

Određivanje optimalne veličine de-džiter bafera sa stanovišta kvaliteta VoIP veze

Aleksandar Lebl, Verica Marinković-Nedelicki, Mladen Mileusnić, Dragan Mitić, Vladimir Matić, Žarko Markov
IRITEL a.d.
Beograd, Srbija
lebl@iritel.com, verica@iritel.com, mladenmi@iritel.com,
mita@iritel.com, vmatic@iritel.com, zmarkov@iritel.com

Ivica Marjanović
Ministarstvo odbrane VKK
Beograd, Srbija
ivica.marjanovic@mod.gov.rs

Rad je posvećen 50. godišnjici Instituta IRITEL iz Beograda

Sažetak— U ovom radu se prikazuju karakteristike jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ za različite tipove kodera (kompresora), koji se primenjuju u realizaciji VoIP veza. Ovo je novi oblik klasičnih karakteristika E-modela, koji olakšava projektovanje Internetskih sistema prema projektantskim zahtevima i, takođe, omogućava određivanje veličine de-džiter bafera tako da se postigne što veći kvalitet veze. Pokazano je da optimalnu veličinu de-džiter bafera treba uvećati za 10-15ms da bi se postiglo da promene karakteristika linka ne utiču značajnije na kvalitet VoIP veze. Takođe je predloženo da predviđeni statistički izveštaji prema RFC preporuci sadrže i podatak o optimalnom kašnjenju de-džiter bafera sa stanovišta kvaliteta VoIP veze, čemu odgovara verovatnoća gubitka paketa od 0,1%.

Ključne riječi- VoIP; E-model; kvalitet veze; de-džiter bafer; karakteristike jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“

I. UVOD

Činioci, koji utiču na kvalitet VoIP veze, su brojni. Praktično svaki element na putu ostvarivanja posmatrane veze u manjoj ili većoj meri može da utiče na degradaciju kvaliteta veze. Elementi i faktori degradacije nalaze se na polaznoj strani veze (primena raznovrsnih tipova kodera (kompresora), paketizacija kodovanih odbiraka govornog signala, uvođenje polaznih bafera, detekcija govorne aktivnosti), u paketskoj mreži za prenos (polazni i dolazni ruteri i linkovi, konačna brzina prostiranja signala) i na dolaznoj strani veze (dekodovanje signala, nadoknada izgubljenih paketa, primena de-džiter bafera (bafer za izgladivanje džitera) (DB). Uticaj svakog od ovih elemenata može se analizirati bilo zasebno, bilo zajedno sa drugim činiocima. Pri tome se negativan uticaj svakog od pomenutih elemenata manifestuje prvenstveno preko dva najvažnija činioca degradacije kvaliteta veze: kašnjenja i gubitka paketa.

U ovom radu prikazuje se uloga DB u VoIP vezama. Analiziraju se negativni efekti, koji su posledica njegove primene i kako su ti efekti povezani sa kvalitetom veze. Pored toga, prikazuje se kako se optimizacijom parametara DB mogu smanjiti negativni efekti njegove primene. Analiza se bazira na novouvedenim karakteristikama jednakog kvaliteta veze

„kašnjenje – gubitak paketa“ za analizu i projektovanje govornih veza, [1]. Ove karakteristike omogućavaju onda i nov pristup u projektovanju DB. Ovaj pristup je zasnovan na direktnom kvantitativnom povezivanju njegove veličine sa ocenom kvaliteta ostvarene veze.

II. E-MODEL I NJEGOVA VEZA SA PRIMENOM DE-JITTER BUFFER-A

E-model je najčešće korišćen proračunski metod za ocenu kvaliteta jedne VoIP veze. Ovim modelom se uvodi jedinstvena brojana ocena kvaliteta govorne veze. Osnovna jednačina E-modela povezuje ukupni činilac dobrote veze (R) sa pokazateljima pojedinih uticaja na kvalitet veze. Ona se prikazuje izrazom, [2], [3]:

$$R=R0-I_S-I_D-I_e+A \quad (1)$$

U ovom izrazu se vidi da se kvalitet idealne veze ($R0$) menja (uglavnom umanjuje, izuzetak je faktor unapređenja veze A) zbog uticaja raznovrsnih faktora. Kvalitet veze može da se kreće između 0 i 100, s tim što se smatra da je najbolji kvalitet lokalne ISDN veze $R=94$, dok se kvalitet veze $R<50$ smatra neprihvatljivim, [2]. U referencama [2], [3] detaljno je objašnjena uloga i značenje pojedinih činilaca u jednačini (1). Uticaj DB se manifestuje preko dva od faktora iz jednačine (1):

