

Proračun potrebnog propusnog opsega za VoIP poziv

Zvezdan Stojanović, Dušan Tošić

Sadržaj – Stalno povećanje Internet saobraćaja zbog broadband trenda, može dovesti do uskih grla u postojećim mrežama, jer poslovni i krajnji korisnici imaju sve veće zahtjeve za propusnim opsegom. Prilikom projektovanja kvalitetne VoIP mreže, mrežni administrator mora voditi računa o mnogobrojnim faktorima koji utiču na kvalitet VoIP poziva. U radu će se ukazati na neke od najvažnijih faktora, ali je najveći dio izlaganja usmjeren na to kako što efikasnije iskoristiti propusni opseg, jer on predstavlja jednu od najskupljih komponenti pri izgradnji mreže koja treba da obezbijedi jedan takav servis kao što je VoIP. Napravljen je kalkulator propusnog opsega preko koga treba da se efikasno izračuna potreban propusni opseg za VoIP konekciju uz brigu o najvažnijim činiocima koji utiču na veličinu propusnog opsega.

Cljučne reči – kodek, kompresija, propusni opseg, VoIP

I. UVOD

Budući da Internet prvobitno nije bio namijenjen za pružanje servisa u realnom vremenu (kakav je govor o kome ćemo ovdje govoriti), to je za njihov prenos preko Interneta bilo potrebno riješiti brojne probleme i suočiti se sa mnogobrojnim tehničkim izazovima. Kad se Internet ili bilo koja druga mreža koja se zasniva na IP protokolu koristi za prenos govora, kažemo da se radi o VoIP servisu.

Na kvalitet VoIP-a utiču mnogobrojni faktori kao što su: upotrebljeni govorni kodeci, paketizacija, gubitak paketa, kašnjenje, varijacija kašnjenja, mrežna arhitektura koja treba da ispuni odgovarajuće zahtjeve za kvalitetom servisa (QoS), upotrebljeni CAC algoritmi (Call Admission Control), upotrebljeni signalizacioni protokoli, sigurnosni aspekti.. [2].

U ovom radu ćemo kratko razmotriti neke od ovih faktora, a potom ćemo šire analizirati propusni opseg kao vjerovatno najbitniju mrežnu komponentu, o kojoj mrežni administratori moraju voditi računa.

II. KVALITET GOVORA

U uvodnom poglavlju smo nabrojali većinu faktora koji utiču na kvalitet govora. U nastavku ćemo razmotriti neke od njih.

A. Kodeci

Primarna funkcija kodeka jeste konverzija analognog signala u digitalni i obrnuto (slika 1). Kodeci takođe obezbjeđuju i kompresiju govora čime se redukuju zahtjevi za propusnim opsegom potrebnim za prenos preko digitalne

mreže. Osnovni kompresioni algoritam jeste PCM kod kojeg se svaki odbirak koduje sa osam bita i osnovni digitalni protok je 64 kbit/s. Uvođenjem naprednijih kompresionih algoritama usložnjava se postupak obrade frame-a, unosi dodatno kašnjenje pa samim tim narušava kvalitet prenošenog govora. Govor se prenosi u realnom vremenu pa je samim tim jako osjetljiv na povećanje kašnjenja. Na sl. 1 je prikazan tok poziva od početka do kraja.



Slika 1: Tok VoIP poziva

Zavisno od upotrebene mreže, funkcije kodovanja i kompresije se mogu obavljati u ruteru/gateway-u ako je u pitanju analogna mreža (kao na sl 1) ili te funkcije može vršiti i sama digitalna centrala [4].

Kvalitet govora za različite kodeke se obično mjeri subjektivnim testiranjem u kontrolisanim uslovima uz učešće većeg broja slušalaca i određivanjem subjektivne mjere za kvalitet različitih kodeka-MOS (Mean Opinion Score). Neki od faktora koji imaju najviše uticaja pri određivanju MOS-a za određene kodeke su: efekat šuma okoline, efekat degradacije kanala (gubitak paketa) i efekat transkodovanja (digitalno-digitalna konverzija) usljed rada sa drugim mrežama, kako žičnim tako i bežičnim. MOS je najveći za PCM i iznosi 4,1 a smanjuje se povećanjem složenosti algoritma kompresije, tako da recimo za G.729 (CS-ACELP) iznosi 3,92 za G.723.r53 iznosi 3,65... [1].

