, a to u konačnici rezultira različitim kvalitetama usluge za krajnjeg korisnika. Za potrebe analize korišten je dostupni VoIP *Bandwidth Calculator* koji radi na način da se unose ulazne vrijednosti potrebne za analizu, a nakon čega se dobiva izračun provedene analize.

Prijenosni kapacitet predstavlja maksimalni iznos brzine kojim informacije mogu biti distribuirane od izvorišta prema odredištu preko nekog medija. Mnogi su parametri koji određuju iznos prijenosnog kapaciteta poput odabrane kompresijske metode, upotrebe kontrolnih protokola, korištenje opcije detekcije tišine i ostali. Proporcionalno, veći prijenosni kapacitet omogućuje prijenos većeg broja informacija u istom vremenskom intervalu pa tako dolazi i do veće kvalitete usluge. U analizi ovog rada vidljivo će biti kako odabirom raznih kodeka ali i ostalih ulaznih vrijednosti dolazi do razlika u prijenosnim kapacitetima. Unatoč višoj kvaliteti usluge, veći prijenosni kapaciteti zauzimaju i veći broj resursa potrebnih za komunikaciju.

Vremenski interval uzimanja uzoraka predstavlja informaciju o vremenskom odsječku koji prođe između dva uzastopna prikupljanja i obrađivanja podataka. Ovaj podatak nije fiksni i može za različite kodeke poprimiti različite vrijednosti. U analizi za kodek G.711 korišten je interval 10 ms, 20 ms za kodeke G.726, G.728, G.729 te 30 ms za G.723.1. Proporcionalno, što je veći razmak između uzimanja uzoraka, broj okvira po jednom paketu mora biti veći.

Broj kanala jest parametar koji se izračunava koristeći kalkulator i Erlang-B tablice, a koje se temelje na Erlang-B modelu. Ovo je glavni element za dimenzioniranje sustava uz određenu razinu kvalitete usluge. Izračun broja kanala proveden je u analizi, a nemoguć je bez dva podatka o kojima ovisi, a to su ponuđeni promet u erlanzima i faktor odbijanja poziva. Za visoku razinu kvalitete usluge uzima se faktor odbijanja manji od 0,01, a promet je potrebno prije izračunati ili izmjeriti.

Promet je mjera zauzeća resursa u telekomunikacijskoj mreži. Mjerna jedinica koja se koristi na europskom području jest erlang, a za područje Sjeverne Amerike je to 100 poziv sekundi (*Centum Call Seconds – CCS*). Jedan erlang jest promet koji bi držao jedan poslužitelj potpuno zauzet za vrijeme jednog sata promatranja. Postoje ponuđeni, ostvareni i izgubljeni promet. Ponuđeni promet nije moguće realno izmjeriti ni izračunati, on se pretpostavlja, a ostvareni promet je moguće točno izmjeriti. Izgubljeni promet predstavljaju pozivi koji nisu ostvareni, tj. pozivi koji su blokirani, a ovisi o faktoru odbijanja poziva, [8]. Erlang-B formula je izraz koji povezuje faktor odbijanja poziva, ponuđeni promet i broj kanala.

$$pb = \frac{\frac{A^N}{N!}}{\sum_{X=0}^N \frac{A^X}{X!}} \quad (1)$$

Parametar A u formuli predstavlja ponuđeni promet, N predstavlja broj kanala, a pb predstavlja faktor odbijanja poziva.

Detekcija tišine mogućnost je prepoznavanja vremenskih perioda u razgovoru u kojima nema govora. Kako se ne bi prenosile informacije u kojima nema govora, na ta se mjesta odašilju posebni paketi koji zauzimaju veoma mali udio pojasnog prostora te se tom mogućnošću dolazi do rasterećenja te eventualnog oslobodjenja prijenosnog kapaciteta za druge, korisnije namijene poput prijenosa govora.

6.USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH ANALIZOM KODEKA

S obzirom da kodek predstavlja kompresijsku metodu, realno je očekivati da različiti kodeki ostvaruju različite učinke u VoIP tehnologiji. Zadaća kodeka jest pretvorba govornog signala u signal pogodan za prijenos kroz mrežu. Kao što je ranije prikazano, kodek analogni signal pretvara u digitalni. Prilikom te pretvorbe odvija se sažimanje kako bi ista količina govornog signala bila prenesena uz što manje prometno opterećenje. Najbitniji parametar u predstojećoj analizi je propusni kapacitet prema kojem je i izvršena komparacija nekoliko kompresijskih metoda (kodeka).

U analizi je korišten *VoIP Bandwith Calculator*, a sučelje kalkulatora vidljivo je na slici 8. Ova online – aplikacija sastoji se od dijela gdje se unose ulazni parametri i dijela gdje su prikazani izračunati rezultati za unesene ulazne parametre.

Parameters ¹		
<input type="radio"/> Payload is <input type="text" value="G.711 64kbps"/> with ² <input type="text" value="10"/> ms or <input type="text" value="80"/> frames ³ per packet.		
<input type="radio"/> RTP is <input type="text" value="RTP (RFC 3550)"/>		
<input type="radio"/> UDP		
<input type="radio"/> IP		
<input checked="" type="radio"/> Link <input type="text" value="ethernet 802.3"/>		
<input type="checkbox"/> Silence Suppression ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ <input type="text" value="35"/> channel(s) ⁶		

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay</i> ⁹	<i>Performance</i>
Average ⁷ : <input type="text" value="4592"/> kbps	Frame: <input type="text" value="0.125"/> ms	DSP MIPS ¹⁰ : <input type="text" value=".52"/>
Maximum ⁸ : <input type="text" value="4592"/> kbps	Lookahead: <input type="text" value="0"/> ms	MOS ¹¹ : <input type="text" value="4.3 - 4.7"/>
<i>Packet rate</i> ¹²	Algorithmic: <input type="text" value="10"/> ms	
Average: <input type="text" value="3675"/> pps		
Maximum: <input type="text" value="3675"/> pps		