I_D – činioca umanjena kvaliteta veze zbog kašnjenja: činilac koji iskazuje uticaj kašnjenja govornog signala i odjeka (kod govornika i kod slušaoca) na smanjenje kvaliteta veze. Primena DB zasniva se na povećanju kašnjenja paketa, tako da se to dodatno kašnjenje iskazuje povećanjem vrednosti I_D ;

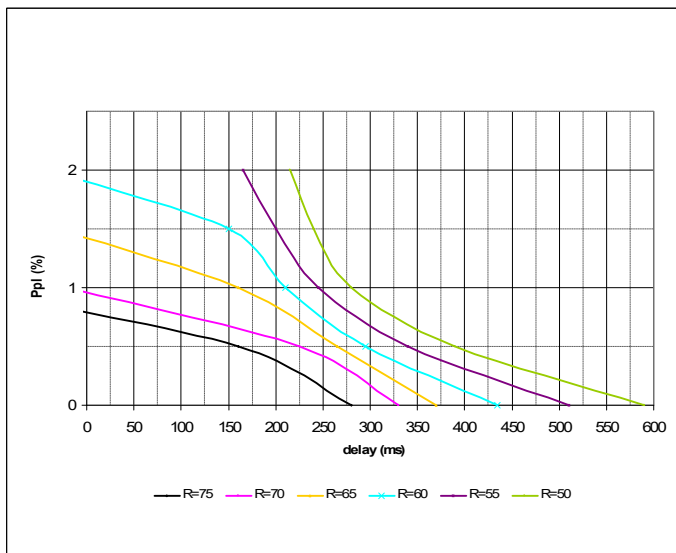
I_e – činioca umanjena kvaliteta veze zbog ostalih uticaja: činilac koji iskazuje uticaj kompresora, gubitka paketa i postupaka nadoknade paketa. Veličinom DB reguliše se prag kašnjenja paketa iznad koga se prispeli paketi na prijemnoj strani veze odbacuju, čime se, dakle, upravlja vrednošću procenta izgubljenih paketa.

Delovanje promene veličine DB na činioce I_D i I_e je međusobno različito. Naime, povećanjem veličine DB povećava se vreme kašnjenja paketa, a time i povećava

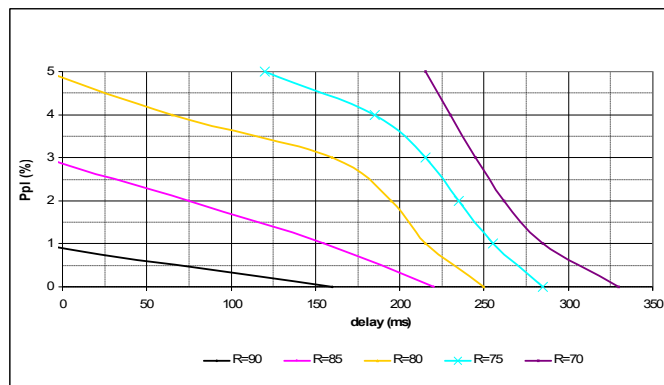
vrednost činioca I_D . U isto vreme, povećanjem granice kašnjenja paketa, koji se primaju, odnosno ne odbacuju kao previše zakasneli, smanjuje se procenat izgubljenih paketa, a time i smanjuje vrednost faktora I_e . Pri definisanju osnovnih parametara DB, potrebno je da se modeluje upravljanje njegovim dodatnim kašnjenjem i gubitkom paketa tako da se što više smanji degradacija kvaliteta veze kao rezultat primene DB.

