

Izrada kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP u MS Excel programskom okruženju

Kralj, Franjo

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:119:588100>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Franjo Kralj

IZRADA KALKULATORA ZA PRORAČUN
PRIJENOSNOG KAPACITETA ZA USLUGU VoIP U MS
EXCEL PROGRAMSKOM OKRUŽENJU

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ODBOR ZA ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 6. travnja 2018.

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

ZAVRŠNI ZADATAK br. 4504

Pristupnik: **Franjo Kralj (0135234186)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Izrada kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP u MS Excel programskom okruženju**

Opis zadatka:

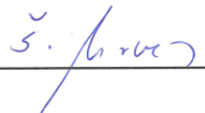
Opisati osnovne karakteristike prijenosa govora korištenjem IP protokola. Identificirati osnovne kodeke za prijenos govora i analizirati njihove prometno tehnološke značajke. Primijeniti odgovarajuće podvorbene modele za izračun potrebnog kapaciteta za uslugu VoIP i dizajnirati VoIP kalkulator u MS Excel programskom okruženju.

Mentor:



dr. sc. Marko Matulin

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

IZRADA KALKULATORA ZA PRORAČUN PRIJENOSNOG KAPACITETA ZA USLUGU VoIP U MS EXCEL PROGRAMSKOM OKRUŽENJU

CREATING A CALCULATOR FOR VOIP TRANSMISSION CAPACITY IN MS EXCEL SOFTWARE ENVIRONMENT

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin

Student: Franjo Kralj
JMBAG: 0135234186

Zagreb, rujan 2018.

Sažetak

U ovom radu su objašnjeni razvoj VoIP (*Voice over Internet Protocol*) tehnologije, njezin princip rada i arhitektura, rad kodeka te proces proračuna i postupak izrade kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP u MS Excel programskom okruženju.

Ključne riječi: VoIP, IP, kodek, enkapsulacija, kapacitet

Summary

This paper discusses the development of VoIP (*Voice over Internet Protocol*) technology, its basic principle and architecture, codecs, and the process of compiling a calculator for VoIP transmission capacity in the MS Excel program environment.

Key words: VoIP, IP, codec, encapsulation, bandwidth

Sadržaj:

1. Uvod.....	1
2. Prijenos govora IP protokolom.....	3
2.1. Razvoj VoIP-a	3
2.2. Arhitektura i komponente VoIP sustava	6
2.3. Protokolna arhitektura.....	7
2.4. Pozitivni i negativni učinci VoIP-a.....	10
3. Značajke različitih kodeka za prijenos govora	12
3.1. G.711 kodek	16
3.2. G.729 kodek	17
3.3. G.723.1 kodek	18
3.4. G.726 kodek	19
3.5. G.728 kodek	20
4. Enkapsulacija korisničkog sadržaja	22
5. Proračun potrebnog kapaciteta za uslugu VoIP	25
6. VoIP kalkulator	28
7. Zaključak.....	32
Literatura	34
Popis kratica	36
Popis slika	38
Popis tablica	39

1. Uvod

Voice over Internet Protocol (VoIP) je skup tehnologija, metodologija, komunikacijskih protokola i prijenosnih tehnika koje omogućuju prijenos glasovnih informacija, u stvarnom vremenu, preko Internet protokola (*Internet Protocol* - IP). VoIP je omogućen skupom tehnologija i metodologija koje se koriste za isporuku govorne komunikacije preko Interneta, lokalnih mreža (*Local Area Network* - LAN) ili mreža širokog područja (*Wide Area Network* - WAN). Ova usluga se odvija u stvarnom vremenu, što zahtijeva da se, kao i kod svih stvarnovremenskih usluga posebno pridoda važnost na određenu razinu kvalitete usluge, [1].

Iako su u prošlosti glavni konzumenti VoIP usluga bili poslovni korisnici, poput tvrtki s više geografski rasprostranjenih ureda ili pružatelja usluga preko telefonskih linija koji su imali sve svoje telefonske agente u jednom uredu, razvojem mobilnih podatkovnih mreža i mobilnih aplikacija sve veći broj korisnika koristi VoIP uslugu u privatne svrhe. Na razinu kvalitete VoIP usluge utječu mnogi faktori od kojih se ističu odabir kodeka i prijenosni kapacitet mreže.

Ovaj rad se sastoji od sedam cjelina u kojima se pobliže objašnjava VoIP tehnologija. Te cjeline su:

1. Uvod,
2. Prijenos govora IP protokolom,
3. Značajke različitih kodeka za prijenos govora,
4. Enkapsulacija korisničkog sadržaja,
5. Proračun potrebnog kapaciteta za uslugu VoIP,
6. VoIP kalkulator,
7. Zaključak.

U drugom poglavlju, prijenos govora IP protokolom, opisuje se razvoj VoIP-a, opća arhitektura i osnovne komponente VoIP komunikacijskog sustava. Opisuje se i protokolna arhitektura te se ukazuje na određene prednosti i nedostatke u usporedbi s ostalim tehnologijama za prijenos govora, uglavnom s klasičnom fiksnom telefonijom.

U trećem poglavlju su istaknuti najčešće upotrebljavani kodeci koje koristi VoIP tehnologija. Definirane su podijele i za svaki kodek su iskazani osnovni principi rada i veličine koje ih određuju.

Četvrto poglavlje se bavi enkapsulacijom korisničkog sadržaja u VoIP komunikaciji. Gdje je opisan proces dodavanja zaglavlja korisničkim podacima, njihova forma i funkcija.

Peto poglavlje opisuje proces izračuna kapaciteta potrebnog za VoIP glasovnu komunikaciju, određivanjem i opisivanjem potrebnih veličina, korištenih formula i metoda.

U šestom poglavlju je prikazana izrada i uporaba kalkulatora za proračun potrebnog kapaciteta za uslugu VoIP u MS Excel programskom okruženju.

U sedmom poglavlju, „Zaključak“, sintetizirane su sve informacije prikupljene i obrađene tijekom izrade ovog rada.

2. Prijenos govora IP protokolom

VoIP je tehnologija kojom se ostvaruje glasovna komunikacija preko IP mreža poput Interneta ili drugih paketskih mreža. Određene VoIP usluge dopuštaju uspostavu poziva samo prema korisnicima koji rabe istu vrstu VoIP usluge, dok neke usluge omogućuju pozive prema bilo kojem korisniku koji je spojen na podatkovnu ili telefonsku mrežu. To podrazumijeva lokalne, *long distance*, mobilne i međunarodne pozive, [2].

2.1. Razvoj VoIP-a

Donedavno, glasovna komunikacija i prijenos podataka bili su potpuno odvojeni. Glas se prenosio skoro isključivo fiksnom telefonskom linijom, tj. javnom glasovnom mrežom (*Public Switched Telephone Network* - PSTN), a ruta fiksne veze uspostavljala se pozivom i održavala se za vrijeme trajanja razgovora, pri čemu su svi resursi bili rezervirani samo za taj poziv (komutacija komunikacijskog kanala), gdje se naplata obavlja prema trajanju poziva. Daljnjim razvojem i investiranjem u fiksnu telefonsku mrežu učinile su ovaj način komunikacije gotovo potpuno pouzdanim. Istovremeno razvijen je niz osnovnih vrsta komunikacijskih usluga koje se pojavljuju u digitalnom obliku i prenose paketnim mrežama putem protokola poput IP, ATM (*Asynchronous Transfer Mode* - ATM) i FR (*Frame Relay* - FR). Slike, datoteke i dokumenti kodiraju se u niz manjih paketa, koji se u takvom obliku odašilju mrežom prema odredištu, pri čemu svaki paket odaslan u mrežu sadrži zaglavlje s podacima potrebnim da paket dođe na odredište, poput adrese o mjestu odredišta, adrese izvorišta te druge podatke. Svi odaslati paketi na odredište ne dolaze istim redoslijedom kojim su odaslati i mogu imati znatno različite rute prolaska kroz mrežu usmjerivača i preklopnika te ostalih elemenata u mreži. Zbog takvog moda prijenosa (komutacija paketa) postoji mogućnost da dio paketa ne stigne na odredište jer biva izgubljeno ili oštećeno prilikom transmisije kroz mrežu.

Daljnjim razvijanjem tehnologija telekomunikacija i potrebama koje je definiralo tržište dolazi do razvoja tehnologija koje kombiniraju dva osnovna načina prenošenja glasovnih i podatkovnih informacija. U početku su se podaci pretvarali u analogni oblik koji podsjeća na glasovni i kao takvi se prenosili postojećom PSTN infrastrukturom. U kasnijoj inačici glasovne informacije se pretvaraju u digitalni oblik i kao takve se prenose, dotad već razvijenijom, javnom podatkovnom mrežom. Ovakve metode prijenosa i pretvorbe glasovnih informacija ukazale su na prisutnost velikog dijela

neiskorištenih resursa mreže u glasovnoj komunikaciji. Prema [2], dolazi se do zaključka da je samo 10 - 25% vremena trajanja razgovora potrebno za prijenos glasa. Za ostatak vremena se najčešće događaju sljedeće stvari: slušanje sugovornika s druge strane, razmišljanje o odgovoru koji će se dati na upit ili tek disanje između izgovorenih riječi. I u tome se nalazi prednost prijenosa glasa putem podatkovnih mreža, koji je tada zbog kompresije značajno efikasniji.

Mreže s modom prijenosa komutacijom paketa su dosegle zrelost i u potpunosti mogu konkurirati fiksnim mrežama u sferi glasovnog prijenosa. Stare mreže bazirane na analognom prijenosu informacija ili paketnom prijenosu podataka u svijetu ustupaju mjesto visoko pouzdanim mrežama koje istovremeno prenose glas, podatke, video i multimedijske sadržaje. Takvom razvoju situacije, posredno je pridonijela raznolikost komunikacijskih rješenja od strane sve većeg broja proizvođača telekomunikacijskog hardvera te prihvaćanje novih standarda i usluga od strane sve brojnijih korisnika, [2].

Prijenos glasovnih informacija putem IP protokola, odnosno VoIP, korisnicima postaje vrlo atraktivan zahvaljujući širokopojasnom mrežnom pristupu, odnosno xDSL (*x Digital Subscriber Line* - xDSL) *Flat-rate* usluzi. U VoIP mrežama pretvaranje glasa u podatkovne pakete obavlja se gotovo trenutno (proces digitalizacije, kompresije i paketizacije), u realnom vremenu. Prema izvoru [3], proces stvaranja paketa i njihov put kroz mrežu u kojem sudjeluju signalizacijski protokol SS7 (*Signalling System 7* - SS7) i ostali protokoli TCP/IP (*Transport Control Protocol/Internet Protocol* - TCP/IP) protokolnog složaja, je sljedeći:

1. Nakon uspostavljanja veze korištenjem signalizacijskih protokola, prvi korisnik govori u mikrofonski. Analogni glasovni signal se digitalizira, odnosno konvertira se u linearni PCM (*Pulse-Code Modulation* - PCM) digitalni zapis.
2. Iz PCM zapisa se uklanjaju šumovi i jeka, a obavlja se i dodatna analiza radi stišavanja praznih dijelova i detekcije osnovnog tona.
3. Dobiveni PCM zapisi, konvertiraju se u glasovne segmente, komprimiraju i enkodiraju.
4. Glasovni segmenti integriraju se u glasovne pakete dodavanjem zaglavlja protokola. U početku se dodaje zaglavlje RTP (*Real-time Transport Protocol*) protokola, gdje se formira paket kojem je dodano zaglavlje UDP (*User Datagram Protocol* - UDP) protokola s podacima o izvorištu i odredištu. Na kraju paket sadrži sve informacije uključujući i IP adresu odredišta.
5. Paketi se šalju putem Interneta, pri čemu usmjerivači i preklopnici na putu pregledavaju prethodno upisanu informaciju o odredištu paketa i usmjeravaju pakete.