Slika 8. Sučelje VoIP Bandwith Calculatora

U sekciji „Payload is“ odabire se kodek za koji je potrebno ispitati performanse, odnosno u ovom slučaju prijenosni kapacitet. Nadalje, moguće je unijeti ili vremenski interval uzimanja uzoraka ili broj okvira po paketu. Ovdje unosimo jedan od podataka a drugi se ispunjava sam u ovisnosti o karakteristikama odabranog kodeka (npr. za G.711 frekvencija uzimanja uzoraka je 8000 puta u 1 sekundi kao što je objašnjeno u odlomku 4.2). Kalkulator omogućuje odabir prijenosnog protokola kao i odabir protokola podatkovnog sloja OSI modela. Opcionalno je moguće koristiti i mogućnost kontrolnog protokola RTCP kao i mogućnosti detekcije tišine unutar

samog razgovora (*Sillence Suppression*). Posljednje polje za unos je obavezno a odnosi se na broj potrebnih kanala.

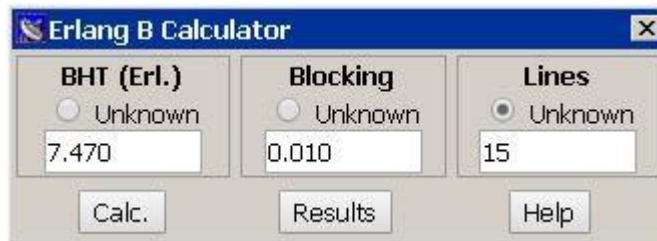
Analiza je provedena na primjeru skupine 20 prijatelja turista iz neke zemlje koji su smješteni unutar iste nekretnine i imaju mogućnost pristupa VoIP usluzi. Neki od korisnika uopće ne koriste tehnologiju, a neki je koriste više puta dnevno. Jasno je da u različitim dijelovima jednog dana postoji različita količina poziva koja se odvija. Dan je podijeljen u intervale 0-7 h, 7-11 h, 11-15 h, 15-19 h i 19-24 h. Kako bi se u analizi znalo odrediti potreban broj kanala da bi ovakva komunikacija bila moguća, neophodno je prvo odrediti promet koji se odvija. Da bi bilo moguće dimenzionirati sustav koji će biti dovoljan da faktor odbijanja poziva bude manji od 0,01 za cijeli period dana, treba uzeti u izračun podatak o vršnom opterećenju, a to je glavni prometni sat (GPS). Podatak koji se koristi pri izračunu prometa je i prosječno vrijeme trajanja poziva. Promet u erlanzima dobiva se tako da broj poziva nekog intervala bude pomnožen s prosječnim vremenom posluživanja u minutama te umnožak podijeljen s 60. Dobiveni kvocijent jest promet u erlanzima za taj interval.

Tablica 2. Prikaz prometnog opterećenja tijekom dana

Vremenski interval	Broj poziva u intervalu (n)	Prosječno vrijeme posluživanja (u minutama)	Promet (erlanzi)
00:00 – 07:00	3	32	1,6
07:00 – 11:00	9	14	2,1
11:00 – 14:00	16	28	7,47
14:00 – 19:00	5	12	1
19:00 -- 00:00	7	26	3,03

Podaci o količini poziva u ovisnosti o dobu dana proizvoljno su izmišljeni te prikazani u tablici 2. Vidljivo je kako u intervalu 11:00 – 14:00 h postoji najveće prometno opterećenje i iznosi 7,47 erlanga prometa. Ta će vrijednost biti iskorištena kao vršna vrijednost prometa, ona prema kojoj treba dimenzionirati sustav s mogućnošću podnošenja takvog opterećenja (ako podnosi to opterećenje, podnosi i svako drugo u danu).

Kako je želja dimenzionirati sustav koji ima faktor odbijanja poziva (pb) manji od 0,01, a postoji izračunata vrijednost vršnog prometnog opterećenja, potrebno je izračunati potreban broj kanala koji će kasnije biti korišten u komparaciji kodeka. Za tu namjenu korišten je Erlang-B kalulator kao što je prikazano na slici 9.



Slika 9. Sučelje Erlang B kalkulatora

Za unesene ulazne vrijednosti u iznosu od 7,47 erlanga za prometno opterećenje i faktor odbijanja poziva 0,01, izlazna vrijednost je 15 a prikazuje broj minimalno potrebnih kanala kako bi komunikacijski sustav bio održiv u zadanim uvjetima prometnog opterećenja. Iznos izračunat i prikazan na slici 9 korišten je u daljnjem postupku analize.

Analiza je provedena nad ranije objašnjenim kodecima, G.711, G.726, G.728, G.723.1 i G.729. Kako korištena aplikacija VoIP Bandwith Calculator omogućuje izračun prijenosnog kapaciteta uz neke dodatne opcije, analiza će biti provedena s prisutnošću i odsutnošću nekih od njih. Za sve primjere bit će uključen kontrolni protokol RTCP. Svi su protokoli analizirani na bazi 15 potrebnih kanala za raniji primjer, a protokol podatkovnog sloja koji je korišten je ethernet 802.3. Jedine razlike između analiziranih kodeka su u brzini uzimanja uzoraka. Izračun za svaki od kodeka je argumentiran i grafički prikazan.

G.711 kodek analiziran je s ulaznom vrijednošću frekvencije uzimanja uzoraka od 10 ms. Na podatkovnom sloju odabran je ethernet 802.3 i uključen je kontrolni protokol RTCP. Kao i kod svih, zadana vrijednost potrebnih kanala je 15, a u ovoj analizi je isključena detekcija tišine.