III. LINIJE JEDNAKOG KVALITETA „KAŠNENJE-GUBITAK PAKETA“

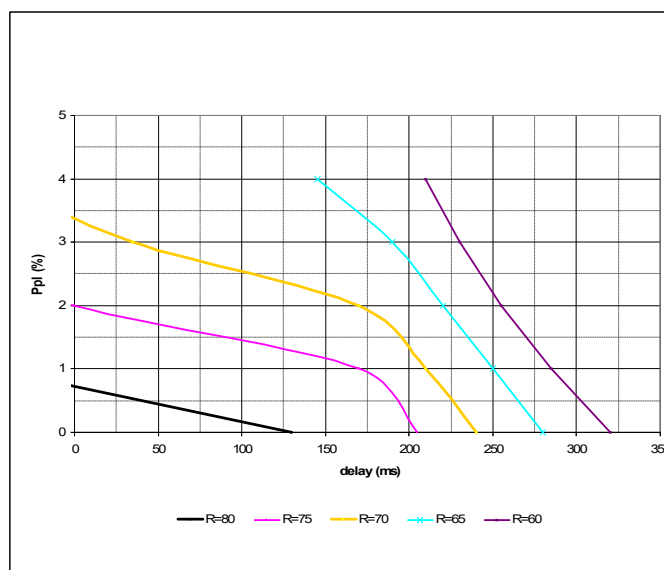
Parametri DB najlakše se određuju primenom linija jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“, [1]. Da bi se definisao izgled ovih karakteristika, polazi se od karakteristika prikazanih na Sl. 29, Sl. 31 i Sl. 33 u [4]. Sl. 29 odnosi se na G.711 kodek bez i sa nadoknadom izgubljenih paketa – *without and with Packet Loss Concealment* (PLC). Sl. 31 odnosi se na G.729 kodek (kompresor) sa detekcijom govorne aktivnosti – *Voice Activity Detection* (VAD). Sl. 33 odnosi se na G.723.1 kodek (kompresor). Ove karakteristike međusobno vezuju kašnjenje paketa, gubitak paketa i kvalitet govorne veze na taj način što se radi o linijama jednake verovatnoće gubitka paketa prikazanim u polju kašnjenje-kvalitet veze. Linije jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ predstavljaju drugi, u mnogo čemu pogodniji način za prikazivanje istih odnosa, gde je kvalitet veze parametar za pojedine linije, koje se prikazuju u polju kašnjenje-gubitak paketa. Naime, pri projektovanju VoIP veza obično se postavlja zahtev za određenim kvalitetom veze, tako da se iz odgovarajuće linije jednakog kvaliteta direktno očitavaju parovi vrednosti kašnjenja paketa i verovatnoće njihovog gubitka. Pored toga, ove karakteristike nam omogućavaju da izbor praga kašnjenja, koje izgladuje DB, a samim tim i njegovu veličinu, direktno vezemo za definisanje što boljeg kvaliteta govorne veze.



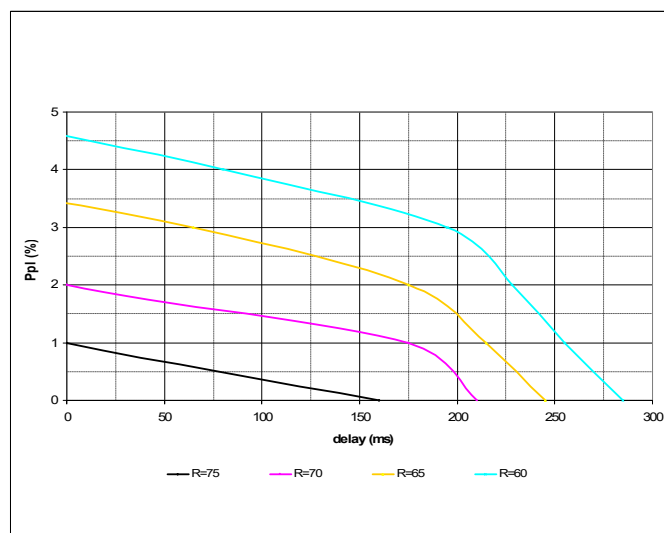
Slika 1. Linije jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ za G.711 bez PLC



Slika 2. Linije jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ za G.711 kodek sa PLC