6. Kad paketi stignu na odredište, prolaze obrnutu proceduru za reprodukciju glasa. Svi IP paketi su numerirani, a da bi se dobio smislen glasovni oblik, prilikom primanja IP paketi moraju se posložiti po potrebnom redoslijedu.

Kvaliteta primljenoga audio signala zavisi o načinima kodiranja govora te kašnjenju i varijacijama kašnjenja prilikom prijenosa govornih paketa mrežom. Algoritam za kodiranje govora radi u stvarnome vremenu, pritom zadovoljavajuću određenu razinu kvalitete. Također, algoritam mora imati sposobnost rekonstruiranja izgubljenih paketa jer se u komunikaciji u stvarnome vremenu izgubljeni paketi ne šalju ponovno (kod prijenosa govora preko IP-a nema retransmisije). U VoIP tehnologijama ne dolazi do retransmisije paketa nakon njihovoga gubitka ili oštećenja, budući da bi to rezultiralo dodatnim kašnjenjima koja nisu prihvatljiva. Prijemna strana stoga generira audio signal u onome vremenu u kojemu bi se treba reproducirati izgubljeni paket, pa se tako izbjegavaju prekidi u razgovoru. Ako je kašnjenje u mreži preveliko, korisnicima je teško održavati normalan razgovor. Ritam razgovora je sporiji ako je kašnjenje veće. Najveće kašnjenje koje se može tolerirati prilikom razgovora je oko 200 ms (*Round Trip Delay*, kašnjenje cijelog puta), [3].

Osim kašnjenja zbog kompresije i pakiranja podatkovnih paketa, najveći ograničavajući faktor za održavanje zadovoljavajuće razine kvalitete usluge je kašnjenje i varijacije kašnjenja koje se pojavljuje prilikom prijenosa IP mrežom. Da bi se to kašnjenje što više smanjilo i dovelo na prihvatljivu razinu moraju se koristiti mrežni elementi – usmjeritelji (*Routeri*) i LAN prospojnici (*LAN Switch*), koji imaju implementirane odgovarajuće mehanizme poput diferencijacija usluga (npr. *Diffserv*). Takvi mehanizmi govornoj informaciji mogu dati veći prioritet prilikom usmjeravanja i prijenosa ispred ostalog prometa. Tako će govorni paketi, nakon što se nađu u tim elementima, kraće ostajati u njihovim spremnicima čekajući na usmjeravanje i daljnju predaju u IP mrežu.

Protokol za rezervaciju resursa (*Resource Reservation Protocol* - RSVP) i višeprotokolno komutiranje temeljem oznaka (*Multiprotocol Label Switch* - MPLS) omogućuju govornom prometu rezervaciju prijenosnih kapaciteta u mrežnim elementima prilikom uspostavljanja veze. Tako naglo uvećanje prometa preko korištenih mrežnih elemenata neće utjecati na kvalitetu već uspostavljenih veza.

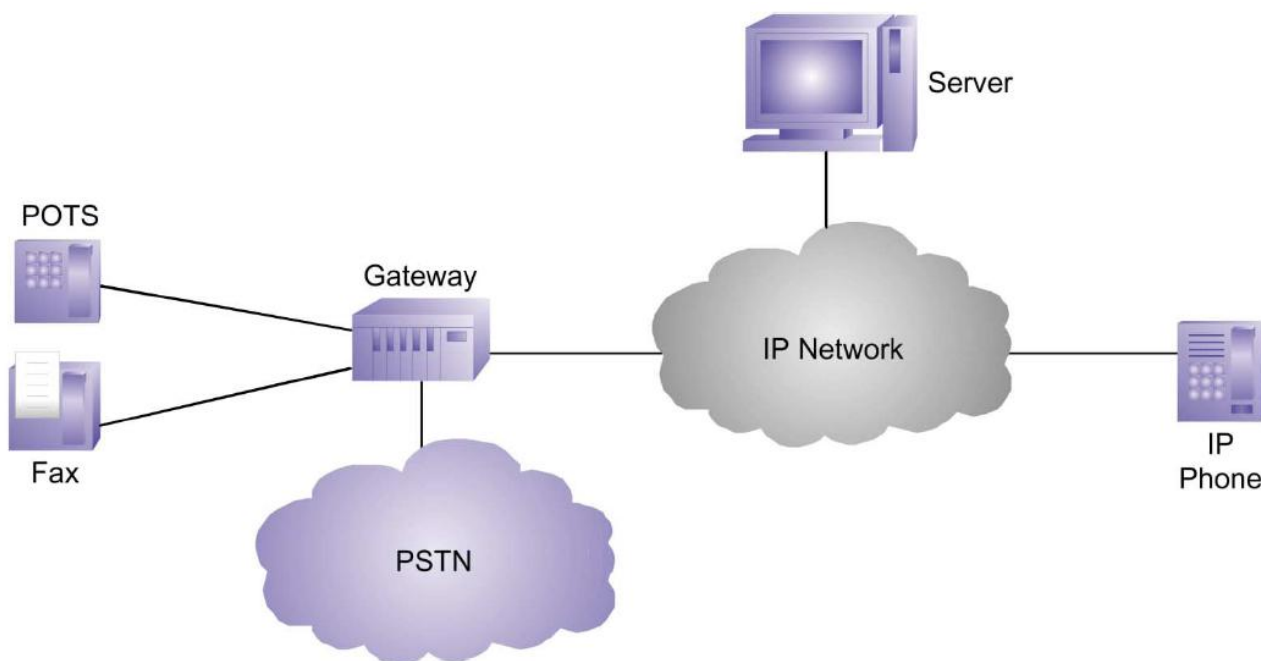
Govor se u IP mrežama prenosi malenim paketima, značajno manjim od paketa koji prenose podatkovne informacije. Postoje dva razloga za to. Prvo, na strani gdje se promet generira došlo bi

do puno većeg kašnjenja po pojedinom paketu da pristupnik iz javne telefonske mreže (*Public Switched Telephone Network* - PSTN) uzima govornu informaciju tijekom velikoga vremenskog odsjeka i tek tada je komprimira i pakira u jedan paket. Drugi je razlog to što bi izgubljeni ili oštećeni veliki IP paket s puno govorne informacije rezultirao time da strana koja ih prima ne može reproducirati korisnu govornu informaciju tijekom. To bi rezultiralo značajnim smanjenjem kvalitete usluge, [3].

2.2. Arhitektura i komponente VoIP sustava

Sastavni dijelovi koji čine javnu telefonsku mrežu također su dio VoIP mreža, iako koriste različitu tehnologiju i drugačiji pristup pružanja glasovnih usluga. Pritom IP mreže moraju biti u mogućnosti pružati sve funkcionalnosti koje pružaju javne telefonske mreže uz davanje usluga prijenosa podataka i signala na postojeću javnu mrežu.

Na slici 1 prikazane su glavne komponente poopćene VoIP mreže. IP mreža omogućuje povezivanje između svih terminala. IP mreža može biti privatna mreža, intranet ili Internet. *Gateway* ili mrežni prevodilac omogućuje komunikaciju između dvije različite komunikacijske mreže, odnosno mreže koje koriste različite tehnologije i protokole. U VoIP-u ima zadatak stvaranja poziva, detekcije poziva, pretvaranje glasa iz analognog u digitalni format (nastaju glasovni digitalni paketi). *Server* ili poslužitelj obavlja upravljanje i administrativne funkcije za podršku usmjeravanju poziva preko mreže. U sustavu koji se temelji na H.323 signalizacijskom protokolu, poslužitelj je poznat kao *gatekeeper*. U sustavima temeljenim na SIP (*Session Initiation Protocol* - SIP) protokolu poslužitelj je SIP poslužitelj. U sustavu koji se temelji na MGCP (*Media Gateway Control Protocol* - MGCP), poslužitelj je agent poziva, [4].



Slika 1. Prikaz elemenata VoIP mreže, [5]

Krajnje točke VoIP-a mogu se podijeliti na one bazirane na *hardveru* koji uključuju namjenske VoIP telefone (*hardphone*), i one bazirane na *softveru* poput *softphone* aplikacije koje se pokreću na osobnim računalima i mobilnim uređajima, kao i preglednicima koji omogućuju WebRTC (*Web Real Time Communication* - WebRTC), [1].

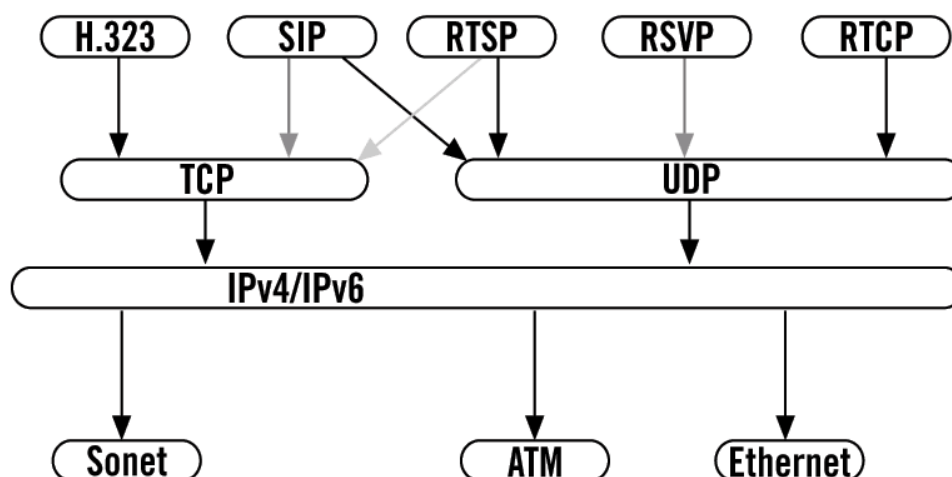
Hardphone, hardverski telefon, izgleda kao tradicionalni žični ili bežični telefon koji uključuje slične značajke poput zvučnika i mikrofona, dodirne površine i zaslona. VoIP telefoni također mogu pružiti uslugu govorne pošte, konferencijskog poziva i prijenosa poziva.

Softphone, softverski telefon, je softverska aplikacija instalirana na računalo ili *smartphone*. *Softphone* korisničkim sučeljem se upravlja preko opreme računala ili mobilnog uređaja, a za samu komunikaciju potrebni su mikrofoni i slušalice ili zvučnik.

2.3. Protokolna arhitektura

VoIP je izvediv na bilo kojoj mreži koja koristi IP (Internet, LAN i dr.). Protokole VoIP-a mogu se podijeliti na protokole za prijenos audio signala i signalizacijske protokole. Protokoli za prijenos audio signala pružaju vremenske informacije i osiguravaju postojan audio signal na prijamoj strani i

ostvarivanje određene razine kvalitete. Zadaća signalizacijskih protokola je adresiranje, usmjeravanje, uspostava i prekid poziva te informativne i dopunske usluge. Na slici 2 je prikazana VoIP protokolna arhitektura najzastupljenijih protokola.



