

# Izrada računalne aplikacije za izračun kapaciteta usluge VoIP

---

**Fasoli, Marsel**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:470546>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI**

**Marsel Fasoli**

**IZRADA RAČUNALNE APLIKACIJE ZA IZRAČUN**  
**KAPACITETA USLUGE VOIP**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zagreb, 2019.**

Zagreb, 28. ožujka 2019.

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

## **ZAVRŠNI ZADATAK br. 5139**

Pristupnik: **Marsel Fasoli (0036496903)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Izrada računalne aplikacije za izračun kapaciteta usluge VoIP**

Opis zadatka:

Prikazati osnovne značajke VoIP tehnologije: karakteristike i uloga IP protokola, značajke prijenosa govora, tehnike kodiranja i dekodiranja signala, enkapsulacija korisničkog sadržaja. Korištenjem odgovarajućeg programskog jezika, razviti aplikaciju za izračun potrebnog kapaciteta za uslugu VoIP koja podržava izbor nekoliko različitih kodeka.

Mentor:



---

doc. dr. sc. Marko Matulin

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

---

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## **ZAVRŠNI RAD**

### **IZRADA RAČUNALNE APLIKACIJE ZA IZRAČUN KAPACITETA USLUGE VOIP**

### **APPLICATION DEVELOPMENT FOR DETERMINING CAPACITY FOR THE VOIP SERVICE**

Mentor: doc. dr. sc. Marko Matulin

Student: Marsel Fasoli

JMBAG: 0036496903

Zagreb, rujan 2019.

## SAŽETAK

Glavna tema ovog rada je opis izrade računalne aplikacije koja računa prijenosni kapacitet za uslugu *Voice over Internet Protocol* (VoIP), korištenjem *c#* programskog jezika unutar programske aplikacije MS Visual Studio te povezivanje aplikacije s bazom podataka koja sadrži podatke koji su potrebni za računanje tog kapaciteta. Ostatak rada uvod je u sam princip rada VoIP tehnologije, njegovu arhitekturu, rad kodeka te opis i uvođenje formula koje se koriste za računanje prijenosnog kapaciteta.

**Ključne riječi:** prijenosni kapacitet, VoIP, računalna aplikacija, kodek

## SUMMARY

The main topic of this paper is the making of a computer application that calculates transmission capacity of VoIP (Voice over Internet Protocol) service by using *c#* programming language and MS Visual Studio programming application and linking that application with a database that contains data that is used for calculations of the capacity. The rest of this paper is an introduction to work principles of VoIP technology, its architecture, codes and description and introduction of some formulas that are used for calculating transmission capacity.

**Key words:** transmission capacity, VoIP, computer application, code

## SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. IP PROTOKOL KAO PROTOKOL ZA PRIJENOS GOVORA.....	3
2.1. VoIP tehnologija .....	3
2.2. VoIP arhitektura.....	6
2.3. Pozitivni i negativni učinci VoIP-a.....	8
2.4. Razina kvalitete usluge .....	9
3. KODIRANJE I DEKODIRANJE SIGNALA.....	10
3.1. G.711 kodek.....	14
3.2. G.729 kodek.....	15
3.3. G.726 kodek.....	16
4. ENKAPSULACIJA SADRŽAJA KROZ TCP/IP SLOŽAJ KOD USLUGE VoIP.....	18
5. POSTUPAK IZRAČUNA KAPACITETA KOD USLUGE VoIP .....	21
6. IZRADA APLIKACIJE ZA IZRAČUN KAPACITETA .....	24
7. ZAKLJUČAK .....	31
LITERATURA.....	32
POPIS KRATICA .....	34
POPIS ILUSTRACIJA.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
POPIS SLIKA .....	36

## 1. UVOD

*Voice over Internet Protocol* (VoIP) definira se kao transport telefonskih poziva korištenjem *Internet Protocola* (IP). To je protokol mrežnog sloja koji pruža nepouzdanu isporuku informacija, a najvažnija mu je uloga prosljeđivanje paketa u odgovarajuću sljedeću točku usmjeravanja. Razlika između klasične telefonije i VoIP-a je u tome što VoIP koristi komutaciju paketa, gdje se informacije dijele na manje dijelove, a za razliku od njega, klasična telefonija koristi komutaciju kanala, gdje se jedan kanal rezervira tijekom cijelog razgovara te se informacije prenose isključivo jednim kanalom. Popularnost VoIP-a danas sve više raste te ono preuzima velik dio tržišta. Pretpostavlja se da će u budućnosti, VoIP, u konačnosti potpuno zamjeniti klasičnu telefoniju.

Ovaj se rad sastoji od sedam cjelina u kojima se pobliže objašnjava VoIP tehnologija i izrada kalkulatora za izračun prijenosnog kapaciteta. Radi se o sljedećim cjelinama:

1. Uvod,
2. IP protokol kao protokol za prijenos govora,
3. Kodiranje i dekodiranje signala,
4. Enkapsulacija sadržaja kroz TCP/IP složaj kod usluge VoIP,
5. Postupak izračuna kapaciteta kod usluge Voip,
6. Izrada aplikacije za izračun kapaciteta,
7. Zaključak.

Drugo poglavlje opisuje i objašnjava sam IP protokol kao i IP telefoniju među koju spada i VoIP. Također opisuje se i protokolarna arhitektura VoIP-a te se uspoređuje VoIP tehnologija s nekada standardnom Public Switched Telephone Network (PSTN) tehnologijom kroz opis prednosti i nedostataka. Također, u ovom je dijelu detaljno opisana i sama arhitektura VoIP – a.

U trećem poglavlju definirani su pojmovi kodiranja i dekodiranja signala te je uveden pojam kodek i opisano je na koji način on funkcionira. Također navedeni su i opisani najčešće upotrebljavani kodeci kod VoIP tehnologije.

U četvrtom poglavlju dani su neki osnovni podaci o *Transmission Control Protocol/Internet Protocol* (TCP/IP) složaju te je opisan način na koji se informaciji dodaju zaglavlja pojedinog dijela TCP/IP složaja te njihova uloga u prijenosu informacije do odredišta.

Nakon što su u drugom, trećem i četvrtom poglavlju dane osnovne informacije o VoIP tehnologiji, peto poglavlje bavi se uvođenjem i opisivanjem prometnih veličina, metoda te samog procesa izračuna prijenosnog kapaciteta.

Šesto poglavlje bavi se opisom načina izrade programske aplikacije unutar programskog okruženja „MS Visual Studio“.

U posljednjem poglavlju ukratko su opisana sva saznanja i informacije stečene izradom ovog rada.



## 2. IP PROTOKOL KAO PROTOKOL ZA PRIJENOS GOVORA

IP telefonija je naziv za tehnologije koje koriste paketnu mrežu baziranu na IP protokolu za razmjenu glasovnih te drugih oblika informacija koje se tradicionalno prenose putem klasične telefonske mreže uz nadogradnju svih tehnološki naprednih komunikacijskih tehnika. Isto tako, VoIP je zapravo IP telefonija u užem smislu riječi, što znači da se odnosi na dio IP telefonije koji glas prenosi putem bilo koje paketske mreže od točke A – pozivatelja, do točke B – odredišta.

IP je protokol koji pruža nepouzdanu isporuku informacija, bez garancije isporuke. Internet protokol prima podatke, zatim dodaje zaglavlje koje sadrži informaciju o primljenim podacima i prosljeđuje ih. Ti paketi se nazivaju Internet protokol datagrami. Najvažnija uloga IP-a je slanje paketa u odgovarajuću sljedeću točku usmjeravanja. Potrebni podaci o usmjeravanju se nalaze u IP zaglavlju. Ako je veličina podataka koji dolaze iz transportnoga sloja veća od maksimalne veličine koju kanal može prihvatiti, IP obavlja fragmentaciju i ponovno sklapanje paketa, [1].

### 2.1. VoIP tehnologija

VoIP tehnologija još nosi naziv „tehnologija budućnosti“ jer ostvaruje tehničke preduvjete za razvijanje novih poslovnih rješenja, daje temelje daljnjoj nadgradnji novih naprednih usluga i što je najbitnije od svega ostvaruje iznimno velike financijske uštede. Korištenjem IP telefona ili *gateway-a* i SIP protokola (eng. *Session Initiation Protocol*), VoIP obavlja razmjenu glasovnih pa i drugih oblika informacija koje su se do sada prenosile putem analogne telefonske mreže. Isto tako ih digitalizira, komprimira i pakira u pakete koje, prilikom poziva prenese kroz postojeću Internet vezu uz ostali redovni podatkovni promet.