Slika 3. Linije jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ za G.729+VAD kodek (kompresor)



Slika 4. Linije jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ za G.723.1 kodek (kompresor)

Na Sl. 1 do Sl. 4 prikazane su karakteristike jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ za pojedine kodeke (kompresore). Na Sl. 1 i Sl. 2 predstavljene su karakteristike za G.711 kodek bez i sa nadoknadom izgubljenih paketa (G.711 bez PLC i G.711 sa PLC), koje su dobijene na osnovu Sl. 29 iz [4]. Karakteristika na Sl. 3 odnosi se na G.729 kodek sa detekcijom govorne aktivnosti (G.729+VAD), koja je dobijena na osnovu Sl. 31 u [4]. I konačno, Sl. 4 prikazuje karakteristiku za G.723.1 kodek, dobijenu na osnovu Sl. 33 u [4].

IV. DŽITER KAŠNJENJA PAKETA U PRENOSU

Džiter (*jitter*) kašnjenja predstavlja razliku najveće i najmanje vrednosti vremena kašnjenja paketa pri njihovom slanju kroz mrežu. Uzroci ove razlike u kašnjenju su različiti putevi pojedinih paketa kroz mrežu, promenljivo opterećenje mrežnih tačaka, kroz koje prolaze paketi i zagušenje u pojedinim delovima mreže, [5].

Gustina verovatnoće kašnjenja za džiter kašnjenja (PDF) obično se modeluje pomerenom gama raspodelom (*Shifted Gamma Distribution*), [6], [7]. Ova raspodela može se prikazati jednačinom, [7]:

$$f(t) = t_s + \frac{(t)^{\beta-1} \cdot e^{-t}}{\Gamma(\beta)} \quad (2)$$

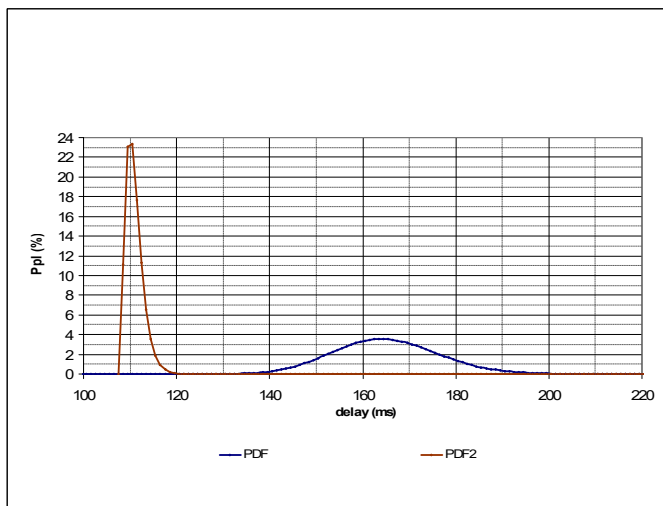
gde su:

β – parametar oblika (karakteristična vrednost za savremene mreže (mreže boljeg kvaliteta) iznosi 2,5);

$\Gamma(\cdot)$ – gama funkcija;

t_s – parametar pomeraja, dve tipične vrednosti su 7,5ms (za veze unutar jedne države) i 107,5ms (za međunarodne veze).

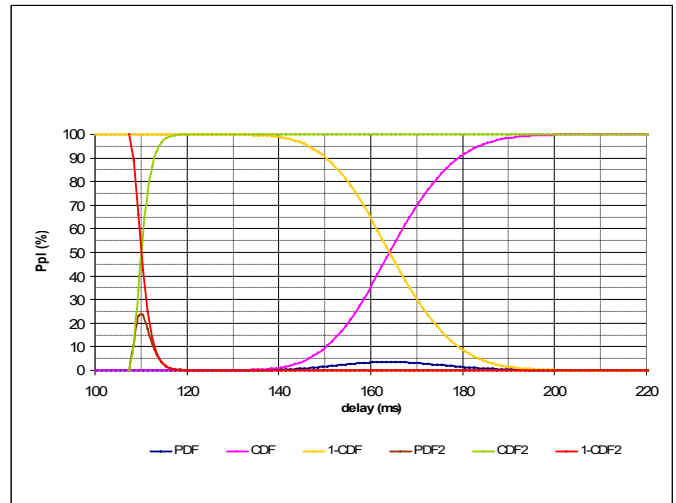
Za starije mreže (mreže lošijeg kvaliteta) karakteristične vrednosti za β i t_s su veće od ovde prikazanih.