Slika 2. VoIP protokolna arhitektura, [6]

Prema [18], najčešći protokoli za prijenos multimedijских sadržaja u VoIP tehnologiji su RTP, RTCP, RTSP i RSVP.

- RTP (*Real-time Transport Protocol* - RTP) je transportni protokol namijenjen za prijenos stvarnovremenskih podataka poput govora. Svaka informacija koju RTP šalje sastoji se od podatkovnog i kontrolnog dijela. Kontrolni dio čine podaci koji služe za vremensku sinkronizaciju, sigurnost, identifikaciju korisnika i detekciju gubitka prijenosa. RTP ne sadrži mehanizme koji osiguravaju pravovremenu isporuku, taj zadatak pripada nižim slojevima. RTP ne garantira pouzdanost isporuke paketa i kontrolu toka mreže.
- RTCP (*Real Time Control Protocol* - RTCP) je protokol upravljanja prijenosom u stvarnom vremenu. Ovaj protokol radi u suradnji s RTP-om te omogućuje kontrolu nad RTP konekcijama. Glavna zadaća RTCP-a je prikupljanje povratnih informacija o kvaliteti usluge.
- RTSP (*Real Time Streaming Protocol* - RTSP) je protokol prijenosa podataka u stvarnom vremenu. Glavni zadatak RTSP-a je kontrola isporuke stvarnovremenskih podataka poput audio i video podataka. RTSP je beskonekcijski protokol. RTSP uspostavlja i kontrolira tokove podataka između poslužitelja i klijenta. RTSP omogućuje preuzimanje audio i video podataka s poslužitelja.

- RSVP (*Resource Reservation Protocol* - RSVP) je protokol za rezervaciju mrežnih resursa. Zadaća RSVP-a je rezerviranje mrežnih resursa kako bi se zadržala određena kvaliteta prijenosa. RSVP daje prednost VoIP-u nad određenim IP prometnim tokovima i može garantirati vrijeme kašnjenja. RSVP omogućuje mrežama s komutacijom paketa da budu još konkurentnije za prijenos multimedijalnog sadržaja koji zahtijeva veliku brzinu prijenosa iz jednoga izvora prema velikom broju korisnika (*multicast*).

Signalizacija omogućava razmjenu upravljačkih informacija između mrežnih elemenata. Prema [18] najčešći signalizacijski protokoli koji se primjenjuju u VoIP-u su: H.323, SIP, SGCP, MGCP i SDP.

- H.323 se sastoji od nekoliko protokola koji rade zajedno, a svaki od njih obavlja svoju zadaću. H.323 za prijenos audio i video informacija koristi beskonekcijski i nepouzdan UDP, a za signalizacijske i podatkovne informacije se koristi konekcijski pouzdani TCP. Pomoću H.323 protokola omogućena je međusobna komunikacija dva terminala koji imaju različite komunikacijske mogućnosti. H.323-ove funkcije su podijeljene na četiri kanala: a) kanal za signalizaciju poziva koji omogućuje uspostavu i raskid, b) H.245 kontrolni kanal koji se koristi za dogovor parametara između terminala, c) RAS (*Registration, Admission and Status* - RAS) kanal za komunikaciju između krajnjih točaka i njima pripadajućih *gatekeepera*, te d) logički prijenosni kanali koji se koriste za prijenos audio i video informacija. H.323 uključuje mrežne komponente kao što su terminalni uređaj, *gateway*, *gatekeeper* i MCU (*Multi-point Control Unit* - MCU).
- SIP je protokol koji se koristi za uspostavu, modifikaciju i raskidanje višemedijskih sesija u IP mrežama. Primjenjuje se s drugim protokolima s ciljem ostvarivanja usluge. SIP se sastoji od elemenata koji međusobno komuniciraju koristeći podatkovne veze i transportne protokole kako bi se ostvarila uspostava, modifikacija i raskidanje sesija. SIP elemente čine *hardver* i *softver*.
- SDP (*Session Description Protocol* - SDP) je protokol za opis sesije. SDP daje informacije o imenu i namjeni sesije, adresi i broju *porta*, vremenima početka i kraja sesije, potrebnoj pojasnoj širini i kontaktne informacije osobe odgovorne za sesiju. Ove se informacije prenose u jednostavnom tekstualnom formatu. Medijske informacije koje SDP šalje su: vrsta medija (audio ili video), transportni protokol (UDP ili TCP) i medijski format.
- MGCP (*Media Gateway Control Protocol* - MGCP) je protokol koji definira komunikaciju između kontrolnih pristupnika (*Media Gateway Controllers* - MGC) i telefonskih pristupnika. MGCP je kontrolni protokol koji omogućuje centralnom koordinatorskom praćenju događaja kod

IP telefona i pristupnika. MGCP nalaže IP telefonu i pristupniku slanje medija na određene adrese. Kod MGC-a konekcije se uspostavljaju na svakoj krajnjoj točki koja će biti uključena u komunikaciju. Kada se dvije krajnje točke lociraju na pristupnicima, one se upravljaju istim MGC-om.

2.4. Pozitivni i negativni učinci VoIP-a

Usporedbom VoIP-a s klasičnom telefonskom uslugom može se uočiti velik broj prednosti. Uklanjanjem upotrebe mreža s komutacijom kanala za prijenos govora, VoIP smanjuje troškove mrežne infrastrukture, omogućuje davateljima usluge pružanje govornih usluga preko širokopojsnih i privatnih mreža te omogućuje tvrtkama da upravljaju jednom mrežom preko koje se obavlja glasovni i podatkovni promet, [1]. VoIP nudi jednostavnu mogućnost proširenja mreže, odnosno priključenje dodatne linije u kućno ili poslovno okruženje, za razliku od tradicionalne telefonije gdje sve počinje i završava bakrenom paricom. VoIP telefonija izravno ne ovisi o lokaciji korisnika a korisnicima nudi i dodatne sadržaje bez dodatne naplate, ponajprije to su identifikacija pozivatelja (*Calling Line Identification* - CLID), konferencijski poziv (istovremena komunikacija između tri ili više korisnika), preusmjeravanje poziva i glasovna pošta, za razliku od fiksne telefonske tehnologije gdje su se spomenute usluge posebno naplaćivale. Također postoje i ograničenja VoIP tehnologije koja ovise o kvaliteti komunikacijskog kanala i pouzdanosti internetske veze, jer kao i kod klasične telefonije tajnost komunikacije nije izvediva na jednostavan način. Kako bi se doskočilo tom problemu implementirani su stvarnovremenski sigurnosni protokoli s funkcijama enkripcije sadržaja i provjere autentičnosti. Iako ne u skoro vrijeme sasvim je sigurno da će IP telefonija u potpunosti zamijeniti klasičnu telefoniju, [2].

Prednosti VoIP-a iz perspektive krajnjeg korisnika su:

- smanjenje troškova (prilikom uvođenja novih linija i korištenja usluga),
- besplatne dodatne usluge (npr. poput skraćenog biranja, govorne pošte, konferencijskih poziva, prikaz broja pozivatelja, preusmjeravanje poziva),
- olakšan prijenos broja,
- jednostavnije korištenje drugih vidova komunikacije (npr. video, dijeljenje podataka)
- gotovo neograničena dostupnost usluge (uvjetno jednaka dostupnosti pristupa Internetu).

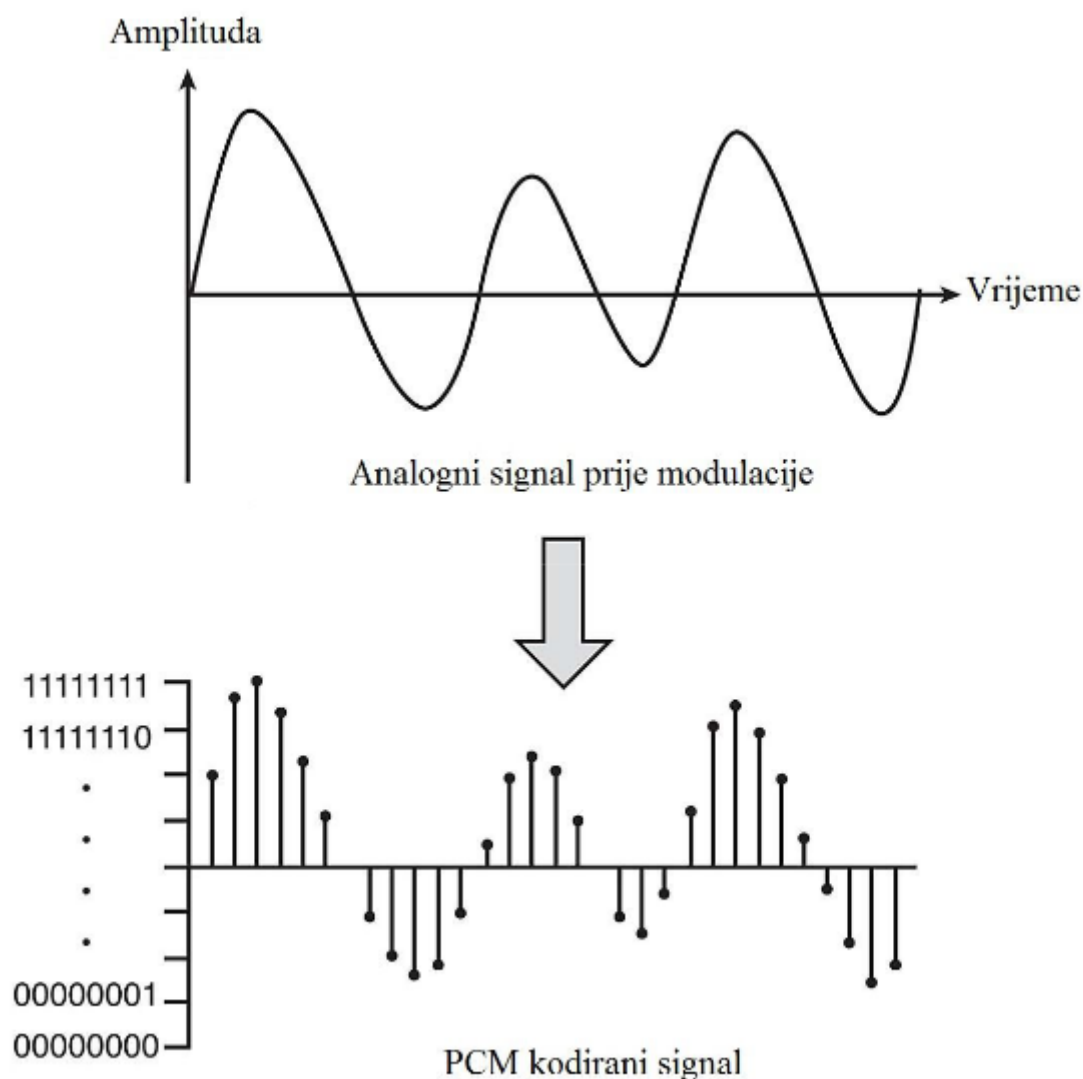
Prednosti VoIP-a iz perspektive operatora/pružatelja usluga:

- smanjenje ukupnih troškova (nakon određenog razdoblja),
- jednostavnija instalacija i održavanje infrastrukture,
- jednostavnije uvođenje novih usluga.