Ako započeti poziv završi u istoj mreži, npr. poziv s jednog broja na drugi unutar VoIP DIREKT-a, može za korisnika biti u potpunosti besplatan. Isto tako ako ide prema javnoj govornoj mreži drugih operatera, cijena poziva može biti višestruko niža od cijene poziva koji je upućen preko klasičnog telekom operatera. Na taj način se ostvaruje ušteda u telefonskim troškovima i do 90%, [2].

PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*), javna telefonska mreža koristi sustav koji primjenjuje tehnologiju komutacije kanala. To znači da je svakom pojedinačnom razgovoru dodijeljen predodređeni govorni kanal. Telefonske mreže su na migracijskom putu prema VoIP-u. VoIP sustav obavlja digitalizaciju analognog signala, kodiranje i kompresiju, zatim

segmentaciju u pakete i prijenos do odredišta. Takva komprimirana digitalna poruka ne zahtijeva govorni kanal. Umjesto toga, poruka može biti poslana preko istih podatkovnih linija koje se koriste za podatkovne mreže te predodređeni kanal nije više potreban. Dok je VoIP tehnologija bila u ranom razvoju bilo je dosta problema s kvalitetom usluga u odnosu na analognu telefoniju, ali se tehnologija ubrzano poboljšava, [1].

VoIP se definira kao transport telefonskih poziva korištenjem IP-a. Pozivi mogu biti upućeni s analognih telefonskih aparata putem odgovarajućih ATA (eng. *Analog Telephone Adapter*) pretvornika, IP telefona ili posebnih aplikacija s osobnih računala. VoIP tehnologije uključuju i koriste protokole kao što su, [3]:

- RTP (eng. *Real-time Transport Protocol*) protokol za transport multimedijalnih podataka i
- SIP za signalizaciju, tj. uspostavljanje i kontroliranje sesije. SIP je protokol standardiziran od strane organizacije IETF (eng. *Internet Engineering Task Force*), a veliku raširenost u budućnosti jamči mu prihvaćanje od strane najvećih proizvođača telekomunikacijske opreme. SIP je prihvaćen od strane 3GPP organizacije (eng. *3rd Generation Partnership Project*) kao glavni signalizacijski protokol za multimedijalne sesije u mrežama iduće generacije.

Prijenos glasovnih informacija putem IP protokola je za korisnike postao vrlo privlačan s obzirom na širokopojasni mrežni pristup koji pruža, tj. xDSL (eng. *x Digital Subscriber Line*) neograničenoj usluzi. U VoIP mrežama pretvaranje glasa u podatkovne pakete obavlja se gotovo trenutno (proces digitalizacije, kompresije i paketizacije), u realnom vremenu. Proces stvaranja paketa i njihov put kroz mrežu u kojem sudjeluju signalizacijski protokol SS7 (eng. *Signaling System 7*) i drugi protokoli TCP/IP protokolnog složaja, opisan u nastavku.

- Nakon što se uspostavi veza korištenjem signalizacijskih protokola, korisnik govori u mikrofonski. Analogni glasovni signal se digitalizira, tj. konvertira u linearni PCM (eng. *Pulse-Code Modulation*) digitalni zapis.
- Iz PCM zapisa se uklanjaju šumovi i jeka, a dodatno se obavlja i analiza radi stišavanja praznih dijelova i detekcije osnovnog tona.
- Dobiveni PCM zapisi se konvertiraju u glasovne segmente, komprimiraju i kodiraju.
- Glasovni segmenti se integriraju u glasovne pakete tako da im se dodaju zaglavlja protokola. Najprije se dodaje zaglavlje RTP (eng. *Real-time Transport Protocol*)

protokola, gdje se formira paket kojem je dodano zaglavlje UDP (eng. *User Datagram Protocol*) protokola s podacima o izvorištu i odredištu. U konačnici paket sadrži sve informacije uključujući i IP adresu odredišta.

- Paketi se šalju putem neke paketske mreže, npr. Internet mreže, pri čemu usmjerivači i preklopnici na putu pregledavaju prethodno upisanu informaciju o odredištu paketa i usmjeravaju pakete.
- Po dolasku na odredište, paketi prolaze obrnutu proceduru za reprodukciju glasa. Svi IP paketi su numerirani, a da bi se dobio smislen glasovni oblik, IP paketi se moraju posložiti po potrebnom redoslijedu.

Kvaliteta primljenoga audio signala ovisi o načinu kodiranja govora te kašnjenju i varijacijama kašnjenja pri prijenosu govornih paketa mrežom. Algoritam za kodiranje govora mora raditi u stvarnome vremenu i mora imati zadovoljavajuću kvalitetu. Isto tako, algoritam mora imati sposobnost rekonstruiranja paketa koji su izgubljeni jer se u komunikaciji u stvarnom vremenu izgubljeni paketi ne šalju ponovno (kod govora ne smije biti retransmisije), jer bi to unijelo dodatna kašnjenja koja nisu prihvatljiva.

Prijemna strana mora generirati audio signal u vremenu u kojemu bi se trebao reproducirati izgubljeni paket, da bi se omogućilo izbjegavanje prekida u razgovoru. Ako je kašnjenje u mreži preveliko, sugovornicima će teško održavati normalan razgovor. Što je kašnjenje veće tempo razgovora je sporiji. Najveće kašnjenje koje korisnici mogu tolerirati je oko 200 ms (eng. *Round Trip Delay*), [2].

Osim kašnjenja zbog kompresije i pakiranja, najveći ograničavajući faktor za pružanje prihvatljive kvalitete usluge je kašnjenje i varijacije kašnjenja koje unosi prijenos IP mrežom. Kako bi se kašnjenje svelo na prihvatljivu mjeru moraju se koristiti mrežni elementi – usmjeritelji i LAN prespojnice (eng. *Local Area Network Switch*), koji imaju implementirane odgovarajuće mehanizme kao npr. diferencijacija usluga (npr. *Diffserv*). Ti mehanizmi mogu govornoj informaciji dati veći prioritet pri usmjeravanju i prijenosu pred podatkovnim prometom. Na taj način će govorni paketi, nakon što se nađu u tim elementima, manje ostajati u njihovim spremnicima čekajući na usmjeravanje i daljnju predaju u IP mrežu.

RSVP (eng. *Resource Reservation Protocol*) protokol za rezervaciju resursa i MPLS (eng. *Multiprotocol Label Switching*) višeprotokolno komutiranje temeljem oznaka mogu omogućiti govornom prometu rezervaciju prijenosnih kapaciteta u mrežnim elementima pri

uspostavi veze. Na taj način iznenađan porast prometnog opterećenja u različitim mrežnim elementima neće utjecati na kvalitetu veza koje su prethodno uspostavljene.

Govor se prenosi IP mrežama u vrlo malim paketima, značajno manjim od paketa koji prenose podatkovne informacije, a postoje i razlozi zašto je to tako. Prvi razlog je to što bi na strani gdje se generira promet nastalo puno veće kašnjenje po pojedinom paketu da pristupnik iz PSTN mreže uzima govornu informaciju tijekom velikoga vremenskog odsjeka i tek nakon toga je komprimira i pakira u jedan paket. Drugi je razlog što bi izgubljeni ili oštećeni veliki IP paketi s puno govorne informacije rezultirali time da strana koja ih prima ne može reproducirati nikakvu korisnu govornu informaciju tijekom dužega perioda. To bi dovelo do značajnoga smanjenja kvalitete usluge (eng. *Quality of Service* - QoS).

Kako bi mreža mogla što uspješnije prenijeti veliku količinu malih i brojnih IP paketa s govornom informacijom, IP mrežu treba graditi korištenjem usmjeritelja koji imaju iznimno dobre performanse što se tiče brzine usmjeravanja i pregledavanja tablica usmjeravanja [2].