Parameters ¹		
<input type="radio"/> Payload is G.711 64kbps with ² 10 ms or 80 frames ³ per packet.		
<input type="radio"/> RTP is RTP (RFC 3550)		
<input type="radio"/> UDP		
<input type="radio"/> IP		
<input checked="" type="radio"/> Link ethernet 802.3		
<input type="checkbox"/> Silence Suppression ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ 15 channel(s) ⁶		

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay⁹</i>	<i>Performance</i>
Average ⁷ : 1968 kbps	Frame: 0.125 ms	DSP MIPS ¹⁰ : .52
Maximum ⁸ : 1968 kbps	Lookahead: 0 ms	MOS ¹¹ : 4.3 - 4.7
<i>Packet rate¹²</i>	Algorithmic: 10 ms	
Average: 1575 pps		
Maximum: 1575 pps		

Slika 10. Rezultati analize G.711 bez detekcije tišine

Iz dijela s izlaznim parametrima aplikacije vidljivo je na slici 10 kako je u zadanim uvjetima potrebno minimalno 1968 kbit/s kako bi se mogla održati i odvijati komunikacija upotrebom G.711 kodeka bez detekcije tišine.

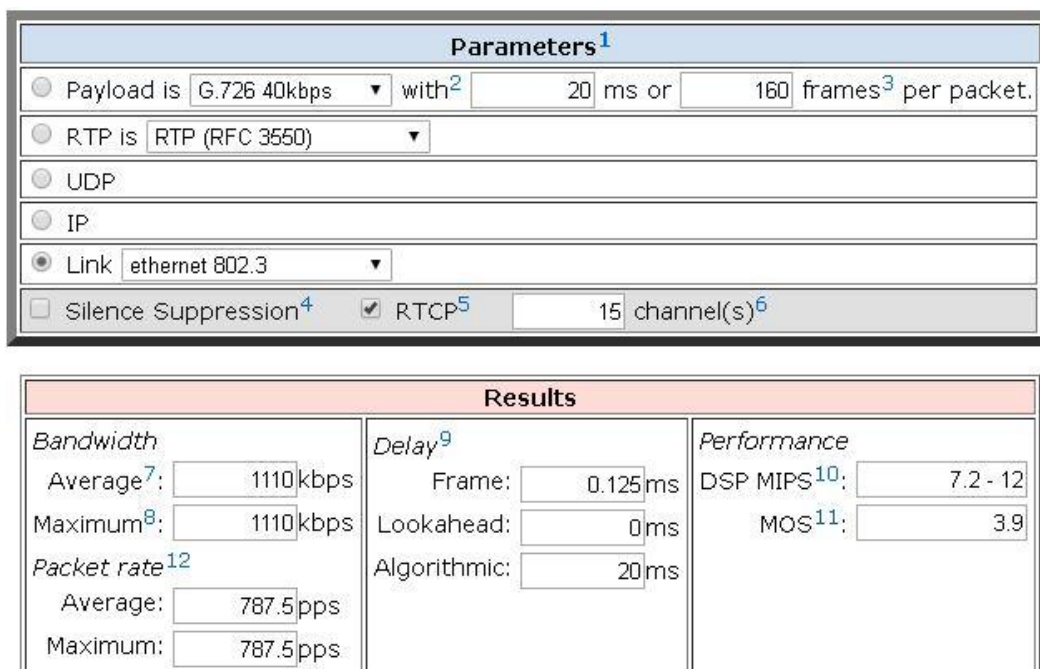
Parameters ¹		
<input type="radio"/>	Payload is	G.711 64kbps ▼ with ² <input type="text" value="10"/> ms or <input type="text" value="80"/> frames ³ per packet.
<input type="radio"/>	RTP is	RTP (RFC 3550) ▼
<input type="radio"/>	UDP	
<input type="radio"/>	IP	
<input checked="" type="radio"/>	Link	ethernet 802.3 ▼
<input checked="" type="checkbox"/>	Silence Suppression ⁴	<input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ <input type="text" value="15"/> channel(s) ⁶

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay⁹</i>	<i>Performance</i>
Average ⁷ : <input type="text" value="984"/> kbps	Frame: <input type="text" value="0.125"/> ms	DSP MIPS ¹⁰ : <input type="text" value=".52"/>
Maximum ⁸ : <input type="text" value="1968"/> kbps	Lookahead: <input type="text" value="0"/> ms	MOS ¹¹ : <input type="text" value="4.3 - 4.7"/>
<i>Packet rate¹²</i>	Algorithmic: <input type="text" value="10"/> ms	
Average: <input type="text" value="787.5"/> pps		
Maximum: <input type="text" value="1575"/> pps		