Iako nemaju prevagu nad prednostima, postoje i mane VoIP telefonije. Što se tiče kvalitete usluge prijenos IP mrežom može dovesti do gubitka i/ili kašnjenja paketa koji se pojavljuju u slučajevima pojave velikog broja korisnika i odsutnosti kontrole pristupa mreži. Konstantnim razvojem tehnologije pojava takvih situacija sve je rjeđa. Dok je pouzdanost PSTN-a do 99,999% (što se prevodi u svega 5 minuta izvan funkcije godišnje), pouzdanost IP telefonije ovisi o pouzdanosti internetske mreže koja iznosi oko 99,9% (odnosno 8,8 sati godišnje). Nedostaci VoIP-a su i nepostojanje jedinstvenog standarda i što za razliku od klasične telefonije u slučaju nestanka energije VoIP neće raditi, [7].

3. Značajke različitih kodeka za prijenos govora

Kodek (*Codec*) je uređaj ili računalni program se koristi za kodiranje ili dekodiranje digitalnog toka podataka ili signala. Riječ kodek je sastavljena od riječi koder-dekoder. Kodek kodira tok podataka ili signal za prijenos i pohranu, moguće i u šifriranom obliku, a dekoderska funkcija dekodira signal. Veliki dio tržišta VoIP-a oslanja se na pulsno-kodnu modulaciju (PCM). PCM je jednostavan i prenosi ne samo govor, nego i moderne signale, uključujući prijenos *faksimail*-a, bez dodatnih zahtjeva, [8].



Slika 3. Prikaz PCM modulacije, [9]

Govorni signal prije modulacije je analogni, što nije pogodno za transmisiju kroz digitalnu mrežu te ga je potrebno kodirati. Signal nakon kodiranja poprima digitalni oblik te je njegova vrijednosti iskazana u nizu nula i jedinica, kao što je prikazano na slici 3. Kako bi se smanjili potrebni prijenosni kapaciteti koristi se kompresija govora i potiskivanje paketa koji ne nose nikakve relevantne podatke (npr. tišinu ili pozadinsku buku). Kodeci se često nazivaju i kompresorima jer komprimiraju govorni signal da bi ostvarili veći protok informacija, ali to opet utječe na kvalitetu govornog signala.

Dostupna odlika nekih dekodera je efekt prikrivanja ponekog nestalog paketa ubacivanjem tišine ili ponavljanjem prethodno primljenog paketa kako bi se nadomjestio izgubljeni ili oštećeni paket. Korisnicima to umanjuje dojam pogreške u prijenosu, jedan paket koji nedostaje obično zauzima samo 20 ms pa ih korisnik i ne primijeti. Prema [8], prijamnik popunjava tu prazninu jednom od sljedećih metoda:

- ubacivanjem ugodne buke nalik na generičkom pozadinskom zvuku,
- ponavljanjem zadnjeg ispravnog paketa,
- ubacivanjem zvuka koji je sintetiziran kombinacijom sadržaja prethodnog paketa i prvog koji slijedi nakon nedostajućeg.

VoIP paketi najčešće nestaju u grupama stoga posljednja metoda zamjene izgubljenih paketa funkcionira bolje u slučaju gubitka samo jednog paketa. Primjena određenog kodeka bit će definirana razinom kvalitete usluge, broju istovremenih komunikacija, dozvoljenom broju protoka za jedan razgovor i sl.

Osnovnom podjelom kodeci se mogu svrstati u dvije grupe:

- valni kodeci,
- parametarski kodeci.

Valni kodeci se baziraju na ideji da se govorni signal kodira na način tako da se na prijamnoj strani može rekonstruirati izvorni valni oblik govornog signala. Kako je moguće rekonstruirati izvorni oblik signala, ovi kodeci su primjenjivi i na druge vrste signala, a ne samo na govorne. Ovakvi kodeci uobičajeno omogućuju veću kvalitetu, ali zahtijevaju i veći protok. Rekonstrukcija valnog oblika signala može biti rekonstrukcija valnog oblika vremenske domene ili frekvencijske domene.

U slučaju vremenske domene rekonstruira se izvorni vremenski oblik signala u skladu s principima kompleksnosti, pri čemu su najčešći kodeci takve vrste (npr. G.711 i G.726). Dok se princip rekonstrukcije valnog oblika u frekvencijskoj domeni zasniva na ideji da se frekvencijski spektar signala podijeli na podopsege koji se zasebno kodiraju, pri čemu se važniji podopsezi kodiraju preciznije s više bitova, a manje važni podopsezi se kodiraju s manje bitova, tj. manje precizno.

Druga metoda za valno kodiranje u frekvencijskoj domeni, jest uporaba brzih transformacija kao na primjer: kosinusoidne transformacije za prezentiranje odsječka govornog signala u obliku velikog broja frekvencijskih opsega, pri čemu se odvija adaptivno kodiranje koeficijenata koji opisuju spektralne karakteristike odsječka govornog signala. Koeficijenti se kodiraju adaptivno tako da se preciznije (s više bitova) kodiraju važniji koeficijenti, a manje precizno (s manje bitova) manje važni koeficijenti. Potrebno je napomenuti da su valni kodeci jednostavni za implementaciju i brzo kodiranje (procesiranje govornog signala nije kompleksno kod valnih kodeka), stoga ne čudi da se za kodiranje govornog signala najčešće koriste valni kodeci koji rekonstruiraju valni oblik temeljen na vremenskoj domeni, [10].

Za razliku od valnih kodeka, parametarski kodeci zasnivaju se na ideji da se kodira isključivo govorni signal, odnosno uzimaju se u obzir sve značajke govornog signala, što čini parametarske kodeke neupotrebljive za ostale vrste signala. Parametarski kodeci modeliraju govor korisnika i prenose vrijednosti karakterističnih parametara govornog signala koji se dobivaju analizom govornog signala. Na odredišnoj strani se na osnovi tih prenesenih parametara odvija spajanje govornog signala.

Međutim, cilj spajanja nije rekonstrukcija izvornog valnog oblika govornog signala, nego dobivanje razumljivog govornog signala koji korisnik može razumjeti. Zbog toga ovi se sustavi nazivaju još i sustavi analize i sinteze, jer se na izvoru odvija analiza govornog signala zbog određivanja karakterističnih parametara (redundancija, neravnomjerna amplituda i frekvencijska raspodjela) govornog signala koji se nakon toga prenosi, i zatim se na odredištu na temelju tih parametara sastavlja govorni signal. Takvi kodeci omogućuju bolju kompresiju, ali imaju i nižu razinu kvalitete. Niža razina kvalitete usluge proizlazi od činjenice da se govorni signal koji je rekonstruiran na odredištu, krajnjem korisniku djeluje umjetno, što kod slušatelja stvara osjećaj slabije razine kvalitete iako je govor potpuno razumljiv. Govorni signal je u potpunosti razumljiv jer je glavni cilj parametarskih kodeka, prijenos parametara koji se odnose na razumljivost govora, [10].

Prije detaljnije analize pojedinih kodeka za prijenos govora potrebno je objasniti određene attribute koji čine kodeke. A prema [11], to su:

- CBR (*Codec Bit Rate* - CBR) - stopa bita kodeka je broj bitova koje kodek prenosi u sekundi kako bi se omogućio glasovni poziv. Izražava se u kilobitu po sekundi (kb/s).

$$\text{Brzina prijenosa kodeka} = \frac{\text{Veličina uzorka}}{\text{Interval uzimanja uzorka}}$$

- CSS (*Codec Sample Size* - CSS) - veličina uzorka kodeka izražena u bajtovima (*Byte*). To je količina bajtova na kojim su snimljeni podaci glasovnog signala, digitalnim procesorom signala (*Digital Signal Processor* - DSP), za neki određeni vremenski interval uzimanja uzorka. Na primjer, koder G.729 radi na intervalima uzorka od 10 ms, što odgovara 10 bajta (80 bita) po uzorku uz brzinu prijenosa od 8 kb/s.
- CSI (*Codec Sample Interval* - CSI) - interval uzorka kodeka izražen u milisekundama (ms). CSI je vremenski interval uzimanja uzorka kodeka. Na primjer, kodek G.729 radi u intervalima uzorka od 10 ms, što odgovara 10 bajta (80 bita) po uzorku uz brzinu prijenosa od 8 kb/s.
- MOS (*Mean Opinion Score* - MOS) - srednja ocjena mišljenja korisnika je metoda koja se koristi za ocjenjivanje kvalitete glasovnih telefonskih veza. Za gradiranje MOS-a, koristi se testna skupina sa širokim spektrom slušatelja koji ocjenjuje kvalitetu glasovnog uzorka na skali od jedan (loše) do pet (izvrsno). Uzima se prosječna ocjena kao MOS kodeka.
- VPS (*Voice Payload Size* - VPS) (Bajt) – Veličina korisne nosivosti, izražena u bajtovima, predstavlja broj bajtova (ili bitova) koji se pune u paket, odnosno veličina glasovne informacije. Veličina korisne nosivosti govora mora biti višekratnik veličine uzorka kodeka. Na primjer, paketi G.729 mogu koristiti 10, 20, 30, 40, 50 ili 60 bajta.
- VPS (ms) - Veličina korisne nosivosti može biti izražena u milisekundama (ms) Veličina korisne govorne nosivosti može se prikazati u smislu uzoraka kodeka. Na primjer, veličina G.729 govorne nosivosti od 20 ms (dva 10 ms uzorka kodeka) predstavlja glasovni teret od 20 bajta.
- PPS – (*Packets Per Second* - PPS) predstavlja broj paketa koji trebaju biti preneseni svake sekunde kako bi se ostvarila određena brzina prijenosa kodeka. Na primjer, za G.729 poziv s veličinom govorne veličine po paketu od 20 bajta (160 bita), 50 paketa treba prenositi svake sekunde.

3.1. G.711 kodek

Kodek G.711 je definiran 1972. godine u ITU-T preporuci G.711. Ovaj kodek se temelji na pulsno kodnoj modulaciji govornog signala, PCM-u. Unutar G.711 preporuke definirani su A i μ zakoni algoritma kompresije, u svijetu, osim na području Sjeverne Amerike, se uglavnom koristi A zakon kompresije. Prije obrade govornog signala u G.711 kodeku, signal se filtrira (NF filtar) i odabire frekvencijom od 8 kHz, jer se za prijenos govornog signala koristi frekvencijski pojas od 4 kHz. Govornom signalu iz pojasa 300-3400 Hz se pridodaje zaštitni dio od 0-300 Hz i 3400-4000 Hz. Uzorci govornog signala (takozvani impulsi govornog signala) se kodiraju s 8 bita, odatle i naziv PCM. A zakon kompresije određuje kodiranje uzoraka s po 8 bitova i kao rezultat se dobiva digitalizirani govorni signal protoka od 64 kb/s (8 bitova svakih 125 μ s). G.711 spada u grupu valnih kodeka, [12].

G.711 kodek koristi uniformnu PCM modulaciju koja podrazumijeva uporabu 13 bitova. To znači da se definira maksimalna apsolutna razina govornog signala i zatim se prilikom uniformne PCM modulacije čitav opseg razina govornog signala podijeli na regije iste veličine signala (razina može imati i pozitivnu i negativnu vrijednost). Svaka regija se kodira s 12 bitova, dok 13. bit definira znak regije (pozitivan ili negativan). Govorni signal se kodira određivanjem u koju regiju spada i zatim se uzima dvanaestobitni kod regije ispred kojega se stavlja znak regije (koji sadrži informacije o razini govornog signala). Uniformni pristup označuje jednak pristup za obje regije, odnosno šum kvantizacije je u prosjeku uvijek isti bez obzira na razinu signala, ali ovaj pristup nije optimalan zbog toga što niske razine govornog signala treba preciznije kvantizirati nego visoke razine govornog signala. Zbog toga se koristi A zakon kompresije koji prepoznaje logaritamsku prirodu govornog signala, [13].