## **2.2. VoIP arhitektura**

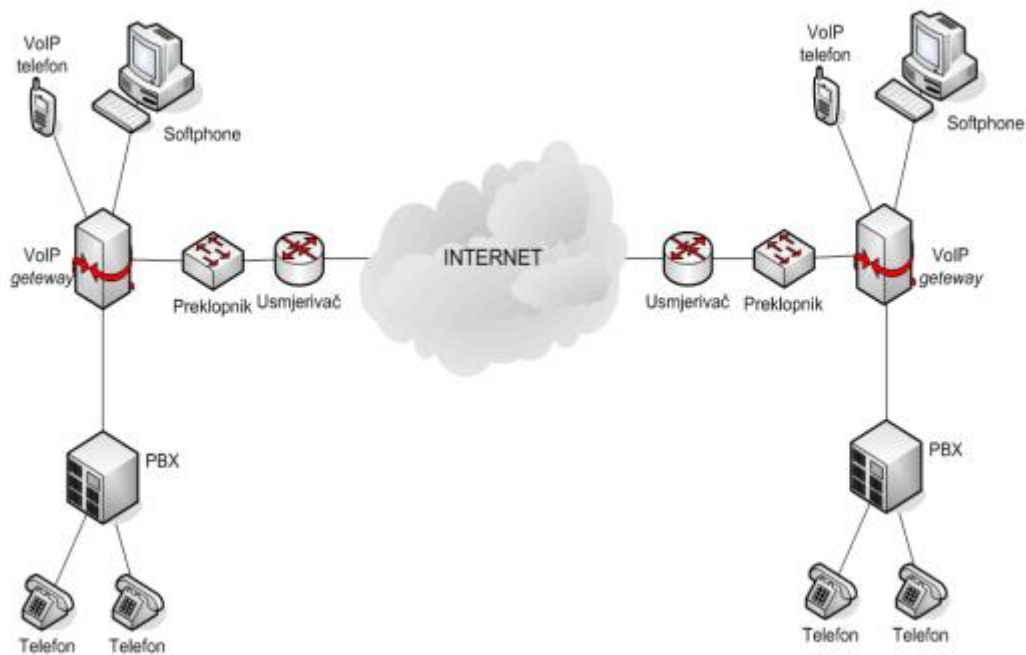
VoIP tehnologija omogućuje korištenje IP mreže za glasovne aplikacije kao što su telefonija, glasovne poruke i telekonferencija. VoIP isto tako definira način na koji će se odraditi prijenos glasovnih poziva putem IP mreže, uključujući digitalizaciju i paketizaciju glasovnih tokova. VoIP sustavi pretvaraju glas u digitalan signal koji je pogodan za prijenos IP mrežom. Kada korisnik poziva tradicionalni telefonski broj, signal se pretvara u tradicionalni telefonski signal prije nego stigne do odredišta.

Također, VoIP daje mogućnost da se poziv uputi izravno s računala, VoIP telefona ili tradicionalnih analognih telefona koji su povezani posebnim adapterom. Na slici 1 prikazana je VoIP arhitektura, a u nastavku će biti opisane njene komponente. Unatoč tome što imaju različitu tehnologiju i pristup pružanju prijenosa glasovnih usluga, neke od komponenti koje čine PSTN mrežu ujedno su i dio VoIP mreže. VoIP mreže moraju omogućavati sve funkcionalnosti koje omogućavaju i javne telefonske mreže s dodatkom pružanja usluga prijenosa podataka i signala na postojeću javnu mrežu. Za VoIP implementaciju potrebne su četiri glavne komponente:

- Mrežna infrastruktura - podržava VoIP tehnologiju i može se gledati kao jedna logička glasovna mreža distribuirana preko IP okosnice koja pruža konekciju i prijenos

glasovnih paketa preko mreže. IP infrastruktura mora omogućiti prijenos glasovnih paketa bez ikakvih poteškoća.

- Procesori (kontroleri) poziva - to su moduli koji su potrebni za uspostavljanje i nadziranje poziva, autorizaciju korisnika, pružanje osnovnih telefonskih usluga i kontroliranje brzine prijenosa za svaki link.
- Prevodioci (eng. *Media/signaling gateways*) - potrebni su za nastajanje poziva, detekciju poziva i pretvorbu glasa iz analognog u digitalni oblik. Samim time to su komponente koje omogućuju prelazak između različitih tehnologija, kao npr. prelazak između IP i ISDN tehnologija.
- Korisnički VoIP terminali - potražnja za VoIP uslugama je uzrokovala široki asortiman korisničkih tzv. "end-user" proizvoda kao što su:
  - VoIP terminali – inače ti proizvodi imaju dodatne mogućnosti koje nadilaze obične telefone. Neki VoIP terminali imaju osnovne funkcionalnosti koje pružaju iste mogućnosti kao i konvencionalni telefoni.
  - Konferencijski VoIP terminali – pružaju istu vrstu usluge kao i obični konferencijski telefoni, ali kako se komunikacija odvija paketskom mrežom korisniku je dozvoljeno koordiniranje tradicionalnih podatkovnih usluga (npr. što se prikazuje na monitorima na oba kraja razgovora).
  - Mobilni VoIP terminali – bežične VoIP jedinice postaju sve popularnije, pogotovo što organizacije već imaju ugrađene osnovne 802.11Q mrežne komponente. Bežični VoIP predstavlja veliki sigurnosni problem, pogotovo zbog mnogih poznatih nedostataka 802.11Q protokola.
- Osobna računala tzv. Soft Phone sustavi – sa slušalicama, aplikacijom (npr. Skype, 5 Microsoft NetMeeting) i konekcijom na Internet, svaki PC ili radna stanica mogu biti iskorišteni kao VoIP komponenta.



**Slika 1. VoIP arhitektura, [4]**

### 2.3. Pozitivni i negativni učinci VoIP-a

VoIP ima niz prednosti u usporedbi s tradicionalnom telefonskom mrežom. Jedna od prednosti je u mogućnostima proširenja, odnosno priključenju dodatne linije u ured ili kućno okruženje, za razliku od tradicionalne telefonije gdje sve počinje i završava slobodnom bakrenom paricom. IP telefonija ne ovisi izravno o lokaciji korisnika, a uz to nudi i dodatne sadržaje. To su ponajprije identifikacija pozivatelja, preusmjeravanje poziva i glasovna pošta, čime postaje zanimljiva i postojećim korisnicima fiksne linije, koje su prethodno navedene usluge dodatno plaćali.

Naravno, postoje i ograničenja, osim kvalitete komunikacijskog kanala i pouzdanosti internetske veze, isto kao i kod tradicionalne telefonije, nije moguće izravno osigurati tajnost komunikacije na jednostavan način. Najprikladnije rješenje uočenih tegoba je enkripcija sadržaja i provjera autentičnosti, primjenom postojećih sigurnosnih protokola u realnom vremenu.

Problem su također i pozivi u nuždi, koje VoIP operateri ne mogu jednostavno usmjeriti na brojeve lokalnih hitnih službi, osim u slučaju ako su korisnici VoIP operaterima dali podatak o svojem prebivalištu. Ponajprije zbog cijena usluge i približavanja tradicionalnoj telefoniji, VoIP ima svjetlu budućnost kod najvećeg broja korisnika. Tradicionalna telefonija oslanja se

uglavnom na gradsku mrežu i redundantno napajanje istosmjernom strujom iz akumulatora unutar telefonskih centrala, dok se VoIP kod korisnika oslanja isključivo na neprekidno napajanje kao krajnju mjeru u slučaju prekida kontinuirane opskrbe električnom energijom, [1].

#### 2.4. Razina kvalitete usluge

Kod IP telefonije je kritična stvar osiguranje QoS kvalitete usluge. Razina kvalitete usluge može se promatrati kroz niz parametra koji uključuju, [1]:

- minimalnu propusnost (*bandwidth*),
- mrežnu latenciju i kašnjenje (*delay*),
- gubitak paketa (*loss*),
- šumove,
- jeka (*echo*),
- sigurnost i opću pouzdanost,
- varijaciju kašnjenja (*jitter*).

Niska razina kvalitete usluge je glavni argument protiv široke primjene VoIP-a. Varijacije kašnjenja (*jitter*) mogu se ukloniti tako da paketi pristižu u međuspremnik (*buffer*), koji će kompenzirati neujednačenost pristizanja paketa. Proizvođači hardvera i softvera imaju težak zadatak, proizvesti prijenosni sustav koji će osigurati visoku razinu kvalitete usluge.

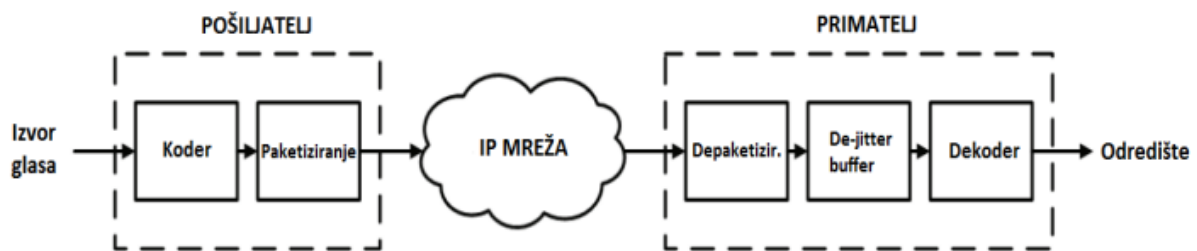
Objašnjenje za takve pojave donosi UDP protokol koji ne jamči da će paketi podataka na odredištu biti primljeni istim redoslijedom. Kvaliteta VoIP komunikacija u praksi nije ujednačena: pozivi u zemlje s razvijenom internetskom infrastrukturom i VoIP regulativom su vrlo kvalitetni i približavaju se tradicionalnoj telefoniji, dok pozivi u zemlje koje nemaju razvijenu IP mrežu, mogu biti problematični. Ako putanja u komunikaciji uključuje satelitske veze, kašnjenje signala može biti jače izraženo (čak 400 do 600 ms za geostacionarnu putanju), u tom slučaju idući prijamni čvor mora presložiti pakete koji kasne prema željenom redoslijedu.