Slika 11. Rezultati analize G.711 s detekcijom tišine

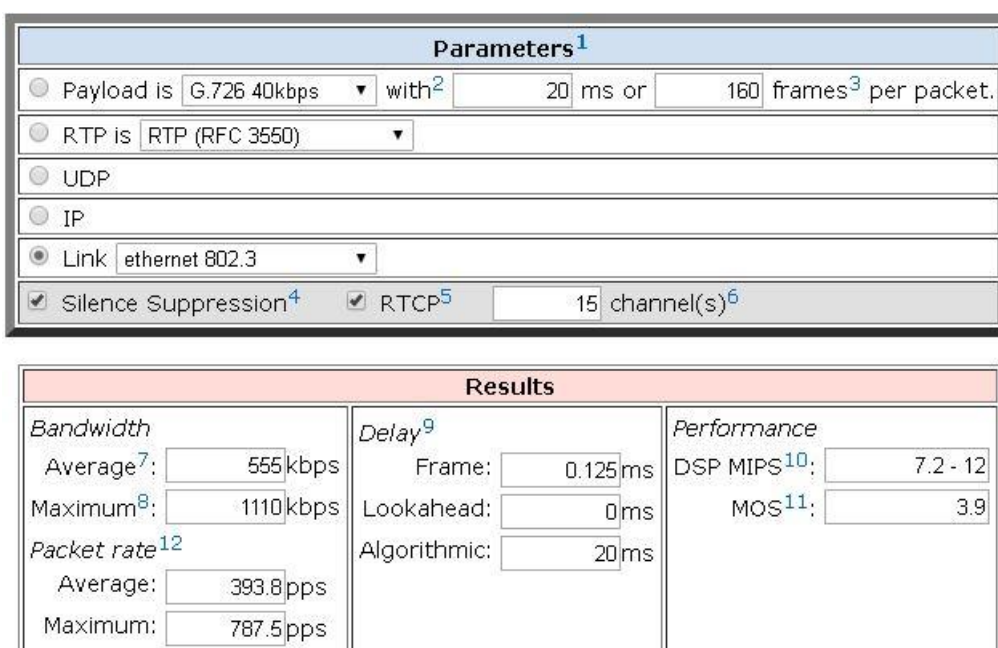
Ukoliko se promotri rezultate analize u kojoj je pristuna detekcija tišine na slici 11, tada je vidljivo kako potreban kapacitet linka iznosi 984 kbit/s. Ova vrijednost rezultata uz detekciju tišine iznosi 50% kapaciteta potrebnog bez detekcije tišine, a u uputama na stranici korištenog kalkulatora je naveden podatak da ovisno o mnogim parametrima vrijednost o potrebnom kapacitetu uz detekciju tišine može varirati 30%-80%.

U analizi kodeka G.726 odabran je primjer onoga s protokom 40 kbit/s. Analiza je provedena na temelju ulaznih parametara za vremenski interval uzimanja uzoraka u iznosu od 20 ms, prisutnost kontrolnog protokola RTCP i potrebnih 15 kanala. Slijedi prikaz analize provedene za protokol ethernet 802.3 u uvjetima s detekcijom tišine i bez iste.



Slika 12. Rezultati analize G.726 bez detekcije tišine

Iz očitanih rezultata vidljivih na slici 12 uočava se kako kodek G.726 zahtijeva 1110 kbit/s prijenosnog kapaciteta za ostvarenje i održavanje komunikacijske usluge u zadanim uvjetima. Na temelju dosad urađenih analiza, vidljivo je kako je potreban kapacitet za G.726 bez detekcije tišine manji u odnosu na potreban kapacitet za G.721 u istim uvjetima, a blago veći u odnosu na potreban kapacitet kod G.721 s detekcijom tišine.



Slika 13. Rezultati analize G.726 s detekcijom tišine

Nadalje, u istim uvjetima provedena je i analiza ovog kodeka s detekcijom tišine, a na slici 13 može se vidjeti da prijenosni kapacitet izlučen analizom jest 555 kbit/s. Ovo je poprilična razlika u potrebi za prijenosnim kapacitetom u odnosu na G.711 s detekcijom, a pogotovo bez detekcije tišine. Nadalje će u radu biti vidljivo koji su sve učinci ovakvih rezultata na kvalitetu govorne usluge.

Kodek G.728 namijenjen je prijenosu uz što manja kašnjenja. Uzeta ulazna vrijednost vremenskog intervala uzimanja uzoraka jest 20ms uz kontrolni protokol RTCP i zadanih 15 potrebnih kanala.

Parameters ¹		
<input type="radio"/>	Payload is	G.728 16kbps with ² 20 ms or 32 frames ³ per packet.
<input type="radio"/>	RTP is	RTP (RFC 3550)
<input type="radio"/>	UDP	
<input type="radio"/>	IP	
<input checked="" type="radio"/>	Link	ethernet 802.3
<input type="checkbox"/>	Silence Suppression ⁴	<input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ 15 channel(s) ⁶

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay⁹</i>	<i>Performance</i>
Average ⁷ :	Frame:	DSP MIPS ¹⁰ :
Maximum ⁸ :	Lookahead:	MOS ¹¹ :
<i>Packet rate¹²</i>	Algorithmic:	
Average:		
Maximum:		

Slika 14. Rezultati analize kodeka G.728 bez detekcije tišine

U uvjetima testiranja bez detekcije tišine, a u ovisnosti o ranije spomenutim zadanim parametrima, slika 14 prikazuje kako kodek G.728 zahtijeva manju pojasnu širinu u odnosu na kodek G.726 i više no dvostruko manju potrebnu pojasnu širinu u odnosu na kodek G.721. Koristeći isti kodek uz mogućnost detekcije tišine kao na slici 15 vidljivo je da kodek G.728 zahtijeva tek 366 kbit/s.

Parameters ¹	
<input type="radio"/> Payload is	G.728 16kbps with ² 20 ms or 32 frames ³ per packet.
<input type="radio"/> RTP is	RTP (RFC 3550)
<input type="radio"/> UDP	
<input type="radio"/> IP	
<input checked="" type="radio"/> Link	ethernet 802.3
<input checked="" type="checkbox"/> Silence Suppression ⁴	<input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ 15 channel(s) ⁶

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay⁹</i>	<i>Performance</i>
Average ⁷ : 366 kbps	Frame: 0.625 ms	DSP MIPS ¹⁰ : 16 - 35
Maximum ⁸ : 732 kbps	Lookahead: 0 ms	MOS ¹¹ : 3.7 - 4.3
<i>Packet rate¹²</i>	Algorithmic: 20 ms	
Average: 393.8 pps		
Maximum: 787.5 pps		

Slika 15. Rezultati analize kodeka G.728 s detekcijom tišine

G.723.1 je kodek koji dolazi u izdanjima s dvije osnovne brzine, 5,3 kbit/s i 6,4 kbit/s. S obzirom da viša brzina omogućuje veću kvalitetu glasa, a cilj je dimenzionirati sustave za što veću kvalitetu usluge uz što manje potrebe za resursima, bit će uzeta u obzir u analizi. Specifičnost kod ovog kodeka je što za ulaznu vrijednost vremenskog intervala uzimanja uzoraka mora biti određena vrijednost 30ms. Kao i ranije, analiza se odvija za potrebnih 15 kanala uz prisustvo kontrolnog protokola RTCP.