Slika 5. Gustina verovatnoće kašnjenja paketa u starijoj mreži (PDF) i u novijoj mreži (PDF2)

Na Sl. 5 prikazana je gustina verovatnoće vremena potrebnog za slanje paketa preko mreže (*one-way Internet packet delay*). Prikazana je raspodela ovog vremena za noviju mrežu na osnovu (2) i karakterističnih parametara $\beta=2,5$ i

$t_s=107,5ms$ (grafik sa oznakom PDF2), kao i za stariju mrežu (grafik sa oznakom PDF). Za grafik sa oznakom PDF je uzeto $\beta=50,5$. Uočava se da se savremene mreže odlikuju manjim vrednostima džitera (reda 10-15ms). Neke tipične vrednosti džitera kašnjenja mogu se naći i u [8], Appendix IV. Smanjenje džitera kašnjenja u savremenim mrežama je posledica nekoliko faktora: uvođenja optičkih sistema prenosa, povećanja brzine obrade (prosleđivanja) paketa u ruterima mreže, primene prioritnog prosleđivanja govornih paketa, kao i fragmentacije negovornih paketa na manje segmente.



Slika 6. Gustina verovatnoće (PDF), kumulativna raspodela verovatnoće (CDF) i funkcija 1-CDF za kašnjenje paketa u starijoj mreži i u novijoj mreži (PDF2, CDF2 i 1-CDF2)

Polazeći od grafika na Sl. 5, moguće je nacrtati grafike za kumulativnu raspodelu verovatnoće kašnjenja paketa (CDF) i za funkciju 1-CDF, [1]. Ovi grafici prikazani su na Sl. 6 za stariju mrežu (grafici sa oznakama PDF, CDF i 1-CDF) i za savremenu mrežu (grafici sa oznakama PDF2, CDF2 i 1-CDF2).

V. DEFINISANJE KAŠNJENJA DE-JITTER BUFFER-A

Da bi se karakteristike jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ iskoristile za određivanje potrebnog kašnjenja DB, potrebno je na istom grafiku prikazati karakteristiku jednakog kvaliteta za primenjeni kodek (kompresor) i karakteristiku 1-CDF za raspodelu kašnjenja paketa na vezi između izvora i odredišta paketa, [1]. Sa ovako prikazanog grafika određuje se zatim tačka gde karakteristika dostiže maksimalnu vrednost kvaliteta signala. Apscisa uočene tačke predstavlja optimalnu tačku za ukupno kašnjenje u slanju paketa preko linka i kašnjenje DB, t_{tot} .

Podatak, koji je još potrebno znati sa neke od karakteristika raspodele kašnjenja na linku (PDF, CDF ili 1-CDF) je minimalno kašnjenje paketa na linku, t_{min} . Kašnjenje DB dobiće se onda kao razlika:

$$t_{db} = t_{tot} - t_{min} \quad (3)$$

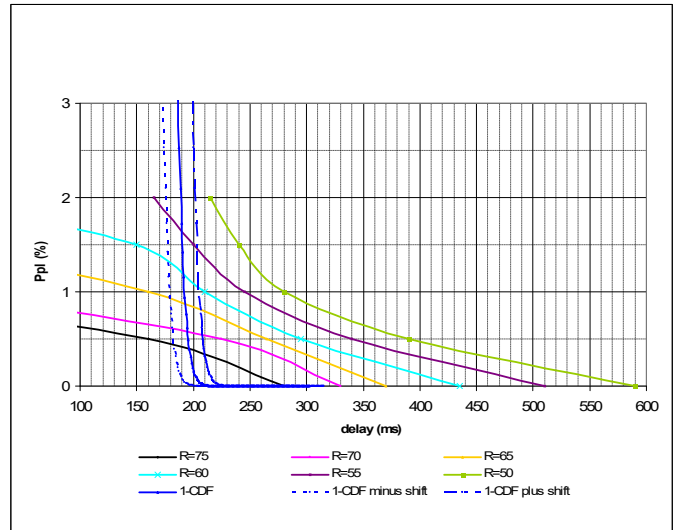
Grafici, na osnovu kojih se može odrediti optimalna veličina DB za pojedine kodeke (kompresore) prikazani su na