Bitska brzina kodeka za PCM iznosi 64 kbit/s dok je za G.723.r53 svega 5,3 kbit/s (vidi sl 6). Dakle složeniji algoritam kompresije će zahtijevati manji propusni opseg, ali će za njih MOS biti manji [3].

B. Algoritmi kompresije govora

Nakon analogno-digitalne konverzije (sl. 1) formiraju se PCM odbirci koji se potom propuštaju do algoritma kompresije. Ovaj analizira blok PCM odbiraka koji može biti različite dužine zavisno od upotrijebljenog kodeka. Npr. osnovna veličina frame-a za kodovanje kod G.729 algoritma (default podešavanje, na slici 6 prikazano obojeno iznosi 10ms), mada se mogu koristiti i oni od 20, 30, 40, 50 i 60 ms, dok je kod G.723 default vrijednost frame-a 30 ms.

Algoritmi kompresije omogućavaju efikasnije iskorištenje propusnog opsega ali na račun dužeg vremena potrebnog za formiranje paketa i složenijih algoritama. Time se narušava kvalitet prenošenog govora kod VoIP-a. Dakle potrebno je naći kompromis između efikasnije upotrebe propusnog opsega i povećanja kašnjenja.

C Kašnjenje

ITU-T preporukom G.114 je definisana granica jednosmjernog kašnjenja (uz kontrolisan eho prema G.131) i to:

- 0-150 ms što je prihvatljivo za većinu korisnika
- 150-400 ms prihvatljivo za međunarodne veze
- Veće od 400ms neprihvatljivo u većini slučajeva.

O izvorima kašnjenja opširnije u [1], [2], [4].

III. PRENOS VoIP PAKETA

Tipične Internet aplikacije koriste TCP/IP, dok VoIP koriste RTP/UDP/IP. IP omogućava funkciju rutiranja u mreži i definisan je kao nepouzdan jer ne garantuje isporuku poruke na odredište. Na protokolima prenosnog nivoa je da obezbijede pouzdanost isporuke poruke i servise sa uspostavljanjem veze.

TCP je pouzdan protokol sa uspostavljanjem veze (connection-oriented), kojim se ostvaruje logička veza sa kraja na kraj mreže. Za svaki poslati segment poruke TCP očekuje potvrdu o njegovom prijemu. TCP ima osobinu da može podešavati prenosnu brzinu u zavisnosti od stanja mreže, tj ako ne dobije pozitivan odgovor od odredišnog hosta, TCP redukuje prenosnu brzinu. TCP baš zbog te svoje osobine slanja potvrde za svaki segment poruke i retransmisije za izgubljene, nije pogodan za komunikaciju u realnom vremenu kakva je prenos govora. Za tu namjenu se koristi UDP [2].

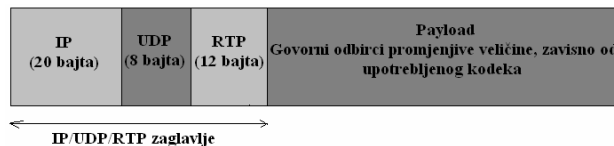
Kod UDP-a ne postoji čekanje za potvrdu o prijemu paketa i nema mogućnost detektovanja gubitka paketa, pa je zbog toga on brži od TCP-a. On ne omogućava ni korekciju neispravnog redosljeda paketa. Zbog navedenih razloga se UDP koristi zajedno sa RTP-om. RTP obezbjeđuje prenosne funkcije sa kraja na kraj mreže za aplikacije koje prenose vremenski osjetljive podatke, kao što su audio i video. RTP omogućava prijemniku da detektuje gubitak paketa i da ih u izvjesnoj mjeri ispravi, omogućava kompenzaciju džitera, dinamičku promjenu prenosne brzine zavisno od uslova u mreži (promjenom kodeka). RTP ne vrši rezervaciju resursa i ne garantuje kvalitet servisa [2].

Kontrolni dio RTP-a, kasnije nazvan RTCP, omogućava nadzor linka podataka, ali većina VoIP aplikacija nudi kontinualan tok IP/UDP/RTP paketa ne vodeći računa o gubicima paketa i kašnjenjima na putu do odredišta.

Kao što je rečeno upotrebom kompleksnijih kodeka smanjuje se zahtijevani propusni opseg, ali se povećava kašnjenje pri paketizaciji. Potrebno je naći kompromis između prihvatljivog kašnjenja pri paketizaciji, kompleksnosti kodeka i raspoloživog propusnog opsega.