Parameters ¹	
<input type="radio"/> Payload is	G.723.1 6.4kbps with ² 30 ms or 1 frames ³ per packet.
<input type="radio"/> RTP is	RTP (RFC 3550)
<input type="radio"/> UDP	
<input type="radio"/> IP	
<input checked="" type="radio"/> Link	ethernet 802.3
<input type="checkbox"/> Silence Suppression ⁴	<input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ 15 channel(s) ⁶

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay⁹</i>	<i>Performance</i>
Average ⁷ : 420.8 kbps	Frame: 30 ms	DSP MIPS ¹⁰ : 16.9
Maximum ⁸ : 420.8 kbps	Lookahead: 7.5 ms	MOS ¹¹ : 3.8 - 4.0
<i>Packet rate¹²</i>	Algorithmic: 37.5 ms	
Average: 525 pps		
Maximum: 525 pps		

Slika 16. Rezultati analize kodeka G.723.1 bez detekcije tišine

U analizi provedenoj za kodek G.723.1 rezultat izračuna potrebnog prijenosnog kapaciteta iznosi 420.8 kbit/s za uslugu bez detekcije tišine što je i prikazano na slici 16. To je mnogo manja zahtjevnost od svih ranije analiziranih kodeka, a realno je očekivati i da bi rezultat bio dodatno umanjen da je u ulaznu obzir uzeta brzina 5.3 kbit/s umjesto uzete vrijednosti od 6.4 kbit/s. Slijedi analiza istog kodeka u uvjetima s detekcijom tišine.

Parameters ¹		
<input type="radio"/> Payload is G.723.1 6.4kbps with ² <input type="text" value="30"/> ms or <input type="text" value="1"/> frames ³ per packet.		
<input type="radio"/> RTP is RTP (RFC 3550)		
<input type="radio"/> UDP		
<input type="radio"/> IP		
<input checked="" type="radio"/> Link ethernet 802.3		
<input checked="" type="checkbox"/> Silence Suppression ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ <input type="text" value="15"/> channel(s) ⁶		

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay⁹</i>	<i>Performance</i>
Average ⁷ : <input type="text" value="210.4"/> kbps	Frame: <input type="text" value="30"/> ms	DSP MIPS ¹⁰ : <input type="text" value="16.9"/>
Maximum ⁸ : <input type="text" value="420.8"/> kbps	Lookahead: <input type="text" value="7.5"/> ms	MOS ¹¹ : <input type="text" value="3.8 - 4.0"/>
<i>Packet rate¹²</i>	Algorithmic: <input type="text" value="37.5"/> ms	
Average: <input type="text" value="262.5"/> pps		
Maximum: <input type="text" value="525"/> pps		

Slika 17. Rezultati analize kodeka G.723.1 s detekcijom tišine

Ukoliko se u VoIP tehnologiji iz zadanog primjera implementira kodek G.723.1 uz opciju detekcije vremena u kojem nema razgovora i protok 6.4 kbit/s kao što je prikazano na slici 17 potreban će biti odista mali prijenosni kapacitet u iznosu od 210.4 kbit/s. U odnosu na sve ranije analizirane kombinacije kodeka, ovo je uvjerljivo najmanja potreba za širinom pojasnog kapaciteta.

Posljednji analizirani kodek u ovom radu jest G.729.

Parameters ¹		
<input type="radio"/> Payload is G.729 8kbps with ² <input type="text" value="20"/> ms or <input type="text" value="2"/> frames ³ per packet.		
<input type="radio"/> RTP is RTP (RFC 3550)		
<input type="radio"/> UDP		
<input type="radio"/> IP		
<input checked="" type="radio"/> Link ethernet 802.3		
<input type="checkbox"/> Silence Suppression ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ <input type="text" value="15"/> channel(s) ⁶		

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay</i> ⁹	<i>Performance</i>
Average ⁷ : <input type="text" value="606"/> kbps	Frame: <input type="text" value="10"/> ms	DSP MIPS ¹⁰ : <input type="text" value="20 - 25"/>
Maximum ⁸ : <input type="text" value="606"/> kbps	Lookahead: <input type="text" value="5"/> ms	MOS ¹¹ : <input type="text" value="3.9 - 4.2"/>
<i>Packet rate</i> ¹²	Algorithmic: <input type="text" value="25"/> ms	
Average: <input type="text" value="787.5"/> pps		
Maximum: <input type="text" value="787.5"/> pps		

Slika 18. Rezultati analize kodeka G.729 bez detekcije tišine

Analiza je obavljena na temelju ulaznih parametara vezanih uz vremenski interval uzimanja uzoraka koji iznosi 20ms, protokol podatkovnog sloja je ethernet 802.3 uz postojanje kontrolnog RTCP protokola i 15 potrebnih kanala. Izlazni parametar koji govori o potrebnom prijenosnom kapacitetu iznosi 606 kbit/s, a to prikazuje slika 18. Ovim rezultatom kodek G.729 zahtijeva manji prijenosni kapacitet u odnosu na kodeke G.721, G.726 i G.728, a nešto veći u odnosu na kodek G.723.1. Svi rezultati usporedbe bit će prikazani u grafikonu.