Sl. 7 do Sl. 10. Na Sl. 7 i Sl. 8 date su karakteristike za G.711 bez PLC i G.711 sa PLC. Sl. 9 daje odgovarajuću karakteristiku za G.729+VAD kodek (kompresor), dok je na Sl. 10 data ista karakteristika za G.723.1 kodek (kompresor). Grafici se odnose na raspodelu verovatnoće kašnjenja paketa u mreži lošijeg kvaliteta. Što se tiče raspodele 1-CDF, ona je prikazana za 3%, odnosno 5% najvećih vrednosti kašnjenja. U sva 4 slučaja optimalno kašnjenje, koje treba ostvariti u DB je približno isto i iznosi oko 200ms (odgovarajuća verovatnoća gubitka paketa je reda 0,1%), jedino postoji razlika u tome koji kvalitet veze se pri tome postiže. U slučaju G.711 kodeka bez PLC kvalitet veze je veći od $R=75$ (oko $R=78$), u slučaju G.711 kodeka sa PLC je $R=86$, za G.729+VAD kodek (kompresor) je $R=75$, a za G.723.1 kodek (kompresor) $R=70,5$.

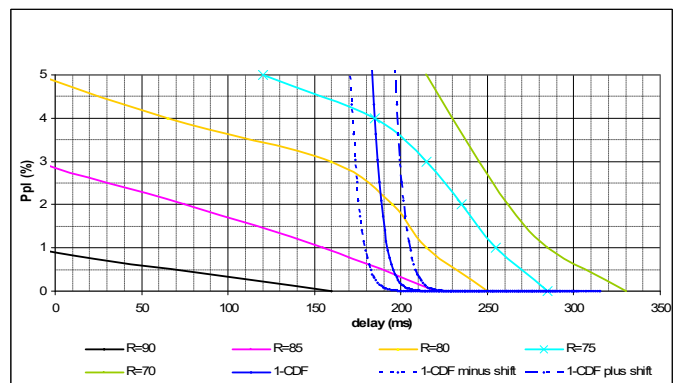
Na Sl. 7 do Sl. 10 prikazane su po tri karakteristike 1-CDF. Srednja karakteristika (nacrtana punom linijom) predstavlja onu, koju razmatramo u našoj analizi, za $t_{min}=107,5ms$. Preostale dve karakteristike nastaju usled promene t_{min} za po 13ms u pravcu smanjenja (*minus shift*), odnosno povećanja (*plus shift*) ovog vremena. (Pored ovoga, mogle bi se prikazati i karakteristike, koje se dobijaju ako se ne menja vrednost t_{min} , a menja se džiter kašnjenja: u tom slučaju promenio bi se i nagib prikazanog dela 1-CDF karakteristike na Sl. 7 do Sl. 10). Analizom karakteristike 1-CDF i karakteristike 1-CDF *plus shift* može se zaključiti da male promene svojstava kanala, preko koga se šalju paketi sa govornim signalom, utiču na značajne promene u kvalitetu veze, ukoliko bi se vrednost kašnjenja DB fiksirala na vrednost takvu da je $t_{tot}=200ms$. Ovo je posledica činjenice da bi došlo do značajnog povećanja verovatnoće izgubljenih paketa na blizu 3%. Najveći pad kvaliteta veze desio bi se u slučaju primene G.711 kodeka bez PLC, gde bi kvalitet veze sa $R=78$ pao na $R=52$ (promena kvaliteta veze za $\Delta R=26$ jedinica). Kvalitet veze bi se u ovom slučaju našao vrlo blizu oblasti neprihvatljivog kvaliteta. U ostalim slučajevima došlo bi do manjeg, mada još uvek značajnog pada kvaliteta veze: za G.711 kodek sa PLC za $\Delta R=8$ jedinica (sa $R=86$ na $R=78$, Sl. 8), za G.729+VAD kodek (kompresor) za $\Delta R=10$ jedinica (sa $R=75$ na $R=65$, Sl. 9) i za G.723.1 kodek (kompresor) takođe za $\Delta R=10$ jedinica (sa $R=70,5$ na $R=60,5$, Sl. 10). Ovako značajne promene kvaliteta veze uočavaju se u slučaju starije mreže. Kada bi se u razmatranje uzele savremene mreže, nagibi karakteristika 1-CDF bili bi veći od onih prikazanih na Sl. 7 do Sl. 10, pa bi došlo do još većeg pada kvaliteta veze. Zbog toga je pri definisanju kašnjenja u DB veoma značajno stalno pratiti karakteristike mreže, preko koje se šalju govorni paketi. Na osnovu promena ovih karakteristika neophodno je dinamički menjati kašnjenje DB. Takođe, pogodno je držati kašnjenje DB na vrednosti koja je nešto veća od optimalne, određene trenutnim stanjem. U razmatranom slučaju, ona bi bila takva da se t_{tot} nalazi u oblasti između 210ms i 215ms. Time bi se kvalitet veze za svega nekoliko jedinica smanjio u odnosu na optimalan, a iznenadne promene u karakteristikama mreže ne bi imale značajnijeg uticaja na pad kvaliteta veze.