Kada na odredište dospije kodirani uzorak, dekodiranje i dekompresija se odvija tako što dekodirani uzorak dobiva razinu koja odgovara sredini cjeline kojoj pripada kodirani uzorak, jer se tako dobiva minimalan šum kvantizacije. Treba spomenuti da je govorni signal kodiran G.711 kodekom gotovo nekomprimiran govorni signal iako se koristi A zakon kompresije, zato što G.711 kodek daje najprecizniju reprodukciju govornog signala, ali pritom zahtjeva i najveći *bandwidth* od 64 kb/s za govorni signal, [12].

Kodek G.711, za potrebe izrade kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP, je definiran vrijednostima atributima prikazanim u tablici 1, koje definira [8], poput:

Tablica 1. Vrijednosti G.711 kodeka

Kodek	CBR (kb/s)	CSS (B)	CSI (ms)	MOS	VPS (B)	VPS (ms)	PPS (paketa/s)
G.711	64	80	10	4,1	160	20	50

3.2. G.729 kodek

Kodek G.729 definiran je u ITU-T preporuci G.729. On se temelji na CS-ACELP (*Conjugate-Structured Algebraic Code-Excited Linear Prediction* - CS-ACELP) algoritmu. G.729 kodek u originalnoj izvedbi podržava 8 kb/s, dok se u aneksima standarda definira podrška za brzine od 6,4 kb/s, 11,8 kb/s, kao i skalabilna podrška za protoke od 8 do 32 kb/s. G.729 kodek pripada u grupu parametarskih kodeka. ACELP kodeci su varijanta CELP (*Code-Excited Linear Prediction* - CELP) kodeka, gdje je fiksni rječnik pobuda temeljen na algebarskoj strukturi (indirektno) umjesto na memorijskoj strukturi (direktno). Što omogućuje podršku za velik broj pobuda, odnosno može se upotrijebiti velik broj bitova (preko 50 bitova) za predstavljanje pobuda čime je omogućeno kreiranje velikih fiksnih rječnika. Na ACELP algoritmu se temelji velik broj postojećih kodeka, [14].

U G.729 kodeku algebarski rječnik odgovara rječniku kodiranom s 17 bitova. Obavlja se obrada nad govornim odsječcima od 10 ms, što odgovara bloku od 80 uzoraka ako se pretpostavi da je frekvencija odabira od 8 kHz. Prilikom obrade, kodek generira parametre koji se šalju prijemniku. Odsaleni parametri su koeficijenti *Low-Pass* filtera, indeksi fiksnog i adaptivnog rječnika, kao i koeficijenti pojačivača koji se nalaze iza adaptivnog i fiksnog rječnika u dekodernu. Indeks adaptivnog rječnika podrazumijeva vrijednost kašnjenja pobude koju dodaje adaptivni rječnik. Svakih 10 ms generira se 80 bitova koji predstavljaju kodirane parametre govornog signala, pa je generirani protok kodiranog govornog signala (točnije njegovih parametara) 8 kb/s. Na odredištu se na temelju primljenih parametara sintetizira govorni signal. Najprije se generiraju pobude iz fiksnog i adaptivnog rječnika (pobude svakog od rječnika se procesuiraju pojačivačem signala), pritom se primljenim indeksima fiksnog i adaptivnog rječnika određuju pobude koje se generiraju, a primljeni koeficijenti pojačivača definiraju razinu pojačanja pobuda na izlazu iz rječnika. Definirane pobude se zatim prikupljaju i prosljeđuju na LP filter čiji su koeficijenti prilagođeni temeljem primljenih koeficijenata, nakon izlaza signala iz LP filtra on se pušta kroz postfilter radi dobivanja prirodnijeg govornog signala, [14].

Za kodek G.729 prema [11] se definiraju vrijednosti atributa prikazani u tablici 2:

Tablica 2. Vrijednosti G.729 kodeka

Kodek	CBR (kb/s)	CSS (B)	CSI (ms)	MOS	VPS (B)	VPS (ms)	PPS (paketa/s)
G.729	8	10	10	3,92	20	20	50

3.3. G.723.1 kodek

G.723.1 kodek je definiran prema ITU-T preporuci G.723.1. Kodek G.723.1 se temelji na principu analize i sinteze CELP algoritma, a u originalnoj izvedbi podržava 5,3 kb/s i 6,3 kb/s protoke. G.723.1 kodek spada u grupu parametarskih kodeka. Obrađuju se govorni odsječci od 30 ms, što odgovara bloku od 240 uzoraka prema pretpostavci da je frekvencija odabiranja od 8 kHz. Prilikom obrade bloka koristi se dodatnih 7,5 ms sljedećeg govornog uzorka (takozvano *look-ahead* kašnjenje G.723.1 kodeka je 7,5 ms). Iako je kodek uglavnom zasnovan na CELP arhitekturi, postoji mala razlika u formiranju fiksnog rječnika. Ako se koristi manji protok (5,3 kb/s) primjenjuje se algebarska struktura za fiksni rječnik, pa se da zaključiti da kodek radi po ACELP principu. Ako se koristi veći protok (6,3 kb/s) koristi se MP-MLQ (*Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization* - MP-MLQ) metoda za generiranje pobude. Ostatak kodeka je isti za obje izvedbe. Na odredište se šalju parametri koji se odnose na koeficijente LP filtra, i na indekse fiksnog i adaptivnog rječnika. Stvaraju se pobude koje se zatim skupljaju, a skupna pobuda se propušta najprije kroz *pitch* postfilter koji se koristi za podizanje kvalitete govornog signala koji se sintetizira te se tako povećava odnos signal/šum na mjestima koja predstavljaju umnožak perioda *pitch*-a. Signal se zatim propušta kroz LP filter, izlazi na pojačivač i postfilter. Postfilter kontrolira razinu pojačivača kako bi se izbjeglo sintetiziranje monotonog govora. Izlaz pojačivača predstavlja sintetizirani govorni signal, [13]. Prema [11], u tablici 3 su izražene vrijednosti atributa kodeka G.723.1 (5,3 kb/s).

Tablica 3. Vrijednosti G.723.1 (5,3 kb/s) kodeka

Kodek	CBR (kb/s)	CSS (B)	CSI (ms)	MOS	VPS (B)	VPS (ms)	PPS (paketa/s)
G.723.1	5,3	20	30	3,8	20	30	33,3

Dok kodek G.723.1 u verziji s protokom od 6,3 kb/s, [11] definira vrijednostima prikazanim u tablici 4.

Tablica 4. Vrijednosti G.723.1 (5,3 kb/s) kodeka

Kodek	CBR (kb/s)	CSS (B)	CSI (ms)	MOS	VPS (B)	VPS (ms)	PPS (paketa/s)
G.723.1	6,3	24	30	3,9	24	30	33,3

3.4. G.726 kodek

G.726 kodek je definiran u ITU-T preporuci G.726. Ovaj kodek obavlja ADPCM (*Adaptive Differential PCM* - ADPCM) modulaciju govornog signala i pripada u skupinu valnih kodeka. G.726 kodek ima više verzija koje se diferenciraju u zahtjevima vezanim uz protok. Postoje verzije G.726 kodeka u kojima su protoci od 16 kb/s, 24 kb/s, 32 kb/s i 40 kb/s. Princip ADPCM-a je da se smanji protok u odnosu na PCM tako što se kodiraju razlike između razina uzoraka i razina procjene uzoraka umjesto samih razina uzoraka. Zato što su susjedni uzorci govornog signala međusobno visoko povezani, ima smisla kodirati razliku, a ne same uzorke jer se time dobiva bolja iskoristivost postojanja redundantnosti u uzorcima govornog signala. Zbog toga se uzima razlika uzoraka i njihove procjene, a ne razlika susjednih uzoraka, jer ona ne iskorištava povezanost. Za procjenu vrijednosti uzoraka se koriste prediktivni filtri. Na predajniku se odmah odvija i rekonstrukcija uzoraka signala, odnosno simulira se rad dekodera na prijemniku, kako bi se dobila povratna informacija za što bolju procjenu uzoraka govornog signala.

G.726 kodek u prediktivnom filtru koristi šest prethodnih razlika (razlika uzoraka i njihovih procjena), te dva prethodna rekonstruirana uzorka kako bi se odredila procjena za uzorak govornog signala trenutno u obradi i tako se proračunom moglo doći do razlike trenutnog uzorka i njegove procjene. Za kodiranje razlike potrebno je manji broj bitova nego za kodiranje uzoraka, zato se dobivaju niži protoci u odnosu na PCM modulaciju. Zbog toga je i kvaliteta govornog signala nešto slabija. Kodiranje razlike se može odvijati s 2 (16 kb/s), 3 (24 kb/s), 4 (32 kb/s) ili 5 (40 kb/s) bitova.

Interval stvaranja bitova razlike je 125 μ s, pa se sve prethodno navedene protoke da lako izračunati. ADPCM modulacija ima dobru otpornost na pogreške prilikom prijenosa. Zbog toga što je procjena vrijednosti uzorka obavljena na osnovi prethodnih uzoraka, ako se pojavi greška u prijenosu ona će biti smanjena zahvaljujući prethodnim dobro dekodiranim uzorcima. Kodek G.726 je adaptivan jer je

postupak kvantizacije (kvantizira se razlika uzorka i njegove procjene) veći ili manji zavisno o brzini promjene signala. Ako signal ima velike promjene vrijednosti razlika tada je korak veći kako bi se kvalitetnije mogla umanjiti nagla promjena signala, odnosno ako su promjene signala manje tada je i korak manji.

Za potrebe izrade kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP, uzima se verzija G.726 kodeka s protokom od 32 kb/s, i [11] ga definira u tablici 5 sljedećim vrijednostima atributa:

Tablica 5. Vrijednosti G.726 kodeka

Kodek	CBR (kb/s)	CSS (B)	CSI (ms)	MOS	VPS (B)	VPS (ms)	PPS (paketa/s)
G.726	32	20	5	3,85	80	20	50

3.5. G.728 kodek

Kodek G.728 definiran je u ITU-T preporuci G.728, a temelji se na LD-CELP (*Low Delay - Code Excited Linear Prediction* - LD-CELP) algoritmu i pripada u skupinu parametarskih kodeka. G.728 u osnovnoj izvedbi podržava 16 kb/s, dok aneksi standardu definiraju i podršku za 9,6 kb/s, 12,8 kb/s i 40 kb/s.