Isti kodek analiziran je i uz opciju detekcije tišine. VoIP *Bandwidth Calculator* prikazuje izlazni rezultat o potrebnom prijenosnom kapacitetu u iznosu od 303 kbit/s.

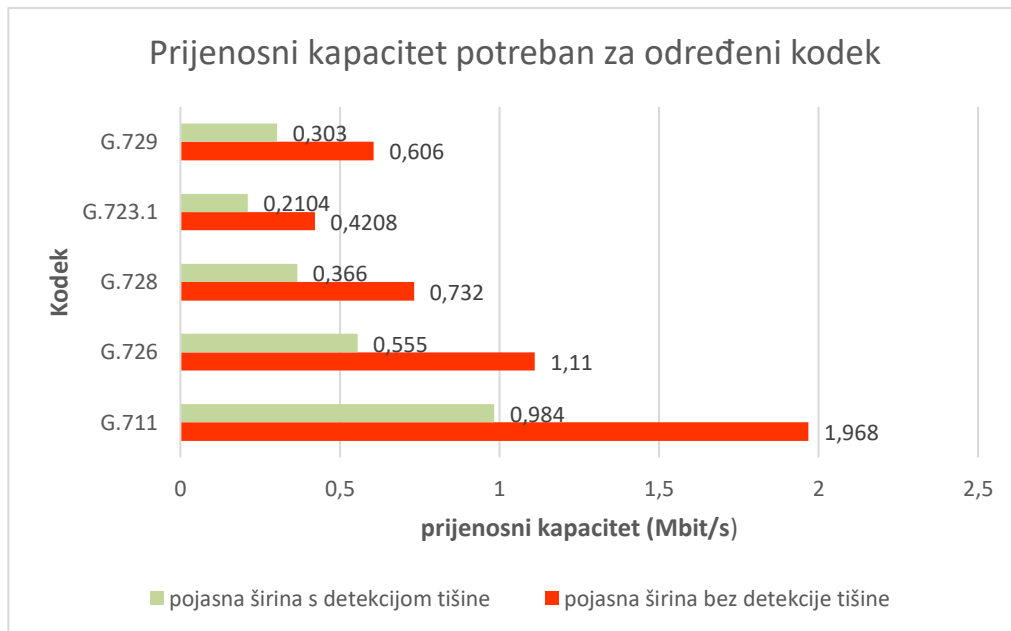
Parameters ¹		
<input type="radio"/> Payload is G.729 8kbps with ² <input type="text" value="20"/> ms or <input type="text" value="2"/> frames ³ per packet.		
<input type="radio"/> RTP is RTP (RFC 3550)		
<input type="radio"/> UDP		
<input type="radio"/> IP		
<input checked="" type="radio"/> Link ethernet 802.3		
<input checked="" type="checkbox"/> Silence Suppression ⁴ <input checked="" type="checkbox"/> RTCP ⁵ <input type="text" value="15"/> channel(s) ⁶		

Results		
<i>Bandwidth</i>	<i>Delay</i> ⁹	<i>Performance</i>
Average ⁷ : <input type="text" value="303"/> kbps	Frame: <input type="text" value="10"/> ms	DSP MIPS ¹⁰ : <input type="text" value="20 - 25"/>
Maximum ⁸ : <input type="text" value="606"/> kbps	Lookahead: <input type="text" value="5"/> ms	MOS ¹¹ : <input type="text" value="3.9 - 4.2"/>
<i>Packet rate</i> ¹²	Algorithmic: <input type="text" value="25"/> ms	
Average: <input type="text" value="393.8"/> pps		
Maximum: <input type="text" value="787.5"/> pps		

Slika 19. Rezultati analize kodeka G.729 s detekcijom tišine

Ukoliko se gledaju samo rezultati analize provedene uz detekciju tišine, a prikazane na slici 19, kodek G.729 ostvaruje manje zauzeće i zahtjeve u odnosu na kodeke G.721, G.726, G.728, ali nešto veće zahtjeve u odnosu na kodek G.723.1.

U sljedećim grafičkim prikazima zornije su prikazane razlike u zauzećima pojasnog prostora kod pojedinog kodeka. Rezultati iz analize su radi preglednosti i jasnoće iz mjere kbit/s pretvoreni u mjeru Mbit/s.



Slika 20. Grafički prikaz rezultata analize svih kodeka

U konačnici, grafikon na slici 20 prikazuje kako uvjerljivo najviše prijenosnog kapaciteta u VoIP usluzi zahtjeva kodek G.711, a to je u slučaju ovog primjera iznosilo 1,968 mbit/s. Gotovo dvostruko manju potrebu za prijenosnim kapacitetom postavlja implementacija kodeka G.726, te u ovom slučaju iznosi 1,11 mbit/s. Nadalje G.728 ostvaruje 0,732 mbit/s, G.729 neznatno manjih 0,606 mbit/s, a najmanji prijenosni kapacitet zahtijeva kodek G.723.1. Rezultati dobiveni u analizi istih kodeka ali uz opciju detekcije tišine daju rezultate točno dvostruko manjih iznosa u odnosu na zauzeća bez spomenute opcije. Redom to su zauzeća od 0,984 mbit/s za kodek G.711, 0,555 mbit/s za G.726, 0,366 mbit/s za G.728, 0,303 mbit/s za G.728 i ponovno najmanjih 0,21 mbit/s za G.723.1.

7.ZAKLJUČAK

Prijenos govora i videa putem suvremenih mreža zasnovanih na IP protokolu i komutaciji paketa sve više zauzima udio u sveukupnim komunikacijama. VoIP ima neosporne prednosti naspram starijih tehnologija, prvenstveno zbog cijene same usluge koja može biti naplaćena gotovo zanemarivo u odnosu na usluge klasične telefonije, pogotovo u slučaju međunarodnih poziva.