Drugi problem VoIP-u predstavljaju barijere, npr. vatrozidi i NAT (eng. *Network Access Translation*) uređaji koji maskiraju adrese. Unatoč svim problemima, nedostaci se brzo uklanjaju i samim time se svjedoči širokoj rasprostranjenosti VoIP-a, [1].

### 3. KODIRANJE I DEKODIRANJE SIGNALA

Svaki VoIP sustav ima tri glavna elementa bez kojih nije moguće ostvariti glasovnu komunikaciju, a to su (slika 2):

- pošiljatelj,
- primatelj (odnosi se na hardveresko/softversku opremu u vlasništvu korisnika) te
- IP mreža preko koje se obavlja udaljeni prijenos i komutacija VoIP paketa.



**Slika 2. Osnovni prikaz VoIP sustava, [5]**

Kodiranje je pretvaranje kvantiziranog signala u binarno kodnu grupu, odnosno proces pretvaranja podataka u traženi format, za potrebe procesuiranja informacija. To uključuje:

- sastavljanje i pokretanje programa
- prijenos podataka, pohrana i kompresija/dekompresija
- primjena obrade podataka.

Kod kodiranja se podrazumijeva upotreba kodova pri promjeni originalnih podataka u neki drugi format. Signal mora biti obrađen na način da sadrži prepoznatljive promjene i za pošiljaoca i za primaoca. S obzirom na to da postoje dvije vrste signala, digitalni i analogni, postoje četiri mogućih tehnika kodiranja:

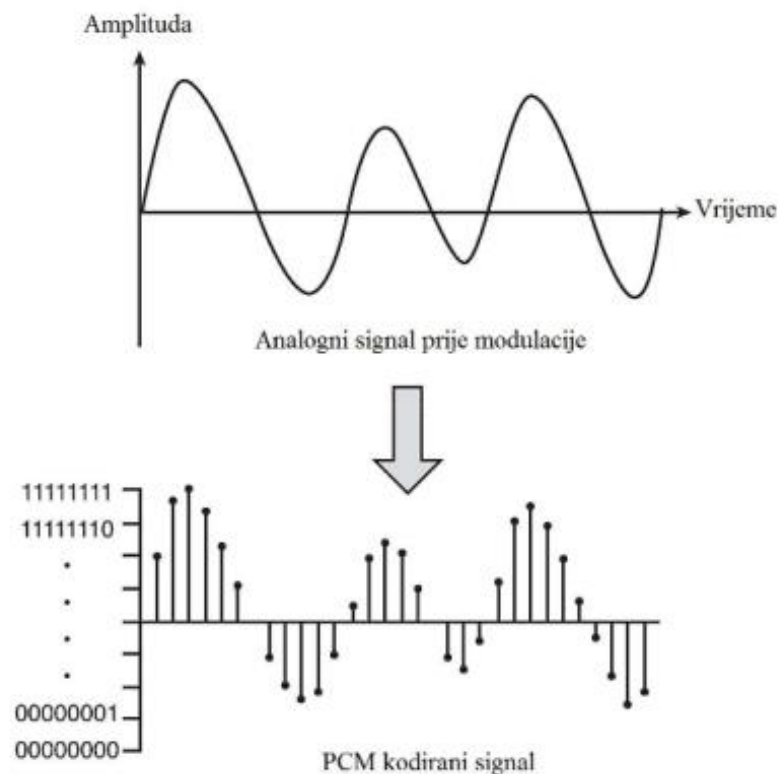
- digitalno u digitalno
- digitalno u analogno
- analogno u analogno
- analogno u digitalno.

Digitalni signal predstavlja niz diskretnih impulsa. Svaki puls je jedan element signala. Binarni podaci se prenose kodiranjem. Prijemnik treba prepoznati trajanje svakog bita, odnosno njegov točan početak i kraj. A/D pretvarač s  $N$  izlaznih razina ima  $n$ -bitnu rezoluciju:  $n = \log_2(N)$ , tj. potrebno je  $n$  bita za kodiranje  $N$  kodnih riječi za  $N$  diskretnih izlaznih razina. Razlika između



digitalnih kodova dviju susjednih razina signala na izlazu kvantizatora/kodera je najmanje značajan bit (eng. *Least Significant Bit* - LSB) n-bitne kodne riječi, tako da razlika dviju susjednih razina  $\Delta U$  odgovara LSB razlici digitalne kodne riječi. Prema formuli  $n = \log_2(N)$ , može se zaključiti da je za 8 bitnu informaciju potrebno 256 razina (amplituda) jer je  $2^8 = 256$ .

Kodek (eng. *Codec*) je uređaj ili računalni program koji 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 PCM pulsno-kodnu modulaciju. PCM je jednostavan i prenosi ne samo govor, nego i moderne signale, uključujući prijenos *faksimail-a*, bez dodatnih zahtjeva, [6].



**Slika 3. PCM modulacija, [7]**

Govorni signal prije modulacije je analogni, a za transmisiju kroz digitalnu mrežu ga je potrebno kodirati. Nakon što je kodiran, signal poprima digitalni oblik i njegova vrijednost je iskazana u nizu nula i jedinica, kao što se vidi na slici 3. Za smanjenje potrebnih prijenosnih kapaciteta 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 ustvari i ne primijeti.

Prema [6], prijammnik 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, prema tome 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 pod opsege koji se zasebno kodiraju, pri čemu se važniji pod opsezi kodiraju preciznije s više bitova, a manje važni pod opsezi 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, [8].

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.

Određeni atributi koji čine kodeke su, [9]:

- CBR (eng. *Codec Bit Rate*) - 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).
- CSS (eng. *Codec Sample Size*) - veličina uzorka kodeka izražena u bajtovima (Byte). To je količina bajtova na kojim su snimljeni podaci glasovnog signala, digitalnim procesorom signala (eng. *Digital Signal Processor*), za neki određeni vremenski

interval uzimanja uzorka. Na primjer, kodek 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 (eng. *Codec Sample Interval*) - 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 (eng. *Mean Opinion Score*) - 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 (eng. *Voice Payload Size*) - 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 može biti izražena i 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 - (eng. *Packets Per Second*) 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**

Godine 1972. u ITU-T preporuci G.711, [18] definiran je kodek G.711. Ovaj kodek se temelji na pulsno kodnoj modulaciji govornog signala. Unutar G.711 preporuke definirani su A i  $\mu$  zakoni algoritma kompresije. U svijetu, osim na području Sjeverne Amerike, uglavnom se koristi A zakon kompresije. Signal se filtrira (NF filter) i odabire frekvencijom od 8 kHz, prije obrade govornog signala u G.711 kodeku, 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 se kodiraju s 8 bita, odatle i naziv PCM. 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  $\mu$ s). G.711 spada u grupu valnih kodeka, [10]. Kodek G.711 koristi uniformnu PCM modulaciju koja podrazumijeva uporabu 13 bitova, što 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, a 13. bit definira znak regije. Govorni signal se kodira određivanjem u koju regiju spada i potom se uzima 12-bitni kod regije ispred kojega se stavlja znak regije. Uniformni pristup označuje jednak pristup za obje regije, tj. šum kvantizacije je u prosjeku uvijek isti bez obzira na razinu signala. Ovaj pristup nije optimalan zbog toga što niske razine govornog signala treba preciznije kvantizirati nego visoke razine govornog signala.

Iz tog razloga se koristi A zakon kompresije koji prepoznaje logaritamsku prirodu govornog signala, [11]. 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 reći 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, [10].

### **3.2. G.729 kodek**

Kodek G.729 definiran je u ITU-T preporuci G.729, [18]. Temelji se na CS-ACELP (eng. *ConjugateStructured Algebraic Code-Excited Linear Prediction*) 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. Na ACELP algoritmu se temelji velik broj postojećih kodeka, [12]. 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. Odsalani parametri su koeficijenti Low-Pass filtera, indeksi fiksnog i adaptivnog rječnika, kao i koeficijenti pojačivača koji se nalaze iza adaptivnog i fiksnog rječnika u dekoderu. 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, [12].

### 3.3. G.726 kodek

G.726 kodek definiran je u ITU-T preporuci G.726, [18]. On obavlja CS-ACELP (eng. *Conjugate Structured Algebraic Code-Excited Linear Prediction*) modulaciju govornog signala i pripada u skupinu valnih kodeka. G.726 kodek ima više verzija koje se razlikuju 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. ADPCM radi na principu smanjenja protoka 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.