Mnogi parametarski kodeci se baziraju na CELP algoritmu i njegovim izvedbama, kao naprimjer LD-CELP. Osnovna zamisao CELP algoritma je u tome da simulira govorni sustav korisnika. Izvor govornog signala se modelira rječnikom mogućih pobuda, dok se govor modelira linearnim prediktivnim LP filtrom te se kroz taj filter propušta pobuda. Signal se na izlazu iz LP filtra u kodeku dodatno obrađuje, tako što se šum različito potisne na različitim frekvencijskim područjima (gdje šum ima veći negativan utjecaj potiskuje se više i obrnuto). Razlog dodatne obrade je struktura slušnog sustava čovjeka koji je osjetljiviji na šum na određenim frekvencijama. Filtar koji to obavlja naziva se *perceptual* (ili *noise*) *weighting* filter. Prema slušatelju se odašilju parametri koji su neophodni za sintezu govornog signala na odredištu. Prvo se šalje indeks pobude pomoću koje se određuje koja se to pobuda iz rječnika koristi na odredištu, ali se mogu slati i drugi parametri poput koeficijenata LP filtra, pojačanja pobude (uobičajeno se pobuda iz rječnika propušta kroz svojevrсни pojačivač), itd. Važno je spomenuti da se za prijenosnu karakteristiku LP filtra uzima karakteristika

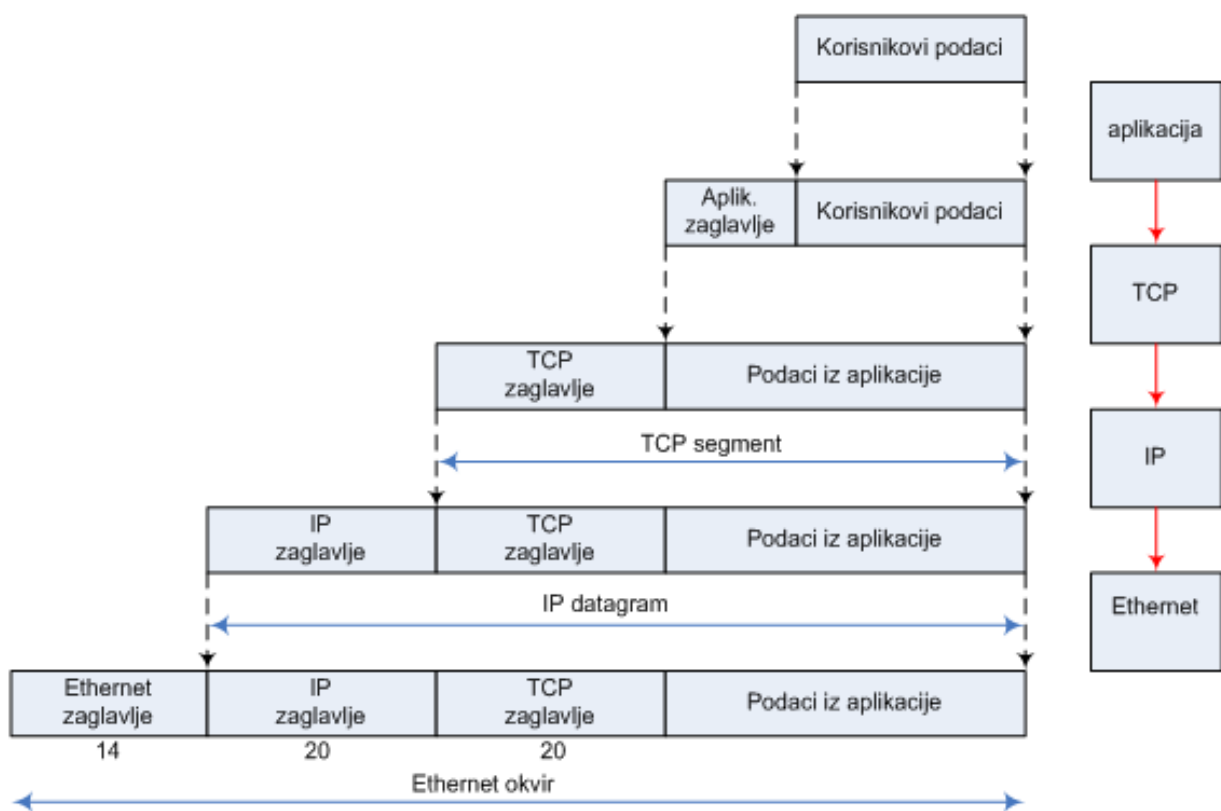
koja ima samo polove, jer je ona jednostavna za realizaciju, a pritom predstavlja solidan model govora. G.728 najčešće koristi adaptivni rječnik pobuda i fiksni rječnik pobuda. G.728 koji podržava protok od 16 kb/s, [11] definira vrijednostima navedenim u tablici 6.

Tablica 6. Vrijednosti G.728 kodeka

Kodek	CBR (kb/s)	CSS (B)	CSI (ms)	MOS	VPS (B)	VPS (ms)	PPS (paketa/s)
G.728	16	10	5	3,61	60	30	33,3

4. Enkapsulacija korisničkog sadržaja

TCP/IP model definira četiri razine telekomunikacijskog sustava kroz koje informacija prolazi na putu do odredišta. A to su aplikacijski sloj, transportni sloj, internet sloj i sloj mrežnog pristupa. Tijekom prelaska informacije na nižu razinu ona mijenja format. Podacima višeg sloja se dodaju zaglavlja razine kroz koji prolaze, odnosno podaci se enkapsuliraju. Procesom enkapsulacije podatku se dodaju dodatne informacije koje su potrebne protokolu da bi taj podatak mogao uspješno te u cijelosti doći do odredišta, [15]. Na slici 4 je prikazan proces enkapsulacije.



Slika 4. Proces enkapsulacije korisničkih informacija, [16]

Kod transportnog sloja se obavlja prva enkapsulacija gdje se podaci dijele na manje dijelove te im se dodaje zaglavlje transportnog sloja. Prva enkapsulacija podataka se obavlja u transportnom sloju te oni kao takvi dobivaju naziv segment (segment = podatak + zaglavlje transportnog sloja). Transportni sloj podatku dodaje zaglavlje TCP ili UDP protokola, a ono informacije koje omogućuju primatelju podataka ispravno sastavljanje informacija. Kako VoIP tehnologija zahtijeva prijenos informacija u stvarnom vremenu ona koristi UDP protokol. Izgled UDP segmenta prikazan je na slici

5, a on sadrži adrese izvorišnog i odredišnog porta, *length* i *checksum* kojim se na odredištu provjerava ispravnost segmenta, [17].



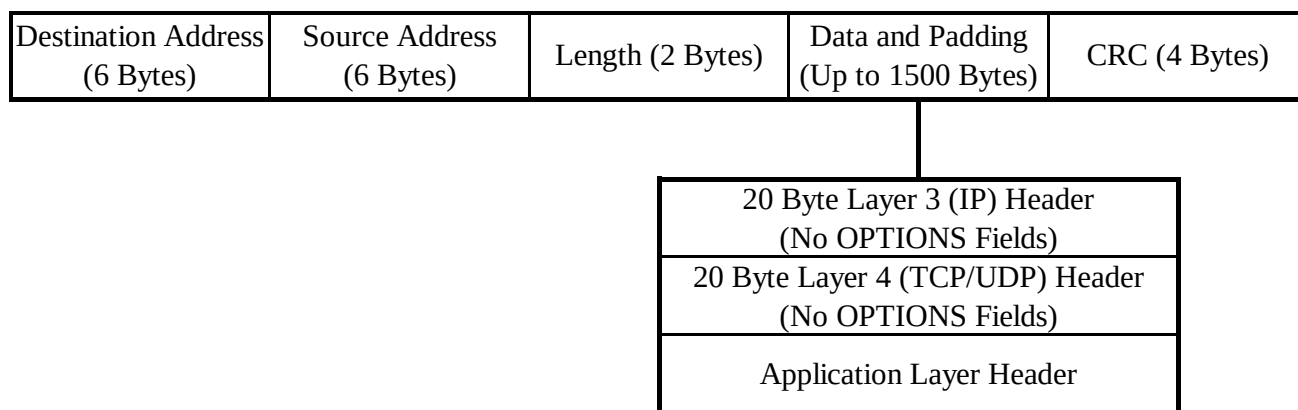
Slika 5. UDP segment, [18]

Transportni sloj zatim segment predaje Internet sloju koji dodaje zaglavlje IP protokola. Takva cjelina se naziva paket. Između ostalog paket sadrži IP adrese izvorišta i odredišta koje omogućuju rutiranje i dolazak paketa na ispravno odredište. Internet sloj paket prosljeđuje sloju mrežnog pristupa, [15]. Na slici 6 je prikazan IP paket.

Internet Protocol					
Bit Offset	0-3	4-7	8-15	16-18	19-31
0	Version	HDR Length	Type of Service	Total Length	
32	Identification			Flags	Fragment Offset
64	Time to Live		Protocol	Header Checksum	
96	Source IP Address				
128	Destination IP Address				
160	Options				

Slika 6. IP paket, [19]

Sloj mrežnog pristupa paketu dodaje ethernet zaglavlje, te tako tvori okvir. Ethernet okvir sadrži izvorišnu i odredišnu adresu, *length*, podatke i *padding* i CRC (*Cyclic Redundancy Check* - CRC) koja služi za provjeru redundancije. Na slici 7 je prikazan ethernet okvir.



Slika 7. Ethernet okvir, [20]

Prilikom dolaska okvira na svako čvorište u mreži, uređaj čita okvir kako bi znao gdje ga proslijediti, prema sljedećem čvorištu ili na viši sloj. Tako preklopnici (*switch*) čitaju samo MAC (*Media Access Control* - MAC) adrese i njima se služe za usmjeravanje okvira prema odredištu, dok usmjernici (*router*) čitaju IP adrese u paketima i njima se koriste za određivanje rute. Na odredištu se korisnički podaci dekapuliraju.

5. Proračun potrebnog kapaciteta za uslugu VoIP

Kako bi se moglo odrediti potreban prijenosni kapacitet VoIP usluge za neku mrežu, najprije je potrebno poznavati maksimalnu veličinu prometa koja se odvija u toj mreži. Veličina ponuđenog prometa dobiva se formulom (1):

$$A_P = \lambda \cdot T_S \quad (1)$$

gdje je A_P veličina ponuđenog prometa izražena u erlanzima, λ maksimalan broj poziva u satu za neki promatrani period izražen u poz/h, te T_S koji predstavlja prosječno vrijeme posluživanja izraženo u minutama. Uvrštavanjem lako mjerljivih veličina u formulu potrebno je pripaziti da su sve veličine istog reda.

Za određivanje potrebnog broja kanala za korištenje VoIP usluge neke mreže koristi se takozvani Erlang B kalkulator. On proračunava potreban broj kanala za unesenu veličinu prometa (A_P) temeljem određene vjerojatnosti blokiranja (p_b) koja se ne smije nadmašiti.

Prilikom slanja korisničkog sadržaja kroz mrežu on prolazi kroz razine TCP/IP protokolnog složaja. Na svakoj razini pripadajući protokol će mu pridodati svoje zaglavlje. IP protokol, ovisno o svojoj verziji dodaje zaglavlje veličine 20 B (za IPv4) i 40 B (za IPv6). UDP-ovo zaglavlje iznosi 8 B, a RTP-ovo 12 B. Dakle ukupna veličina zaglavlja koje dodaju IP/UDP/RTP protokola je 40 B (za primjenu IPv4) ili 60 B (za primjenu IPv6). Ako se primjenjuje cRTP (*Compressed Real-Time Protocol* - cRTP) kompresijski protokol ukupna veličina prethodno spomenutih zaglavlja se smanjuje na 2 odnosno 4 B (ovisno o korištenoj verziji IP protokola), [10].