VoIP tehnologija zahtjeva određene elemente kako bi bila funkcionalna. Nemoguća bi komunikacija bila bez niza poslužitelja, prespojnika, kontrolera poziva te u konačnici i korisničkih terminala. VoIP usluge se mogu realizirati koristeći IP telefone ili osobna računala, uz mogućnost komunikacije korisnika s navedenih terminalima prema korisnicima s klasičnim telefonima. Uz VoIP su značajno povećane mogućnosti komunikacije različitih tipova korisnika.

Elementi mreže trebaju rješenja koja obavljaju nadzor i upravljanje istima. Protokoli kao striktno procedure obavljaju razne funkcije vezane uz proces komunikacije. Protokoli su neizostavna komponenta VoIP komunikacije bez koje ne bi bilo moguće realizirati signalizaciju poziva, prijenos informacija, kontrolu odvijanja komunikacijskog procesa te opis sesija. Oni su osnova koja definira funkcije komponenti.

Da bi govor bilo moguće prenijeti komunikacijskim kanalom potrebno ga je prvo pretvoriti u digitalan oblik procesom kodiranja koji se zasniva na pulsno – kodnoj modulaciji. VoIP tehnologija nema fiksne učinke, odnosno uvijek ista opterećenja prijenosnog medija, kvalitetu usluge ili protok. To ovisi o odabranom kodeku koji obavlja kodiranje i dekodiranje signala. Svaki od kodeka ima specifične karakteristike korisne u određenim situacijama. Današnje tablice i kalkulatori zasnivaju se na Erlang-B modelu. Uzevši u obzir faktor odbijanja poziva manji od 0,01 i najčešće korištene kodeke u VoIP-u, analiza ovog rada pokazala je kodek G.711 najpogodnijim. Kako su kodeci analizirani u istim uvjetima, zaključuje se da kodek G.711 ostvaruje najveće zauzeće prometnog medija, ali i najbolje rezultate zbog najvećeg protoka koji iznosi 64 kbit/s.

VoIP tehnologija je u sveukupnim telekomunikacijama još uvijek zastupljena u malim udjelima. Predstavlja efikasno rješenje za komunikacijske potrebe unutar poslovnih poduzeća ali i privatne komunikacije. Iz razloga jednostavnosti, a obzirom da se tehnologiji može pristupiti raznim oblicima pristupnih uređaja i po znatno manjem financijskom opterećenju, ova tehnologija predstavlja osnovu budućih telekomunikacija. Tendencija svih dionika na telekomunikacijskom tržištu će biti postupan prelazak na VoIP zbog zahtjeva za znatno višim stupnjem komunikacijske usluge koju ova tehnologija omogućuje.

LITERATURA

- [1] CARNet Cert: *Sigurnosni aspekti VoIP tehnologije*, CARNet, Zagreb, 2006.
(<https://www.cis.hr/www.edicija/LinkedDocuments/CCERT-PUBDOC-2006-03-151.pdf>) (kolovoz 2018.)
- [2] Ericsson Nikola Tesla: *Revija – Prijenos govora IP mrežama*, Ericsson, Zagreb, 2001.
(https://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2001/prijenos_govora.htm) (kolovoz 2018.)
- [3] Rakesh A.: *Voice over IP : Protocols and Standards*, 1999.
(https://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/voip_protocols.pdf) (kolovoz 2018.)
- [4] Mrvelj, Š.: *Predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa 1;* Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2009.
(http://e-student.fpz.hr/Predmeti/T/Tehnologija_telekomunikacijskog_prometa/Materijali/10predavanje.pdf) (kolovoz 2018.)
- [5] Voip Think.: *G.711 codec process*.
(<http://www.voipthink.com/codec/codecs-g711-alaw.php>) (kolovoz 2018.)
- [6] Tutorialspoint.: *SIP – Network Elements*.
(https://www.tutorialspoint.com/session_initiation_protocol/session_initiation_protocol_network_elements.htm) (kolovoz 2018.)
- [7] Ques10.: *List and explain all five RTCP Messages Types*.
(<http://www.ques10.com/p/11065/list-and-explain-all-five-rtcp-messages-types-1/>) (kolovoz 2018.)

[8] Mrvelj, Š., Matulin, M.: *Predavanja iz kolegija Osnove tehnologije prometa: modul: tehnologija telekomunikacijskog prometa*, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2010.

([http://e-student.fpz.hr/Predmeti/O/Osnove tehnologije prometa/Materijali/Zadaci s vjezbi iz modula Tehnologija TK prometa.pdf](http://e-student.fpz.hr/Predmeti/O/Osnove_tehnologije_prometa/Materijali/Zadaci_s_vjezbi_iz_modula_Tehnologija_TK_prometa.pdf)) (kolovoz 2018.)

[9] Networking Reviews.: *IP tutorial*, 2012.

(<https://www.networkingreviews.com/category/ip-telephony-and-voip/>) (kolovoz 2018.)

[10] Crearcrear.: *Configurar tu cuenta Skype*, 2013.

(<http://www.crearcrear.com/configurar-tu-cuenta-skype/>) (kolovoz 2018.)

[11] SlidePlayer.: *VoIP*.

(<https://slideplayer.com/slide/12393661/>) (kolovoz 2018.)

[12] Cisco.: *Cisco IP Phone 7905G for H.323 Overview*.

(https://www.cisco.com/en/US/docs/voice_ip_comm/cuipph/7905g_7912g/3_3/h323/english/administration/guide/7905ovr.html) (kolovoz 2018.)

[13] Centrex or PBX.: *SIP Architecture*, 2011.

(<https://centrexorpbx.blogspot.com/2011/09/>) (kolovoz 2018.)

[14] Tutorialspoint.: *Pulse – code modulation*.