U paketskim mrežama razvijeni su postupci za praćenje njihovog kvaliteta. Što se tiče džitera, statistički parametri, o

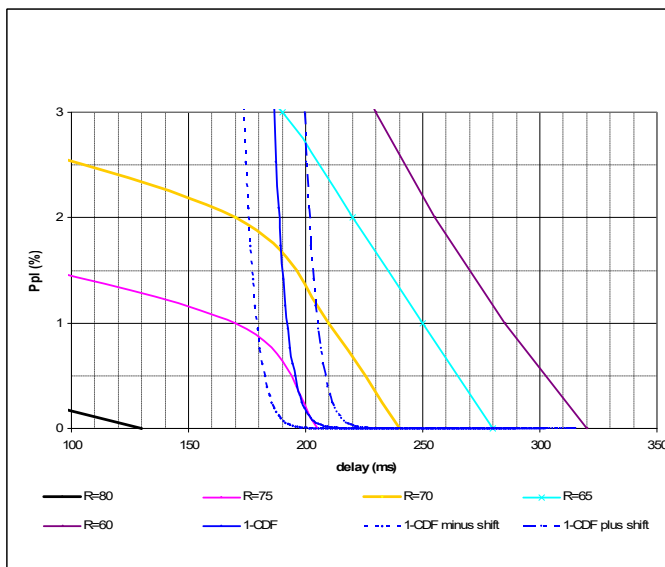
kojima se priprema i šalje izveštaj obuhvataju njegovu maksimalnu, minimalnu, prosečnu vrednost i devijaciju džitera (*Statistic Summary Report Block* u preporuci RFC3611, [9]). Sa stanovišta poboljšavanja kvaliteta govorne veze, interesantan podatak bi bilo da se uvede i odgovarajuća optimalna vrednost džitera (vrednost pri kojoj je verovatnoća gubitka paketa iznosi 0,1%). U tom slučaju sprovedena analiza džitera ne bi imala samo statistički značaj, već bi imala i praktičan značaj za poboljšanje kvaliteta veze.



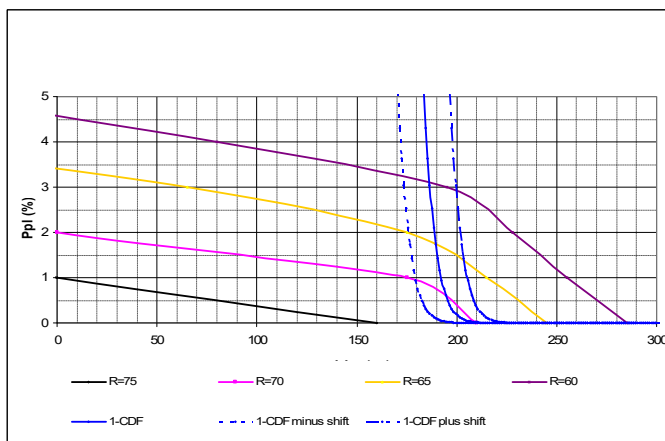
Slika 7. Određivanje optimalnog kašnjenja DB za link sa G.711 bez PLC