Na fizičkom sloju i sloju veza svoja zaglavlja, ovisno koji se koristi, dodaju protokoli Ethernet, MP (*Multilink Point-to-Point Protocol* - MP) ili FRF (*Frame Relay Forum* - FRF). Ethernet korisničkim podacima dodaje zaglavlje od 18 B, koji sadrže 4 B za CRC. MP i FRF oba dodaju 6 B, [10].

Za daljnji proračun potrebnog kapaciteta potrebno je poznavati atribute i njihove veličine. Prema [10] u tablici 7, prikazane su veličine najčešće upotrebljavanih kodeka za kodiranje govornog signala.

Tablica 7. Veličine kodeka

Kodek	Protok kodeka (kbps)	Veličina uzorka (Bajt)	Interval uzimanja uzorka (ms)	Korisna nosivost (Bajt)	Korisna nosivost (ms)
G.711	64	80	10	160	20
G.729	8	10	10	20	20
G.723.1	6,3	24	30	24	30
G.723.1	5,3	20	30	20	30
G.726	32	20	5	80	20
G.728	16	10	5	60	30
G.722_64k	64	80	10	160	20

Konačna veličina paketa (TPS) izračunava se sljedećom formulom:

$$TPS = (IP + UDP + RTP) + (MP \text{ ili FRF ili Ethernet}) + VPS \quad (2)$$

gdje veličina (IP+UDP+RTP) ovisi o primijenjenoj verziji IP protokola i o tome je li se koristio cRTP kompresijski protokol. Vrijednost VPS-a ovisi o tome kojim se kodekom kodira glasovni zapis i nju se može pronaći u tablici 7. TPS se izražava u bajtovima.

Prosječan broj generiranih paketa u sekundi (PPS) prema [10] se dobiva izrazom:

$$PPS = \frac{CBR}{VPS} \quad (3)$$

gdje su veličine CBR i VPS definirane za svaki kodek u tablici 7. O odabiru kodeka ovise veličine CBR i VPS. PPS se izražava brojem paketa u sekundi.

Veličina prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP, za jedan kanal, se dobiva izrazom koji [10] definira na sljedeći način:

$$Kapacitet = TPS \cdot PPS \quad (4)$$

Veličine TPS i PPS su poznate iz formula 2 i 3. Prilikom unosa veličina u formulu potrebno je pripaziti da su sve veličine istog reda. Kapacitet se izražava u kilobitu po sekundi (kb/s).

Ako se koristi detekcija tišine za izraz vrijedi:

$$akoKapacitet = \frac{TPS \cdot PPS}{2} \quad (5)$$

Ako mreža koristi više kanala konačan potreban kapacitet je:

$$Konačan Kapacitet = Kapacitet \cdot broj kanala \quad (6)$$

Za primjer proračuna potrebnog prijenosnog kapaciteta uzima se neka skupina korisnika koji su spojeni na lokalnu centralu gdje je tijekom dana praćen promet koji se prema njoj odvija. Iz promatranja se dolazi do zaključka da je najveći broj pristiglih poziva u jednom satu 290 poz/h (λ), a da prosječno vrijeme posluživanja traje 4,7 minuta. Kada se ovi rezultati unesu u prije navedenu formulu 1, dobiva se veličina ponuđenog prometa u satu s najvećim brojem poziva od 22,71 erlanga. Pod uvjetom da p_b ne smije biti veći od 1%, Erlang B kalkulator definira da je potrebno 33 kanala. Komunikacija je definirana uporabom G.729 (8 kb/s) kodeka, s cRTP, IPv6 i MP-om. Za izračun konačne veličine paketa, prema formuli 2 i prethodno definiranim pravilima, izraz glasi:

$$TPS = 4 + 6 + 20 = 30 \text{ B}$$

Izraz za prosječan broj generiranih paketa u sekundi (PPS) prema, jednadžbi 3, glasi:

$$PPS = \frac{8 \cdot 1000}{20 \cdot 8} = 50 \text{ pak/s}$$

Za izračun potrebnog prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP, dobiveni rezultati se upisuju u formule 4 i 5, te se dobiva izraz:

$$Konačni Kapacitet = (30 \cdot 8) \cdot 50 \cdot 33 = 396 \text{ kb/s}$$

6. VoIP kalkulator

Kalkulator za proračun prijenosnog kapaciteta VoIP usluge izrađen je u MS Excelu 2007. Prvi korak u izradi kalkulatora je definirati oblike korisničkog sučelja na zasebnom *sheet*-u (KorisničkoSučelje). Sučelje se sastoji od padajućeg izbornika na kojem korisnik odabire upotrebljavani kodek za kodiranje govora. Korisniku su ponuđeni sljedeći kodeci: G.711 (64 kb/s), G.729 (8 kb/s), G.723.1 (6,3 kb/s), G.723.1 (5,3 kb/s), G.726 (32 kb/s), G.728 (16 kb/s) i G.722_64k (64 kb/s). U okviru označenog s „Payload“ se ispisuje veličina uzimanja uzoraka u milisekundama za odabrani kodek, prema veličinama iz tablice 7. Na sučelju se nalazi *checkbox* kojim korisnik definira koristi li se cRTP kompresijski protokol. U padajućem izborniku niže, korisnik odabire verziju IP protokola koji se koristi (IPv4 ili IPv6). Ispod padajućeg izbornika IP-a se nalazi padajući izbornik linka u kojem se odabire veza. Korisniku su ponuđeni MP, FRF i Ethernet. U *checkbox*-u dolje odabire se uporaba detekcije tišine. Pored *checkbox*-a se nalazi polje u koje korisnik upisuje broj kanala. U poljima na dnu sučelja se prikazuju rezultati proračuna potrebnog kapaciteta i generiranog broja paketa. Na slici 8 se nalazi korisničko sučelje s prikazanim svim potrebnim atributima, opcijama i prostorom za prikaz rezultata.

The screenshot displays a user interface for a VoIP calculator. It features several input fields and checkboxes arranged vertically. At the top, there is a dropdown menu labeled 'Kodek' and a text input field labeled 'Payload' followed by 'ms'. Below these is a checkbox labeled 'cRTP'. Further down is another dropdown menu labeled 'IP je'. This is followed by a third dropdown menu labeled 'Link je'. Below that is a checkbox labeled 'Detekcija tišine' and a text input field labeled 'Broj kanala'. At the bottom, there are two output fields: 'Potreban kapacitet' followed by 'kb/s' and 'Generirani broj paketa' followed by 'pak/s'. Each of these output fields has a corresponding text input box.

Slika 8. Korisničko sučelje

Svi potrebni proračuni izvodit će se na zasebnom sheet pod nazivom Proračun. Na njemu se nalaze tablica 7 s vrijednostima atributa pojedinih kodeka, tablica veličine zaglavlja pojedinih protokola i

njihovih verzija, te tablica koja ispisuje unose korisnika na sučelje. Podaci *sheeta* Proračun nalaze se na tablici 8 i tablici 9.

Tablica 8. Tablica veličine zaglavlja protokola

Duljina zaglavlja protokola		
RTP		Bajta
UDP		Bajta
IPv4		Bajta
IPv6		Bajta
MP (Multi link Point-to-Point Protocol)		Bajta
FRF (Frame Relay Forum)		Bajta
Ethernet		Bajta

Tablica 9. Tablica unosa

Compressed Real-Time Protocol (cRTP) je uključen		
Detekcija tišine je uključena		
Broj kanala		
Odabrani kodek		
Odabrani IP		
Odabrani link		

Sada je potrebno referencirati kodeke iz tablice na *sheet-u* Proračun na padajući izbornik Korisničkog sučelja. To se postiže upisivanjem funkcije: Proračun!B7:B13, u polje *ListFillRange properties*-a padajućeg izbornika. Za referenciranje određenih verzija IP protokola, i protokola veze u pripadajuća *ListFillRange* polja upisuje se raspon tablica iz kojih se uzimaju podaci.

Potvrdi okvir primjene cRTP-a referencira se u *LinkedCell* s Proračun!J15, a primjenu detekcije tišine s Proračun!J17 u odgovarajuće *LinkedCell* polje. U polje J19 Proračun *sheeta* upisuje se KorisničkoSučelje!I13 kako bi se referencirao upisan broj kanala. Za iskazivanje *payload*-a određenog kodeka u polje I5 *sheet-a* KorisničkoSučelje upisuje se funkcija: =VLOOKUP(Proračun!I20;Proračun!B7:H13;7;FALSE). Funkcija VLOOKUP pretražuje vrijednost zadanu u prvom dijelu zagrade (ovdje Proračun!I20), u tablici definiranoj s Proračun!B7:H13. Te

ispisuje vrijednost zapisanu u sedmom stupcu istog retka kao i vrijednost koja se pretražuje u tablici. Naredba FALSE daje samo egzaktnu vrijednost, dok je TRUE aproksimira ako ne postoji točna.

Kako bi se izračunala konačna veličina paketa trebaju se zbrojiti veličine zaglavlja svih protokola koji su sudjelovali u komunikaciji i veličina *payload*-a. Princip izračuna konačne veličine paketa odvija se temeljem jednadžbe 2, definirane u prethodnom poglavlju. Uzima se u obzir je li se u komunikaciji koristio cRTP protokol. Za određivanje potrebne veličine odabranog protokola linka u polje P5 Proračun *sheet*a se upisuje funkcija: =VLOOKUP(I22;B20:D24;3;FALSE). Za određivanje *payload*-a u polje P7 se upisuje: =VLOOKUP(I20;B7:H13;6;FALSE). Naredba =VLOOKUP(I21;B18:D19;3;FALSE)+D17+D16 zbraja zaglavlja UDP-a i RTP-a za zaglavljem korištene verzije IP protokola. Naredba =IF(I21="IPv6";4;2) iskazuje vrijednosti zaglavlja IP/UDP/RTP protokola ako se koristio cRTP. Konačna veličina paketa se dobiva izrazom: =IF(J15=FALSE;SUM(P5:P7);SUM(P5;Q6;P7)).

Za izračun prosječnog broja paketa koji generira izvor u sekundi koristi se jednadžba broj 3 definirana u prethodnom poglavlju, a funkcija za nju glasi: =((VLOOKUP(I20;B7:D13;3;FALSE))*1000)/(VLOOKUP(I20;B7:H13;6;FALSE)*8)

Kako bi se izračunao potreban kapacitet jednog kanala koristi se funkcija: =(IF(J17=TRUE;((P8*8*P9)/2);(P8*8*P9)))/1000, temeljena na jednadžbi 4. Ako se koristi detekcija tišine na kalkulatoru se provode zakonitosti definirane jednadžbom 5. Za konačan rezultat potrebnog prijenosnog kapaciteta za VoIP uslugu, potreban kapacitet za jedan kanal se množi upisanim brojem kanala. Tablica 3, koja se koristi za proračun kapaciteta mreže, je prikazan na dnu stranice.

Tablica 10. Proračun kapaciteta

	bez cRTP	sa cRTP	
Ethernet ili FRF ili MP			Bajt
IP/UDP/RTP			Bajt
Payload			Bajt
Total packet size =			Bajt
PPS			Paketa/sekundi
Potreban kapacitet jednog kanala			kbps
Ukupan potreban kapacitet			kbps

Rad kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za uslugu VoIP u MS Excel radnom okruženju provjerava se unosom vrijednosti iz primjera definiranom u prethodnom poglavlju. Gdje je potrebno

33 kanala za komunikaciju uporabom G.729 (8 kb/s) kodeka, s cRTP, IPv6 i MP-om. Slika 9 prikazuje unesene veličine i dobivene rezultate.