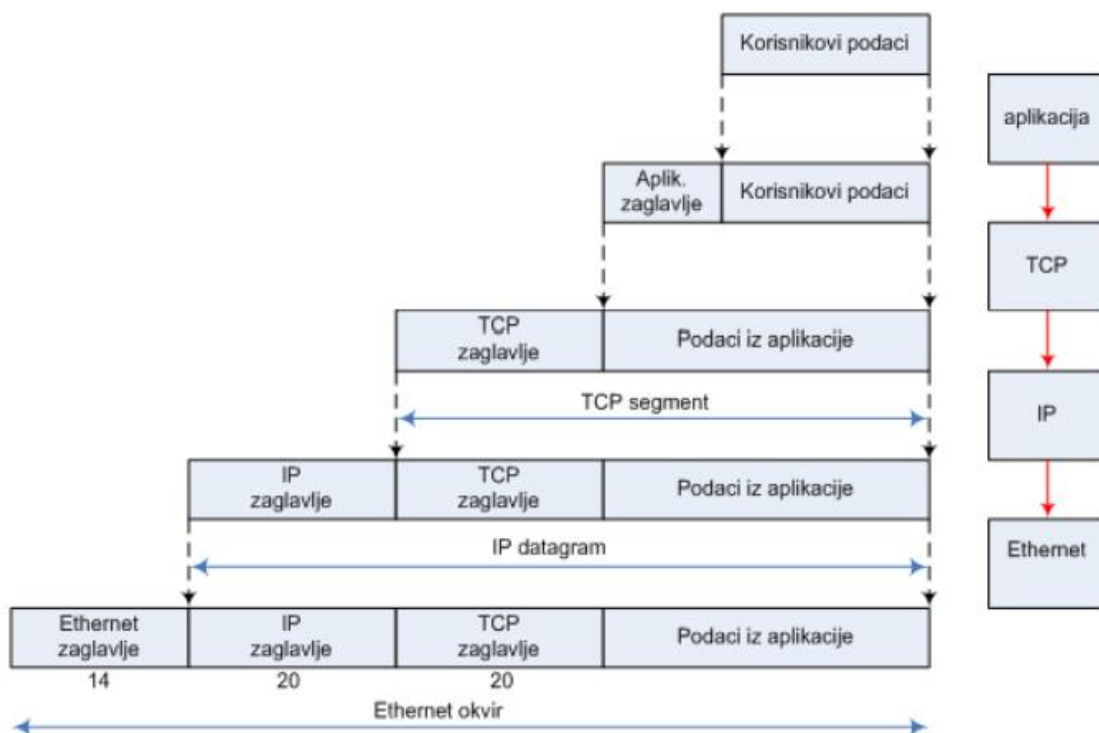
G.726 kodek u prediktivnom filteru koristi šest prethodnih razlika (razlika uzoraka i njihovih procjena), te dva prethodna rekonstruirana uzorka kako bi se odredila procjena za uzorak govornog signala trenutno u obradi i tako se proračunom moglo doći do razlike trenutnog uzorka i njegove procjene. Za 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  $\mu$ 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 PPS (paketa/s) 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, [9].

#### 4. ENKAPSULACIJA SADRŽAJA KROZ TCP/IP SLOŽAJ KOD USLUGE VoIP

TCP/IP model definira četiri razine telekomunikacijskog sustava kroz koje informacija prolazi na putu do odredišta. 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, [13]. Na slici 4 prikazan je proces enkapsulacije korisničkih informacija.



Slika 4. Proces enkapsulacije korisničkih informacija, [13]

Na transportnom sloju obavlja se 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 čine podatak i zaglavlje transportnog sloja. Transportni sloj podatku dodaje zaglavlje TCP ili UDP protokola, a ono informacije koje omogućuju primatelju podataka ispravno sastavljanje informacija. VoIP tehnologija zahtijeva prijenos informacija u stvarnom vremenu i prema tome ona koristi UDP



protokol. Izgled UDP segmenta prikazan je na slici 5, a sastoji se od adrese izvorišnog i odredišnog porta, *length* i *checksum* kojim se na odredištu provjerava ispravnost segmenta [14].



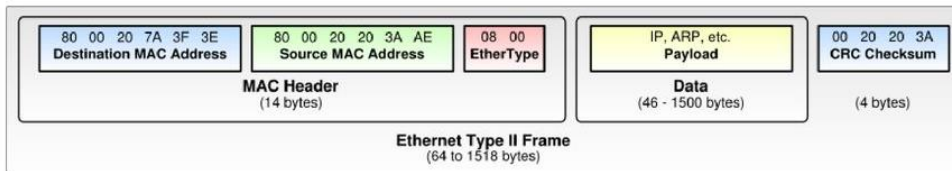
**Slika 5. UDP segment, [15]**

Nadalje, transportni sloj predaje segment Internet sloju koji dodaje zaglavlje IP protokola. Takva cjelina se naziva paket. Paket također sadrži IP adrese izvorišta i odredišta koje omogućuju rutiranje i dolazak paketa na ispravno odredište. Internet sloj prosljeđuje paket sloju mrežnog pristupa, [13]. Slika 6. prikazuje IPv4 paket.

bits	0-3	4-7	8-15	16-18	19-31
0	4	header length	Type of Service	total length (header + data)	
32	identification			flags	fragment offset
64	TTL		protocol	header checksum	
96	source IP				
128	destination IP				
160	options (if any)				
160/192+	DATA				

**Slika 6. IPv4 paket, [16]**

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



8B	6B	6B	2B	46 1500 B	4B
Preambula	Adresa odredišta	Adresa pošiljatelja	Tip mreže	Podaci	FCS CRC Kontrola ispravnosti

**Slika 7. Ethernet okvir, [17]**

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

## 5. POSTUPAK IZRAČUNA KAPACITETA KOD USLUGE VoIP

Da bi se mogao odrediti potreban prijenosni kapacitet VoIP usluge za neku mrežu, treba poznavati maksimalnu veličinu prometa koja se odvija u toj mreži. Veličina ponuđenog prometa dobiva se prema:

$$A_p = \lambda \cdot T_s \quad (1)$$

gdje je:

- $A_p$  veličina ponuđenog prometa izražena u erlanzima,
- $\lambda$  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 izraz (1) treba pripaziti da su sve veličine istoga 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 temeljem određene vjerojatnosti blokiranja koja se ne smije nadmašiti. Prilikom slanja korisničkog sadržaja kroz mrežu on prolazi kroz razine TCP/IP protokolnog složaja.

Na svakoj razini pripadajući protokol pridodati će mu 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 (eng. *Compressed Real-Time Protocol*) kompresijski protokol ukupna veličina prethodno spomenutih zaglavlja smanjuje se na 2, odnosno 4 B (ovisno o korištenoj verziji IP protokola), [8].

Na fizičkom sloju i sloju veza svoja zaglavlja, ovisno koji se koristi, dodaju protokoli Ethernet, MP (eng. *Multilink Point-to-Point Protocol*) ili FRF (eng. *Frame Relay Forum*). Ethernet korisničkim podacima dodaje zaglavlje od 18 B, koji sadrže 4 B za CRC. MP i FRF oba dodaju 6 B, [8]. Za daljnji proračun potrebnog kapaciteta potrebno je poznavati atribute i njihove veličine. U tablici 1. su prikazane veličine najčešće upotrebljivanih kodeka za kodiranje govornog signala, [8].

**Tablica 1. Veličina kodeka**

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

Izvor: [8]

Konačna veličina paketa (TPS) izračunava koristeći:

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

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 1. TPS se izražava u bajtovima.