Svi govorni paketi se sastoje od dvije komponente: govornih odbiraka (payload-a) i IP/UDP/RTP zaglavlja [3], [6].

Veličina korisnog dijela, (payload-a) u kojem se nalaze govorni odbirci varira zavisno od upotrijebljenog kodeka, dok je IP/UDP/RTP zaglavlje konstantne veličine i iznosi 40 bajta (slika 2).



Slika 2: Formiranje IP paketa (bez kompresije IP/UDP/RTP zaglavlja)

A. Uticaj govornih odbiraka i veličine paketa na propusni opseg

Promjena broja odbiraka po paketu utiče na veličinu propusnog opsega, kao i na kašnjenje VoIP poziva. Povećanjem broja odbiraka, smanjuje se potrebni propusni opseg za VoIP konekciju [3], [6]. Proračun veličine payload-a izražen u bajtima (kolona 4, slike 6) je dat preko formule 1.

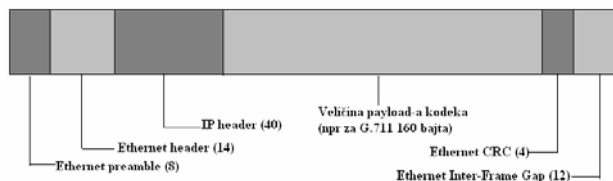
$$Veličina_payload-a_kodeka = (Interval_semplovanja_kodeka * Bitska_brzina_kodeka) / 8 \quad (1)$$

Ako se recimo primijeni G.711 kodek kao rezultat dobit ćemo (kolona 4 na slici 6) da je

$$Veličina_payload-a_kodeka = (0,020 * 64000) / 8 = 160\ bajta \quad (2)$$

B. Uticaj linka podataka

Drugi faktor koji utiče na veličinu propusnog opsega jeste dodatno povećanje zaglavlja koji unosi link podataka na već postojećih 40 bajta IP/UDP/RTP zaglavlja. Što je veće zaglavlje, koji unosi link podataka (L2, kolona 8 na slici 6), to je potreban veći propusni opseg za prenos VoIP poziva. Na slici 3 je prikazan prenos VoIP paketa preko Ethernet mreže [6].



Slika 3: Formiranje Ethernet frame-a za slučaj Ethernet mreže

Kao što se sa slike vidi Ethernet je dodao 26 bajta: 8 bajta za Ethernet Preamble, 14 bajta za Ethernet Header, 4 bajta za Ethernet CRC. Nekada se, pri proračunu potrebnog propusnog opsega uzima u razmatranje još jedan parametar. To je Ethernet Inter Frame Gap koji dodaje još 12 bajta, ali u ovom radu on nije uzet u razmatranje pri izračunavanju potrebnog propusnog opsega za VoIP poziv (slika 6). Na slici 6 je razmotren i slučaj kad se za L2 nivo uzima PPP. Ukupna veličina paketa, bez obzira koja se tehnologija koristi za L2 može se izračunati preko jednačine 3,

$$Ukupna_veličina_paketa = Veličina_payload-a_kodeka + IP/UDP/RTP_overhead + L2_overhead \quad (3)$$

što za primjer G.711 kodeka i za default interval semplovanja od 20 ms daje 226 bajta (jednačina 4)

$$Ukupna_veličina_paketa=160+40+26=226 \quad (4)$$

C. Uticaj dodavanja zaglavlja sigurnosnih i tunelskih protokola

Ako se upotrebljavaju sigurnosni i tunelski protokoli, enkapsulacijom će se takođe dodati izvjesno zaglavlje govornim paketima koje može biti jako veliko u odnosu na veličinu govornih paketa. Tako kod virtualnih privatnih mreža (VPN) i kod IP Security protokola (IPSec) se dodaje 50, tj. 57 bajta zaglavlja. Tunelski protokol poput MPLS-a (Multiprotocol Label Switching) će dodati svakom paketu na ulazu u MPLS mrežu labelu dužine 4 bajta. Dakle, ako bi i njih uzeli u razmatranje u koloni 10 (ukupnoj veličini paketa), bi trebalo dodati zaglavlje koje unose ovi protokoli.