The image shows a web-based calculator for VoIP capacity. It features several input fields and checkboxes for configuration, followed by two rows of calculated results. The inputs are: Kodek (G.729 (8 kbps)), Payload (20 ms), ☒ cRTP, IP je (IPv6), Link je (MP (Multi link Point-to-Point Protocol)), ☐ Detekcija tišine, and Broj kanala (33). The results are: Potreban kapacitet (396 kb/s) and Generirani broj paketa (50 pak/s).

Parametar	Unesena vrijednost
Kodek	G.729 (8 kbps)
Payload	20 ms
cRTP	☒
IP je	IPv6
Link je	MP (Multi link Point-to-Point Protocol)
Detekcija tišine	☐
Broj kanala	33
Potreban kapacitet	396 kb/s
Generirani broj paketa	50 pak/s

Slika 9. Kalkulator za proračun prijenosnog kapaciteta za VoIP uslugu

Rezultati oba proračuna se podudaraju, što dovodi do zaključka da je Kalkulator za proračun prijenosnog kapaciteta ispravan.

7. Zaključak

U ovom radu je obrađena VoIP tehnologija kroz sedam cjelina: Uvod, Prijenos govora IP protokolom, Značajke kodeka za prijenos govora, Enkapsulacija korisničkog sadržaja, Proračun potrebnog kapaciteta za uslugu VoIP, VoIP kalkulator i Zaključak.

U drugom poglavlju, „Prijenos govora IP protokolom“, obrađen je sam razvoj VoIP tehnologije, njezin osnovni princip rada, tehnike prijenosa i koraci komunikacije. Od samog pretvaranja govornog signala, enkapsulacije podataka do njihovog prijenosa. Njezina poopćena arhitektura, tehnička rješenja i izvedbe te komponente, gdje se definiraju potrebne komponente za pristup VoIP usluzi, poput *hardphone* i *softphone* rješenja. Obrađena je njena protokolarna arhitektura gdje se raspoznaju dvije vrste protokola u višim razinama TCP/IP protokolnog složaja, signalizacijski protokoli i protokoli za prijenos podataka. Definirane su i mnogobrojne prednosti VoIP tehnologija u odnosu na postojeće glasovno komunikacijske tehnologije. Poput smanjenja troškova, besplatnih dodatnih usluga, olakšanog prijenosa broja itd.

U trećem poglavlju, „Značajke kodeka za prijenos govora“, iskazana je funkcija kodeka, njihova osnovna podjela na valne i parametarske i osnovne principe rada. Zasebno su obrađeni najupotrebljavaniji kodeci za prijenos govora, te su definirani veličinama relevantnim za proračun prijenosnog kapaciteta. Zaključuje se da određene značajke pojedinih kodeka utječu na potreban prijenosni kapacitet. Vidljivo je da neki kodeci ovisno o svojim parametrima daju veću razinu kvalitete usluge, no to obično rezultira većim potrebnim prijenosnim kapacitetom.

Enkapsulacijom korisničkog sadržaja opisuje put korisničkih podataka kroz TCP/IP protokolarni složaj, definiranjem rada protokola svakog sloja i značajkama i vrijednostima zaglavlja koje svaki od protokola dodaje. Prikazuje transformaciju korisničkog sadržaja od aplikacijskog sloja gdje RTP dodaje zaglavlje od 12 B, do segmenta u transportnom sloju gdje protokol UDP dodaje zaglavlje od 8 B, do Internet sloja gdje IP dodaje 20 B za IPv4 ili 40 B za IPv6. I kako se primjenom cRTP protokola veličina zaglavlja može komprimirati na 2 odnosno 4 B. Definira se i kako odabir linka utječe na ukupnu veličinu paketa, gdje MP i FRF dodaju bajt zaglavlja, a ethernet dodaje 18 B.

U petom poglavlju je kroz primjer opisan proces izračuna prijenosnog kapaciteta, definiranjem matematičkih formula, zakonitosti i međusobnih utjecaja koji odabrane metode prijenosa govora imaju jedna na drugu i na definiranju potrebnog prijenosnog kapaciteta. Gdje se ukupna veličina paketa dobije zbrojem zaglavlja svih korištenih protokola u TCP/IP protokolnom složaju s veličinom

korisničkih informacija. Definirano je da se potreban prijenosni kapacitet, za jedan kanal, dobiva umnoškom PPS-a i ukupne veličine paketa. U primjeru je izračunat prijenosni kapacitet određene VoIP usluge.

Šesto poglavlje opisuje izradu kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za VoIP uslugu u MS Excel programskom okruženju primjenom matematičkih zakonitosti, opisanih u prethodnom poglavlju, i definiranih vrijednostima atributa najučestalijih kodeka za prijenos govora. Kroz primjer iz prethodnog poglavlja ispituje se ispravnost rada kalkulatora i dolazi do istih rezultata.

Literatura

- [1] <https://searchunifiedcommunications.techtarget.com/definition/VoIP> (preuzeto 10. kolovoza 2018.)
- [2] <http://opuskomunikacije-tim.hr/sto-je-voip/48-mrene-osnove> (preuzeto 10. kolovoza 2018.)
- [3] https://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2001/prijenos_govora.htm#2 (preuzeto 10. kolovoza 2018.)
- [4] http://www.phonet.cz/archiv/dok_cizi/Spirent_100.pdf (preuzeto 10. kolovoza 2018.)
- [5] https://www.fer.unizg.hr/download/repository/RTEK-IKU-Tema2_2016_fin.pdf (preuzeto 12. kolovoza 2018.)
- [6] <http://www.drdobbs.com/visions-of-voip/184415372> (preuzeto 17. kolovoza 2018.)
- [7] <http://www.agendadepazarino.com/voip-setup-diagram/voip-wiring-diagram/> (preuzeto 10. kolovoza 2018.)
- [8] <http://webcampresence.com/analog-and-digital-signals/computer-through-programming-language-what-are-analog-and-digital-signals-04fig01/> (preuzeto 12. kolovoza 2018.)
- [9] Ogunfunmi, T., Togneri, R., Narisimha, M.: Speech and Audio Processing for Coding, Enhancement and Recognition, Springer, New York, USA, 2015.
- [10] <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html?dtid=osscdc000283> (preuzeto 17. kolovoza 2018.)
- [11] https://www.google.hr/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiN_JmkzIjdAhXIOSwKHQ_ICCYQFjAAegQIARAC&url=https%3A%2F%2Fwww.itu.int%2Frec%2Fdologin_pub.asp%3Flang%3De%26id%3DT-REC-G.711-198811-II%2Ftype%3Ditems&usq=AOvVaw12vpE3q_mBywnH1zkwp8Lb (preuzeto 13. kolovoza 2018.)
- [12] Bošnjak, I., Mrvelj, Š.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
- [13] https://www.researchgate.net/publication/3693449_Description_of_ITU-T_Recommendation_G729_Annex_A_reduced_complexity_8_kbits_CS-ACELP_codec (preuzeto 13. kolovoza 2018.)
- [14] Mrvelj, Š., Matulin, M.: Autorizirana predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017
- [15] Kavran, Z., autorizirana predavanja iz kolegija Računalne mreže, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.

- [16] <https://plus.google.com/photos/117025684792757619312/album/5910964786152803409/5910964785182326578?authkey=CLzlkPaQkqKK1wE> (preuzeto 17. kolovoza 2018.)
- [17] https://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/voip_protocols.pdf (preuzeto 21. kolovoza 2018.)
- [18] <http://beste.globalaffairs.co/udp-format/f-packet-formats-and-constants.html> (preuzeto 19. kolovoza 2018.)
- [19] <https://codingsec.net/2016/05/decoding-ip-layer-python> (preuzeto 21. kolovoza 2018.)
- [20] https://www.researchgate.net/figure/Ethernet-frame-format_fig9_220413889 (preuzeto 21. kolovoza 2018.)
- [21] Davidson, J., Peters, J.F., Bhatia, M., Kaldindi S., Mukherjee, S.: Voice over IP Fundamentals, 2nd Edition, Cisco Press, Indianapolis, USA, 2006.

Popis kratica

ADPCM - Adaptive Differential Phase Code Modulation

ATM - Asynchronous Transfer Mode

CBR - Codec Bit Rate

CELP - Code-Excited Linear Prediction

CLID - Calling Line Identification

CRC - Cyclic Redundancy Check

cRTP - Compressed Real-Time Protocol

CS-ACELP - Conjugate-Structured Algebraic Code-Excited Linear Prediction

CSS - Codec Sample Size

CSI - Codec Sample Interval

DSP - Digital Signal Processor

FR - Frame Relay

FRF - Frame Relay Forum

IP - Internet Protocol

LAN – Local Area Network

LD-CELP - Low Delay - Code Excited Linear Prediction

MAC - Media Access Control

MCU - Multi-point Control Unit

MGC - Media Gateway Controllers

MGCP - Media Gateway Control Protocol

MOS - Mean Opinion Score

MP - Multilink Point-to-Point Protocol

MP-MLQ - Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization

MPLS - Multiprotocol Label Switch-ing

PCM - Pulse-Code Modulation

PPS - Packets Per Second

PSTN – Public Switched Telephone Network

RAS - Registration, Admission and Status

RSVP - Resource Reservation Protocol

RTCP - Real Time Control Protocol

RTP - Real-time Transport Protocol

RTSP - Real Time Streaming Protocol

SDP - Session Description Protocol

SS7 - Signalling System 7

SIP - Sesion Initiation Protocol

TCP - Transport Control Protocol

TCP/IP - Transport Control Protocol/Internet Protocol

UDP - User Datagram Protocol

VoIP - Voice over Internet Protocol

VPS - Voice Payload Size

WAN – Wide Area Network

WebRTC - Web Real Time Communication

xDSL - Asymetric Digital Subscriber Line

Popis slika

Slika 1. Prikaz elemenata VoIP mreže, [5]	7
Slika 2. VoIP protokolna arhitektura, [6].....	8
Slika 3. Prikaz PCM modulacije, [9]	12
Slika 4. Proces enkapsulacije korisničkih informacija, [16]	22
Slika 5. UDP segment, [18].....	23
Slika 6. IP paket, [19]	23
Slika 7. Ethernet okvir, [20]	24
Slika 8. Korisničko sučelje	28
Slika 9. Kalkulator za proračun prijenosnog kapaciteta za VoIP uslugu.....	31

Popis tablica

Tablica 1. Vrijednosti G.711 kodeka	17
Tablica 2. Vrijednosti G.729 kodeka	18
Tablica 3. Vrijednosti G.723.1 (5,3 kb/s) kodeka	18
Tablica 4. Vrijednosti G.723.1 (5,3 kb/s) kodeka	19
Tablica 5. Vrijednosti G.726 kodeka	20
Tablica 6. Vrijednosti G.728 kodeka	21
Tablica 7. Veličine kodeka.....	26
Tablica 8. Tablica veličine zaglavlja protokola.....	29
Tablica 9. Tablica unosa	29
Tablica 10. Proračun kapaciteta.....	30



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 **Izrada kalkulatora za proračun prijenosnog kapaciteta za uslugu**

VoIP u MS Excel programskom okruženju

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

U Zagrebu, 5.9.2018

Student/ica:

Frano Kralj
(potpis)