Prosječan broj generiranih paketa u sekundi (PPS) dobiva se sljedećim izrazom, [8]:

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

gdje su veličine CBR i VPS definirane za svaki kodek u tablici 1. 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 je definiran na sljedeći način:

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

Veličine TPS i PPS su poznate iz izraza (2) i (3). Prilikom unosa veličina u (4) 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:

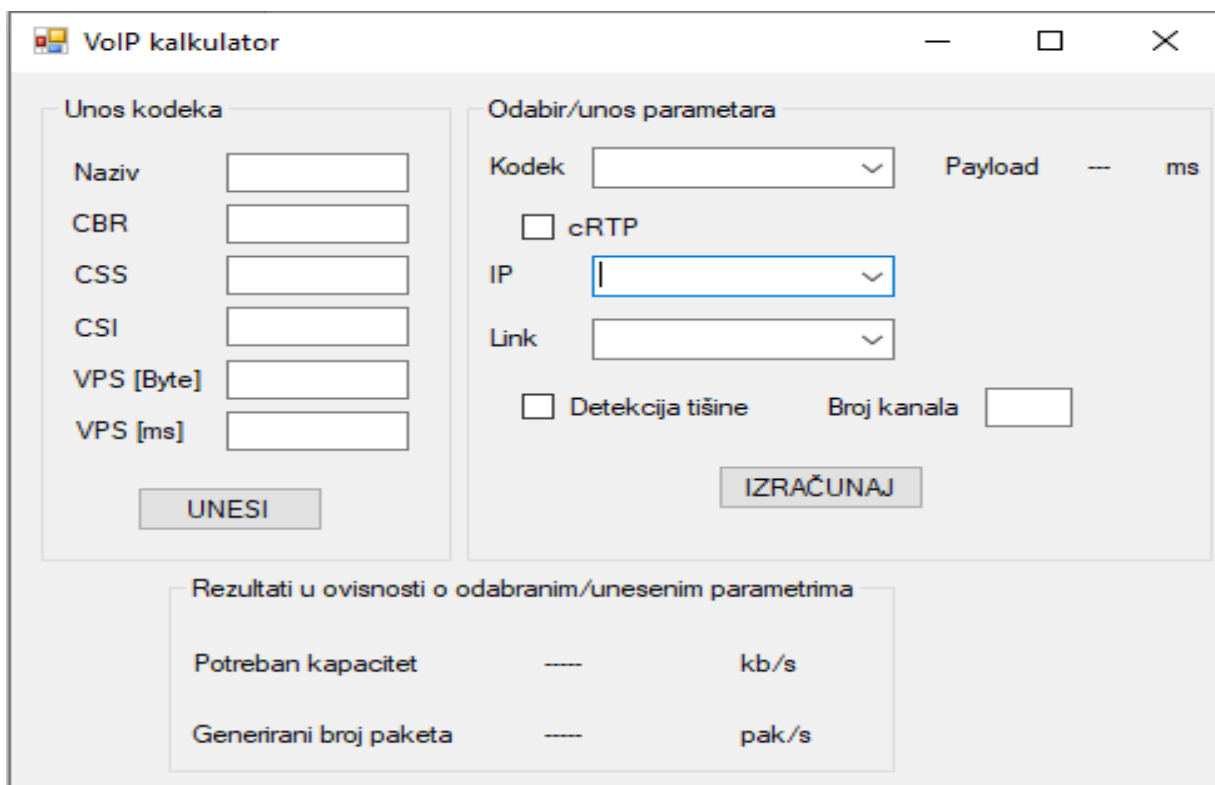
$$\mathit{akoKapacitet} = \frac{TPS \cdot PPS}{2} \quad (5)$$

Ako mreža koristi više kanala konačan potreban kapacitet je:

$$\mathit{KonačanKapacitet} = \mathit{Kapacitet} \cdot \mathit{broj\ kanala} \quad (6)$$

## 6. IZRADA APLIKACIJE ZA IZRAČUN KAPACITETA

Ova računalna aplikacija za izračun kapaciteta usluge VoIP izrađena je u alatu „Visual Studio 2017.“ korištenjem C# programskog jezika te je povezana s bazom podataka koja je napravljena u „SQL Server Management Studio“ alatu za izradu baza podataka, čiji je sadržaj opisan kasnije u ovom poglavlju. Prvi korak u izradi ove aplikacije bio je izrada korisničkog sučelja aplikacije koje je prikazano na slici 8.



The screenshot shows a Windows application window titled "VoIP kalkulator". The interface is divided into three main sections:

- Unos kodeka:** A vertical list of input fields for codec parameters: Naziv, CBR, CSS, CSI, VPS [Byte], and VPS [ms]. A "UNESI" button is located below these fields.
- Odabir/unos parametara:** A section for selecting and entering parameters. It includes a "Kodek" dropdown menu, a "Payload" field with a unit selector (ms), a checkbox for "cRTP", an "IP" dropdown menu, a "Link" dropdown menu, a checkbox for "Detekcija tišine", and a "Broj kanala" input field. An "IZRAČUNAJ" button is positioned below these options.
- Rezultati u ovisnosti o odabranim/unesenim parametrima:** A section for displaying results, showing "Potreban kapacitet" (Required capacity) in kb/s and "Generirani broj paketa" (Generated number of packets) in pak/s.

Slika 8. Korisničko sučelje

Nakon izrade korisničkog sučelja izrađen je program kako bi to korisničko sučelje moglo funkcionirati. Prvi korak bio je programiranje *group boxa* „Unos kodeka“ koji je prikazan na slici 9.

**Slika 9. group box „Unos kodeka“**

Taj se *group box* sastoji od šest labela s pripadajućim *text boxovima* u koje korisnik može upisivati svojstva pojedinog kodeka te se pomoću *buttona* „UNESI“ taj kodek unosi u bazu podataka. Pomoću metode „AllowOnlyNumbers“ prikazane na slici 10 onemogućeno je unošenje svih ostalih znakova osim znamenki „0-9“ te se jednom može unijeti znak „,“ u slučaju da je broj koji se želi upisati unutar *text boxa* decimalan.

```
private void AllowOnlyNumbers(object sender, KeyPressEventArgs e)
{
    if (!char.IsControl(e.KeyChar) && !char.IsDigit(e.KeyChar) && (e.KeyChar != ','))
    {
        e.Handled = true;
    }

    if ((e.KeyChar == ',') && ((sender as TextBox).Text.IndexOf(',') > -1))
    {
        e.Handled = true;
    }
}
```

**Slika 10. Kod za metodu „AllowOnlyNumbers“**

Metoda pomoću koje se izvodi *button* „UNESI“ prikazana je na slici 11.

```
private void btnUnesiKodek_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Povezi();
    UnesiKodek(cnn);
}
```

**Slika 11. Metoda za izvođenje *button-a* „UNESI“**

Kao što se na slici 11 može vidjeti ta se metoda sastoji od dvije metode koje se pozivaju unutar te metode. To su metode „Povezi“ i „UnesiKodek“. Kod za metodu „Povezi“ prikazan je na slici 12.

```
private void Povezi()
{
    string connectionString;
    connectionString = @"Data Source=DESKTOP-E40MPPN\SQLEXPRESS;
    Initial Catalog=VoIP_kalkulator_podaci;User Id=sa;Integrated Security=false;Password=Baze123;";
    cnn = new SqlConnection(connectionString);
    cnn.Open();
    cnn.Close();
}
```

**Slika 12. Kod za metodu „Povezi“**

Treba također napomenuti kako se mora na početku programa dodati *library* naredbom „using.System.Data.SqlClient“ kako bi se mogle koristiti pojedine naredbe koje se odnose na rad s bazama podataka unutar c# programa. Metoda „Povezi“ služi kako bi se baza podataka povezala s aplikacijom te kako bi se putem te veze moglo preko programa dodavati elemente u bazu podataka te izmjenjivati pojedine zapise koji se nalaze unutar baze podataka. Na slici 13 prikazan je kod koji se koristi za rad metode „UnesiKodek“.

```
private void UnesiKodek(SqlConnection cnn)
{
    cnn.Open();
    SqlCommand cmd;
    string sql = "";
    sql = "INSERT INTO Kodek (Naziv, CBR, CSS, CSI, VPSByte, VPSms) VALUES ('" + txtNazivKodeka.Text + ","
    + txtCBR.Text + "," + txtCSS.Text + "," + txtCSI.Text + "," + txtVPSByte.Text + "," + txtVPSms.Text + ")";
    cmd = new SqlCommand(sql, cnn);
    cmd.ExecuteNonQuery();
    cbOdabirKodeka.Items.Add(txtNazivKodeka.Text);
    cnn.Close();
}
```

**Slika 13. Kod za metodu „UnesiKodek“**

Iz slike 13 je vidljivo kako ta metoda služi za učitavanje podataka koje korisnik unosi u *text boxove* te prijenos i pohrana tih podataka u bazu podataka. Na početku samog programa mogu se vidjeti dvije metode čiji su nazivi „BrojKodeka“ i „ImeKodeka“ koje su prikazane na slici 14.



```

private int BrojKodeka(SqlConnection cnn)
{
    cnn.Open();
    SqlCommand command;
    SqlDataReader dataReader;
    string sql;
    sql = "SELECT COUNT(ID) FROM Kodek";
    command = new SqlCommand(sql, cnn);
    dataReader = command.ExecuteReader();
    dataReader.Read();
    int n = dataReader.GetInt32(0);
    cnn.Close();
    return n;
}

private string ImeKodeka(SqlConnection cnn, int i)
{
    cnn.Open();
    SqlCommand cmd;
    SqlDataReader dataReader;
    string sql;
    sql = "SELECT Naziv FROM Kodek WHERE ID=" + i;
    cmd = new SqlCommand(sql, cnn);
    dataReader = cmd.ExecuteReader();
    dataReader.Read();
    string ime = dataReader.GetString(0);
    cnn.Close();
    return ime;
}