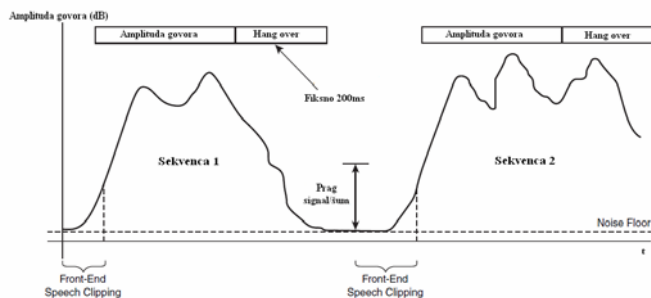
IV. TEHNIKE ZA POBOLJŠAVANJE EFIKASNOSTI UPOTREBE PROPUSNOG OPSEGA

Pored upotrebe algoritama kompresije, efikasnije iskorištenje propusnog opsega se može postići primjenom tehnika detekcije govora i kompresije tišine (VAD) kao i kompresije IP/UDP/RTP zaglavlja (cRTP).

A. Voice Activity Detection (VAD)

U normalnoj govornoj komunikaciji dok jedan govornik priča drugi sluša, sa periodima tišine između toga. Kod mreža sa komutacijom kola, svi govorni pozivi koriste fiksnu širinu propusnog opsega od 64 kbit/s ne vodeći računa koliko od toga čini govor a koliko periodi tišine. Procijenjeno je da se na taj način oko 50% propusnog opsega uopšte ne koristi [1] [5].

Kod VoIP-a vrši se paketizacija kako govora, tako i tišine. Upotrebom VAD-a, paketi tišine se izbacuju.



Slika 4: Voice Activity Detection (VAD)

Na slici 4 prikazan je rad VAD-a. VAD detektuje amplitudu govornog signala (u dB) i prilikom pada te amplitude ispod određenog nivoa, čeka fiksni period vremena od 200 ms (hang over), prije nego što prekine paketizaciju govora.

VAD je suočen sa problemima:

- Izdvajanja govornog signala iz šuma okoline: To znači ako smo u sobi sa velikim nivoom šuma (iznad definisanog praga signal/šum, sl. 4), VAD se ne može primijeniti

- Određivanja trenutaka otpočinjanja i završetka govora, tj brzih promjena energije audio signala. Ovaj problem se djelimično uklanja odsijecanjem čime je prvi dio riječi izgubljen (na slici 4 označeno kao front-end speech clipping)

U radu, prilikom proračuna potrebnog propusnog opsega za jednu VoIP konekciju, je uzeto da VAD dovodi do uštede od 35% propusnog opsega (kolona 12, na slici 6).

Kvalitet govora uz primjenu VAD-a se može značajno poboljšati generisanjem pozadinskog šuma primjenom CNG-a (Comfort Noise Generation) i to tako da se na prijemu tokom svakog perioda tišine generiše pažljivo dizajniran pozadinski šum čime se djelimično postiže eliminisanje neprijatnog osjećaja kod slušaoca na prijemu izazvanog potpunom tišinom.

B. Komprimovani RTP (cRTP)

Kao što je ranije rečeno veličina IP/UDP/RTP zaglavlja je konstantna i iznosi 40 bajta. To je mnogo, ako se uzme u obzir da je kod nekih kodeka, recimo G.729 veličina payload-a po defaultu 20 bajta. Upotrebom cRTP-a veličina IP/UDP/RTP zaglavlja se može smanjiti na 2 do 4 bajta, slika 6.

IP/UDP/RTP zaglavlje 4 bajta	Payload Govorni odbirci promjenjive veličine zavisno od upotrebljenog kodeka
-------------------------------------	---

Slika 5: Formiranje IP paketa (sa kompresijom IP/UDP/RTP zaglavlja)

Budući da cRTP vrši komprimovanje IP/UDP/RTP zaglavlja link-po-link osnovi, to je obje strane IP linka potrebno konfigurirati za primjenu cRTP-a. Preporučuje se da se cRTP ne koristi za linkove sa brzinama većim od E1 (T1). Kompresija dodatno opterećuje ruter a preporučuje se da opterećenje procesora rutera nikad ne pređe 60-70% kako bi se omogućili ispravno funkcionisanje mreže. Dakle, uvijek je potrebno procijeniti šta je važnije: smanjenje potrebnog propusnog opsega ili opasnost od preopterećenja rutera što se postiže uvođenjem cRTP-a [3].