Slika 8. Određivanje optimalnog kašnjenja DB za link sa G.711 sa PLC



Slika 9. Određivanje optimalnog kašnjenja DB za link sa G.729+VAD kodekom (kompresorom)



Slika 10. Određivanje optimalnog kašnjenja DB za link sa G.723.1 kodekom (kompresorom)

VI. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane karakteristike jednakog kvaliteta „kašnjenje-gubitak paketa“ za Internetske govorne veze u slučaju primene nekoliko koda (kompresora). Prikazana je primena ovih karakteristika za određivanje optimalne veličine kašnjenja DB. Kriterijum za određivanje veličine kašnjenja je da se ostvari što veći kvalitet veze (R). Dodatna karakteristika potrebna pri ovoj analizi je PDF kašnjenja paketa u mreži, odnosno iz nje izvedena karakteristika 1-CDF. Pokazano je da je korisno definisati kašnjenje DB na vrednost 10-15ms veću od optimalne za kvalitet Internetske govorne veze, da bi se smanjio uticaj promene (degradacije) karakteristika mreže na

kvalitet te veze. Interesantno bi bilo ispitati i uticaj kašnjenja signala i snage odjeka na kvalitet signala pošto i za ove veličine postoje karakteristike jednakog kvaliteta.

LITERATURA

- [1] M. Mileusnić, A. Lebl, D. Mitić, Ž. Markov, „About Delay Loss Equivalency Characteristics in Packet Telephony“, *Automatika*, Vol. 55, No1, pp. 64-68, February 2014.
- [2] ITU-T Recommendation G.107: The E-model, a computational model for use in transmission planning, June 2015.
- [3] A. Lebl, D. Mitić, P. Petrović, V. Matić, M. Mileusnić, Ž. Markov, „Primena karakteristika jednakog kvaliteta „kašnjenje-echo-gubitak paketa“ u projektovanju Internetskih govornih veza“, XV međunarodni naučno-stručni simpozijum Infoteh-Jahorina 2016, mart 2016, str. 284-289.
- [4] Telecommunications industry association: Telecommunications – IP Telephony Equipment – Voice Quality Recommendations for IP Telephony: TSB-116-A, TIA Telecommunications Systems Bulletin, March 2006.
- [5] ITU-T Recommendation G.114: One-way transmission time, May 2003.
- [6] A. Corlett, D. I. Pullin, S. Sargood, „Statistics of One-Way Internet Packet Delays“, 53rd IETF, Minneapolis, March 2002.
- [7] www.ieee802.org/20/email_eval/doc00003.doc
- [8] ITU-T Recommendation Y.1541: Network performance objectives for IP-based services, December 2011.
- [9] T. Friedman, R. Caceres, A. Clark: RFC3611: RTP Control Protocol Extended Reports (RTCP XR), November 2003.

ABSTRACT

This paper presents equivalency lines "delay-packet loss" for different types of encoders (compressors), which are used in VoIP connections realization. This is a new form of the classic E-model characteristics, which facilitates Internet systems planning according to the design requirements and also allows specification of de-jitter buffer size so as to achieve a higher connection quality. It is shown that optimal de-jitter buffer size should be increased by 10-15ms to achieve that variation of the link characteristics does not significantly affect the quality of the VoIP connection. It is also suggested that the statistical reports provided by the RFC recommendation contain information on the optimal de-jitter buffer delay when considering VoIP connection quality, which corresponds to the packet loss probability of 0.1%.

OPTIMAL DE-JITTER BUFFER DIMENSIONING AS THE FUNCTION OF VoIP CONNECTION QUALITY

Aleksandar Lebl, Verica Marinković-Nedelicki, Mladen Mileusnić, Dragan Mitić, Vladimir Matić, Žarko Markov, Ivica Marjanović