```

**Slika 14. Metode „BrojKodeka“ i „ImeKodeka“**

Metode „BrojKodeka“ i „ImeKodeka“ koriste se za dohvaćanje naziva kodeka te ukupnog broja kodeka unesenih u tablicu u bazu podataka. Ti su podaci potrebni u metodi pod nazivom „VoIPcalc\_Load“ koja je prikazana na slici 15.

```

private void VoIPcalc_Load(object sender, EventArgs e)
{
    Povezi();
    for (int i = 1; i <= BrojKodeka(cnn); i++)
    {
        cbOdabirKodeka.Items.Add(ImeKodeka(cnn, i));
    }
}

```

**Slika 15. Metoda „VoIPcalc\_Load“**

Metoda „VoIPcalc\_Load“ služi za dohvaćanje svih unaprijed pohranjenih kodeka koji se nalaze u bazi podataka i njihovog unošenja u program kako bi korisnik mogao unutar padajućeg izbornika odabrati sve kodeke koje je unio u bazu podataka. Nakon toga kodiran je *group box* pod nazivom „Odabir/unos parametara“ prikazan na slici 16.

**Slika 16. group box „Odabir/unos parametara“**

Group box „Odabir/unos parametra“ sastoji se od devet labela, jednog *text boxa*, tri *combo boxa*, dva *check boxa* te jednog *buttona* naziva „IZRAČUNAJ“ čiji se kod nalazi na slici 17.

```
private void btnIzracunaj_Click(object sender, EventArgs e)
{
    Povezi();
    decimal pps = (DohvatiCBR(cnn, cbOdabirKodeka.Text) * 1000) /
    (Convert.ToDecimal(DohvatiVPSByte(cnn, cbOdabirKodeka.Text) * 8));
    lblGeneriraniBrojPaketa.Text = Convert.ToString(pps);
    int tps;
    if (cRTP.Checked)
    {
        tps = DohvatiDuljinuZaglavljaProtokola(cnn, cbOdabirLinka.Text)
        + OdrediDuljinuIP() + DohvatiVPSByte(cnn, cbOdabirKodeka.Text);
    }
    else
    {
        tps = DohvatiDuljinuZaglavljaProtokola(cnn, cbOdabirLinka.Text)
        + DohvatiVPSByte(cnn, cbOdabirKodeka.Text) + DohvatiDuljinuZaglavljaProtokola(cnn, cbOdabirIP.Text)
        + DohvatiDuljinuZaglavljaProtokola(cnn, "RTP") + DohvatiDuljinuZaglavljaProtokola(cnn, "UDP");
    }
    decimal pkj = ((tps * 8 * pps) / 2) / 1000;
    decimal upk = pkj * Convert.ToDecimal(txtBrojKanala.Text);
    if (DetekcijaTisine.Checked)
    {
        lblPotrebanKapacitet.Text = Convert.ToString(upk);
    }
    else
    {
        lblPotrebanKapacitet.Text = Convert.ToString(upk * 2);
    }
}
```

**Slika 17. Kod za button „IZRAČUNAJ“**

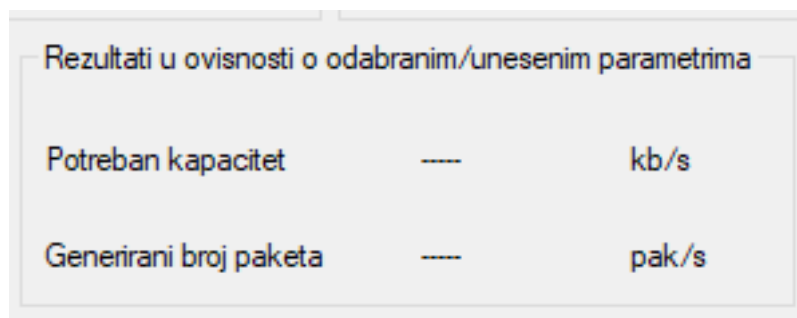
Kao što se iz priloženog može vidjeti *button* „IZRAČUNAJ“ temelji se na formuli detaljno objašnjenom u prethodnoj cjelini ovog seminarskog rada. Može se također vidjeti da su *check boxovi* ostvareni putem dvije *if-else* petlje zbog toga što se rezultat mora korigirati u ovisnosti o tome jesi li *check boxovi* označeni ili nisu. Također vrijedi spomenuti metode „DohvatiX“ od kojih je jedna pod nazivom „DohvatiCBR“ prikazana na slici 18 te se koriste za dohvaćanje pojedinih podataka o kodecima iz baze podataka i vraćaju taj podatak pomoću varijable koja je

u ovom slučaju tipa *decimal*, ali njen tip varira u ovisnosti o tome kakvi se podaci nalaze u tablici iz koje se pokušavaju dohvatiti.

```
private decimal DohvatiCBR(SqlConnection cnn, string ImeKodeka)
{
    cnn.Open();
    SqlCommand cmd;
    SqlDataReader dataReader;
    string sql = "";
    sql = "SELECT CBR FROM Kodek WHERE Naziv='" + ImeKodeka + "'";
    cmd = new SqlCommand(sql, cnn);
    dataReader = cmd.ExecuteReader();
    dataReader.Read();
    decimal cbr = dataReader.GetDecimal(0);
    cnn.Close();
    return cbr;
}
```

Slika 18. Kod za metodu „DohvatiCBR“

Zadnja stvar koja je kodirana bio je *group box* „Rezultati u ovisnosti o odabranim/unesenim parametrima“ prikazan na slici 19.



Slika 19. *group box* „Rezultati u ovisnosti o odabranim/unesenim parametrima“

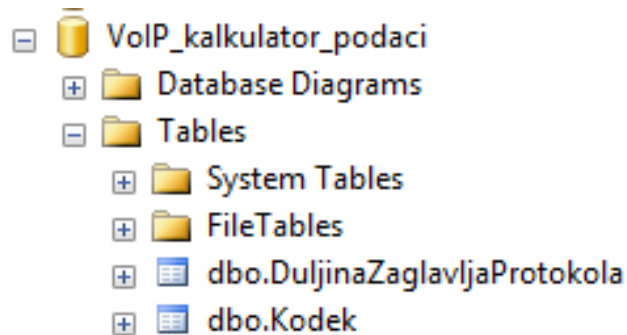
*Group box* „Rezultat u ovisnosti o odabranim/unesenim parametrima“ sastoji se od šest labela od kojih dvije, čija je početna vrijednost „-----“, mijenjaju vrijednost u izračunate vrijednosti s obzirom na odabrane ili unesene parametre. Unutar programa može se također pronaći metoda pod nazivom „cbOdabirKodeka\_SelectedIndexChanged“ prikazana na slici 20.

```
private void cbOdabirKodeka_SelectedIndexChanged(object sender, EventArgs e)
{
    Povezi();
    lblPayload.Text = Convert.ToString(DohvatiVPSms(cnn, cbOdabirKodeka.Text));
}
```

Slika 20. Metoda „cbOdabirKodeka\_SelectedIndexChanged“

Dio koda koji je prikazan na slici 20, služi tome da se prilikom odabira novog kodeka u padajućem izborniku odmah promjeni i vrijednost labela u koju se upisuje *Payload* - veličina uzimanja uzorka u milisekundama za odabrani kodek. Baza podataka s kojom je povezan

program ima naziv „VoIP\_kalkulator\_podaci“ te se sastoji od dvije tablice kao što se može vidjeti na slici 21.



**Slika 21. Tablice unutar baze podataka**

Nazivi tih tablica jesu „DuljinaZaglavljaProtokol“ i „Kodek“. Tablica „DuljinaZaglavljaProtokola“ sadrži tri stupca redom „ID“, koji je jedinstveni identifikator pojedinog protokola, „Naziv“ i „Duljina“ kao što je prikazano na slici 21. Ta se tablica nikad ne mijenja pomoću programa.

	ID	Naziv	Duljina
1	1	RTP	12
2	2	UDP	8
3	3	IPv4	20
4	4	IPv6	40
5	5	MP	6
6	6	FRF	6
7	7	Ethernet	18

**Slika 22. Tablica „DuljinaZaglavlja protokola“**

Tablica Kodek sadrži sedam stupaca od kojih jedan ima naziv „ID“ te se koristi kao jedinstveni identifikator pojedinog protokola. Ostalih šest stupaca redom imaju nazive „Naziv“, „CBR“, „CSS“, „CSI“, „VPSByte“ i „VPSms“. Ti stupci sadrže pojedine karakteristike kodeka. Prilikom korištenja *buttona* „UNESI“ dodaje se jedan novi kodek u ovu tablicu.