V. PRORAČUN UKUPNOG PROPUSNOG OPSEGA ZA VoIP KONEKCIJU

Sada, kada su izloženi najvažniji faktori koji utiču na proračun propusnog opsega VoIP konekcije možemo ga izračunati primjenom jednačine 5:

$$Ukupni_propusni_opseg = (Ukupna_veličina_paketa * Broj_paketa_po_sekundi * 8) / 1000 \quad (u \text{ kbit/s}) \quad (5)$$

Jednačinom 5 smo izračunali propusni opseg bez primjene VAD-a (kolona 11 slike 6), dok propusni opseg uz primjenu VAD-a čini 65% od izračunatog propusnog opsega uz primjenu jednačine 5 (ranije je rečeno da se primjenom VAD-a može uštediti oko 35% propusnog opsega).

Algoritam	Bitska brzina kodeka (kbit/s)	Interval semplovanja kodeka (ms)	Veličina payload-a kodeka (u bajtima)	Broj paketa po sekundi	IP/UDP/RTP	L2	Zaglavlje L2 nivoa (u bajtima)	cRTP	Ukupna veličina paketa (u bajtima)	Ukupan propusni opseg bez primjene VAD-a (kbit/s)	Ukupan propusni opseg sa primjenom VAD-a (kbit/s)
		10	80	100					146	116,800	75,920
G.711	64	20	160	50	40	Ethernet	26	not available	226	90,400	58,760
		30	240	33					306	80,784	52,510
		10	80	100					128	102,400	66,560
G.711	64	20	160	50	40	PPP	8		208	83,200	54,080
		30	240	33					288	76,032	49,421
		10	80	100					92	73,600	47,840
G.711	64	20	160	50	40	PPP	8	4	172	68,800	44,720
		30	240	33					240	63,360	41,184
		10	10	100					76	60,800	39,520
G.729	8	20	20	50	40	Ethernet	26	not available	86	34,400	22,360
		30	30	33					96	25,344	16,474
		40	40	25					106	21,200	13,780
		10	10	100					58	46,400	30,160
G.729	8	20	20	50	40	PPP	8		68	27,200	17,680
		30	30	33					78	20,592	13,385
		40	40	25					88	17,600	11,440
		10	10	100					22	17,600	11,440
G.729	8	20	20	50	40	PPP	8	4	32	12,800	8,320
		30	30	33					42	11,088	7,207
		40	40	25					52	10,400	6,760
G.723r63	63	30	24	33	40	Ethernet	26	not available	90	23,760	15,444
		60	48	16					114	14,592	9,485
G.723r63	63	30	24	33	40	PPP	8		72	19,008	12,355
		60	48	16					96	12,288	7,987
G.723r63	63	30	24	33	40	PPP	8	4	36	9,504	6,178
		60	48	16					60	7,680	4,992
G.723r53	53	30	20	33	40	Ethernet	26	not available	86	22,704	14,758
		60	40	17					106	14,416	9,370
G.723r53	53	30	20	33	40	PPP	8		68	17,952	11,669
		60	40	17					88	11,968	7,779
G.723r53	53	30	20	33	40	PPP	8	4	32	8,448	5,491
		60	40	17					40	5,440	3,536

Slika 6: Proračun propusnog opsega za jednu VoIP konekciju

VI. ZAKLJUČAK

Budući da je propusni opseg vjerovatno najskuplja komponenta, koja se mora uzeti u obzir prilikom dimenzionisanja mreže za prenos VoIP-a to se mora voditi računa o njegovom efikasnom korištenju. U radu je prikazano određivanje propusnog opsega za jednu VoIP konekciju i načini kako se može postići efikasnije korištenje propusnog opsega primjenom različitih kodeka i tehnika poput VAD i cRTP-a.

LITERATURA

- [1] Jonathan Davidson, "Voice over IP Fundamentals", second edition, 2006
- [2] Bur Goode, "Voice over Internet Protocol", Proceedings of the IEEE, 2002
- [3] Cisco Press, "Voice over IP-Per Call Bandwidth Consumption", 2005
- [4] Cisco Press "Undersatnding Delay in Packet Voice Network", 2008

- [5] H. Toral-Cruz and D Torres-Roman „Traffic Analysis for IP telephony“, ICEEE, pp 136-139, 2005
- [6] Cisco Networking Academy Program "Calculating Bandwidth Requirements", 2005

ABSTRACT

Bandwidth is probably the most expensive component of the network and it has to be taken into account in dimensioning of a network. Thus, the bandwidth must be efficiently used. This paper shows a way to calculate bandwidth for single VoIP connection. It also shows the ways how to employ the bandwidth more efficiently using different codecs and techniques, such as VAD and cRTP.

CALCULATING BANDWIDTH FOR VoIP CONNECTION

Zvezdan Stojanović, Dušan Tošić