(https://www.tutorialspoint.com/digital_communication/digital_communication_pulse_code_modulation.htm) (kolovoz 2018.)

[15] Cisco.: *Configuring RSVP*.

(https://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/qos/configuration/guide/fqos_c/qcfrs_vp.pdf) (kolovoz 2018.)

[16] Vocal.: *Complete Design Solutions VoIP Voice Video Fax Data*.

(<https://www.vocal.com/speech-coders/>) (kolovoz 2018.)

[17] Mohamed, S.: *Hybrid Codecs Video Fax Dana*, Irisa.

(<http://www.irisa.fr/armor/lesmembres/Mohamed/Thesis/node124.html>) (kolovoz 2018.)

POPIS KRATICA

IP	(Internet Protocol) Internet protokol
VoIP	(Voice over IP) govor ili videorazgovor putem IP protokola
PSTN	(Public Switched Telephone Network) javna komutirana telefonska mreža
PC	(Personal Computer) osobno računalo
ISDN	(Integrated Services Digital Network) digitalna mreža integriranih usluga
OSI	(Open Systems Interconnection model) konceptualni model arhitekture mreže
SS7	(Signaling System 7) signalizacijski sustav 7
SIP	(Session Initiation Protocol) signalizacijski protokol u VoIP-u
ITU	(International Telecommunications Union) međunarodna telekomunikacijska unija
RAS	(Registration, Admission and Status)
IETF	(Internet Engineering Task Force) neformalna organizacija za Internet standarde
HTTP	(Hypertext Transfer Protocol) protokol za pristup informacijama putem web sučelja
RTP	(Real Time Transport Protocol) protokol za stvarnovremenski prijenos
ACK	(Acknowledgment) potvrda o otvaranju sesije
UA	(User Agent) korisnički agent
UAC	(User Agent Client) korisnički agent u ulozi klijenta
UAS	(User Agent Server) korisnički agent u ulozi poslužitelja
SDP	(Session Description Protocol) protokol opisa sesije
MGCP	(Media Gateways Control Protocol) protokol nadzora prespojnika
RTSP	(Real Time Streaming Protocol) protokol nadzora isporuke podataka
UDP	(User Datagram Protocol) protokol prijenosa bez kontrole isporuke
TCP	(Transmission Control Protocol) protokol prijenosa s kontrolom isporuke
RTCP	(Real Time Control Protocol) kontrolni protokol u VoIP-u
RSVP	(Resource Reservation Protocol) protokol rezervacije resursa
QoS	(Quality of Service) razina kvalitete usluge
PCM	(Pulse – Code Modulation) pulsno – kodna modulacija
DPCM	(Differential pulse – code modulation) diferencijalna pulsno – kodna modulacija
ADPCM	(Adaptive DPCM) adaptivna pulsno – kodna modulacija
AbS	(Analysis by Synthesis) konstrukcija signala iz valnog oblika i vokodera
MPE	(Multi – Pulse Excited) višeimpulsna pobuda
CELP	(Code – Excited Linear Predicion) funkcionalno vremenski ovisni kodeci
LD-CELP	(Low – Delay CELP) CELP kodek malih kašnjenja
DSP	(Digital Signal Processor) procesor digitalnog signala

SID	(Silence Insertion Description) paketi emitirani umjesto prijenosa tišine
VAD	(Voice Activity Detection) detekcija aktivnosti govora
DTX	(Discontinuous Transmission) algoritam za diskontinuirani prijenos
CNG	(Comfort Noise Generation) generiranje komfornog šuma
GPS	glavni prometni sat
CCS	(Centum Call Seconds) 100 poziv sekundi
MCU	(Multi – point Control Unit) jedinica za kontrolu više konferencijskih točaka

POPIS SLIKA

Slika 1. Pojednostavljeni prikaz VoIP veze u mreži, [9].....	3
Slika 2. Sučelje programa Skype, [10].....	5
Slika 3. Funkcioniranje VoIP-a između raznorodnih tehnologija, [11].....	6
Slika 4. Primjer H.323 mrežne arhitekture, [12].....	9
Slika 5. Princip rada SIP protokola, [13].....	12
Slika 6. Pulsno – kodna modulacija, [14].....	17
Slika 7. Grafički prikaz protoka korištenih kodeka.....	23
Slika 8. Sučelje VoIP Bandwith Calculatora.....	26
Slika 9. Sučelje Erlang B kalkulatora.....	28
Slika 10. Rezultati analize G.711 bez detekcije tišine.....	28
Slika 11. Rezultati analize G.711 s detekcijom tišine.....	29
Slika 12. Rezultati analize G.726 bez detekcije tišine.....	30
Slika 13. Rezultati analize G.726 s detekcijom tišine.....	30
Slika 14. Rezultati analize kodeka G.728 bez detekcije tišine.....	31
Slika 15. Rezultati analize kodeka G.728 s detekcijom tišine.....	32
Slika 16. Rezultati analize kodeka G.723.1 bez detekcije tišine.....	32
Slika 17. Rezultati analize kodeka G.723.1 s detekcijom tišine.....	33
Slika 18. Rezultati analize kodeka G.729 bez detekcije tišine.....	34
Slika 19. Rezultati analize kodeka G.729 s detekcijom tišine.....	35
Slika 20. Grafički prikaz rezultata analize svih kodeka.....	36

POPIS TABLICA

Tablica 1. Analizirani kodeci i njihovi protoci.....	23
Tablica 2. Prikaz prometnog opterećenja tijekom dana	27



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ završni rad
isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na
objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz
necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj
visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ završnog rada
pod naslovom **Analiza utjecaja različitih metoda kompresije govora na prijenosni
kapacitet za uslugu VoIP**

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

U Zagrebu, 7.9.2018

Student/ica:

Čulibrn G

(potpis)