## 7. ZAKLJUČAK

VoIP ili „tehnologija budućnosti“ zbog svojih brojnih prednosti kao što su mogućnost proširenja kapaciteta, neovisnost o lokaciji korisnika preuzima sve veću ulogu u telekomunikacijskom tržištu te postaje bitan alat za komunikaciju. Njena najveća mana je što na velikom djelu Zemlje ne postoji adekvatna infrastruktura kako bi se mogla osigurati kvaliteta komunikacijskog kanala i pouzdanost internetske veze za pouzdan prijenos podataka.

U zadnje vrijeme bilježi se velik napredak u uvođenju infrastrukture te sam tehnološki napredak i razvijanje učinkovitije infrastrukture. Također uvode se nove i poboljšane metode za enkripciju podataka i autentifikaciju prilikom prijave na mrežu. Takvim razvojem pretpostavlja se da će VoIP s vremenom postati sve pouzdaniji i samim time puno interesantniji korisnicima te da će s vremenom u potpunosti zamijeniti klasičnu telefoniju.

Veličina prijenosnog kapaciteta za jedan kanal računa se kao umnožak konačne veličine paketa i prosječnog broja generiranih paketa u sekundi. Konačna veličina paketa ovisi o primjenjenoj verziji IP protokola, o tome je li se koristio cRTP kompresijski protokol i kojim se kodekom kodira glasovni zapis. Prosječni broj generiranih paketa ovisi o odabiru kodeka. Ako se koristi detekcija tišine dobiveni rezultat potrebno je podijeliti sa 2 (sukladno različitim izvorima literature). Ako mreža koristi više kanala potrebno je dobiveni kapacitet pomnožiti sa brojem kanala.

Broj kanala dobiva se pomoću Erlang B kalkulatora ako je poznata maksimalna veličina prometa koja se odvija u toj mreži i najveću dopuštenu vjerojatnost blokiranja poziva. Kod izrade same aplikacije najveći problem predstavljalo je povezivanje programa sa bazom podataka dok je samo programiranje u suštini dosta jednostavno. Korišten je jezik `c#` u okruženju „MS Visual Studio“ zbog toga što se upravo taj programski jezik koristi na svim kolegijima koji se bave programiranjem. To je okruženje pogodno upravo zato što omogućuje studentima besplatno korištenje u svrhu učenja i unaprijeđivanja svojih znanja i vještina što se tiče izrade programa.

## LITERATURA

- [1] [https://www.ericsson.hr/etk/revija/Br\\_1\\_2001/prijenos\\_govora.htm#2](https://www.ericsson.hr/etk/revija/Br_1_2001/prijenos_govora.htm#2) (pristupljeno: 15.8.2019.)
- [2] <http://mrkve.etfos.hr/pred/orasje/ar/seminari/Antonio%20Stani%C4%87%20-%20VoIP.pdf> (pristupljeno: 15.8.2019.)
- [3] <http://blog.voip-shop.com.hr/savjeti/sto-je-voip/> (pristupljeno: 16.8.2019.)
- [4] <https://www.cert.hr/wp-content/uploads/2006/06/CCERT-PUBDOC-2006-03-151.pdf> (pristupljeno: 17.8.2019.)
- [5] <https://www.intechopen.com/books/voip-technologies> (pristupljeno: 17.8.2019.)
- [6] <http://webcampresence.com/analog-and-digital-signals/computer-through-programminglanguage-what-are-analog-and-digital-signals-04fig01/> (pristupljeno: 17.8.2019.)
- [7] Ogunfunmi, T., Togneri, R., Narisimha, M.: Speech and Audio Processing for Coding, Enhancement and Recognition, Springer, New York, USA, 2015.
- [8] <https://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/voice/voice-quality/7934-bwidth-consume.html?dtid=osscdc000283> (pristupljeno: 18.8.2019.)
- [9] General Aspects of Digital Transmission Systems: ITU-T Rec. G.711 (11/88) Pulse code modulation (PCM) of voice frequencies
- [10] Bošnjak, I., Mrvelj, Š.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2007.
- [11] [https://www.researchgate.net/publication/3693449\\_Description\\_of\\_ITU-T\\_Recommendation\\_G729\\_Annex\\_A\\_reduced\\_complexity\\_8\\_kbits\\_CS-ACELP\\_codec](https://www.researchgate.net/publication/3693449_Description_of_ITU-T_Recommendation_G729_Annex_A_reduced_complexity_8_kbits_CS-ACELP_codec) (pristupljeno: 18.8.2019.)
- [12] Mrvelj, Š., Matulin, M.: Autorizirana predavanja iz kolegija Tehnologija telekomunikacijskog prometa I, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017
- [13] Kavran, Z., autorizirana predavanja iz kolegija Računalne mreže, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2017.

- [14] [https://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/voip\\_protocols.pdf](https://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-99/ftp/voip_protocols.pdf) (pristupljeno: 19.8.2019.)
- [15] <http://ecomputernotes.com/computernetworkingnotes/routing/user-datagram-protocol> (pristupljeno: 22.8.2019.)
- [16] <http://kfe.fjfi.cvut.cz/~liska/unix/node24.html> (pristupljeno: 25.8.2019.)
- [17] <https://slideplayer.com/slide/14043782/> (pristupljeno: 28.8.2019.)
- [18] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.729> (pristupljeno: 03.09.2019.)

## **POPIS KRATICA**

IP - Internet Protocol

VoIP - Voice over Internet Protocol

SIP - Session Initiation Protocol

PSTN - Public Switched Telephone Network

ATA - Analog Telephone Adapter

RTP - Real-time Transport Protocol

xDSL - x Digital Subscriber Line

IETF - Internet Engineering Task Force

TCP/IP - Transport Control Protocol/Internet Protocol

SS7 - Signaling System 7

PCM - Pulse-Code Modulation

UDP - User Datagram Protocol

RSVP - Resource Reservation Protocol)

MPLS - Multiprotocol Label Switching

QoS - Quality of Service

NAT - Network Access Translation

STUN - Simple Traversal of UDP through NAT

CBR- Codec Bit Rate

CSS - Codec Sample Size

DSP - Digital Signal Processor

MOS - Mean Opinion Score) - srednja ocjena mišljenja korisnika

CSI - Codec Sample Interval) - interval uzorka kodeka



VPS - Voice Payload Size (Bajt)

PPS – Packets Per Second

CS-ACELP - ConjugateStructured Algebraic Code-Excited Linear Prediction

CS-ACELP - ConjugateStructured Algebraic Code-Excited Linear Prediction

MAC - Media Access Control

CRC - Cyclic Redundancy Check

cRTP - Copressed Real-Time Protocol

MP - Multilink Point-to-Point Protocol

FRF - Frame Relay Forum

## POPIS SLIKA

Slika 1. VoIP arhitektura.....	7
Slika 2. Osnovni prikaz VoIP sustava.....	10
Slika 3. PCM modulacija .....	11
Slika 4. Proces enkapsulacije korisničkih informacija.....	18
Slika 5. UDP segment .....	19
Slika 6. Ipv4 paket.....	19
Slika 7. Ethernet okvir.....	20
Slika 8. Korisničko sučelje .....	22
Slika 9. <i>group box</i> „Unos kodeka“ .....	23
Slika 10. Kod za metodu „AllowOnlyNumbers“ .....	23
Slika 11. Metoda za izvođenje <i>buttona</i> „UNESI“ .....	23
Slika 12. Kod za metodu „Povezi“ .....	24
Slika 13. Kod za metodu „UnesiKodek“ .....	24
Slika 14. Metode „BrojKodeka“ i „ImeKodeka“ .....	25
Slika 15. Metoda „VoIPcalc_Load“ .....	25
Slika 16. <i>group box</i> „Odabir/unos parametara“ .....	26
Slika 17. Kod za <i>button</i> „IZRAČUNAJ“ .....	26
Slika 18. Kod za metodu „DohvatiCBR“ .....	27
Slika 19. <i>group box</i> „Rezultati u ovisnosti o odabranim/unesenim parametrima“ .....	27
Slika 20. Metoda „cbOdabirKodeka_SelectedIndexChanged“ .....	28
Slika 21. Tablice unutar baze podataka.....	28
Slika 22. Tablica „DuljinaZaglavljaProtokola“ .....	29

## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Veličine kodeka.....	22
---------------------------------	----



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 RAČUNALNE APLIKACIJE ZA IZRAČUN KAPACITETA**  
**USLUGE VOIP**

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

U Zagrebu, 5.9.2019

Student/ica:

Marek Fardi

(potpis)