

Konstrukcija kvantizera promenljive dužine i male bitske brzine za Laplasov izvor

Zoran H. Perić, Lazar Z. Velimirović, Jelena R. Lukić, Aleksandar V. Jocić, Dragan B. Denić

Sadržaj — U ovom radu je predstavljen model hibridnog skalarnog kvantizera dobijenog kombinovanjem modela uniformnog i optimalnog Lloyd-Max-ovog modela skalarnog kvantizera. Govorni signal na ulazu hibridnog kvantizera modelovan je Laplasovom funkcijom gustine verovatnoće. Performanse predloženog modela kvantizera procenili smo na osnovu poređenja sračunatih vrednosti odnosa signal-šum kvantizacije i bitske brzine sa sračunatim vrednostima koje odgovaraju modelu uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem. Prednost hibridnog modela kvantizera, definisanog malom bitskom brzinom i promenljivom dužinom kodnih reči, ogleda se u kompromisu postignutom između vrednosti distorzije i broja nivoa kvantizacije, odnosno odnosa signal-šum kvantizacije i bitske brzine.

Ključne reči — Hibridni kvantizer, kodovanje sa promenljivom dužinom kodnih reči, ograničena bitska brzina

I. UVOD

REALIZACIJI govornih komunikacija se poklanja velika pažnja kroz poboljšanje postupka same obrade, odnosno digitalizacije govornog signala. Pod obradom signala podrazumevamo namensku modifikaciju signala sa ciljem poboljšanja prenosa govornog signala i upotrebe istog. Ovaj postupak obrade naziva se kodovanje govornog signala. Iako je razvijen veliki broj tehnika kodovanja govornog signala još uvek postoji potreba za razvojem novih i unapređenih tehnika kodovanja koje pružaju pouzdaniji prenos govornog signala a sa njim i verniju reprodukciju istog.

Ukoliko je zahtev u pogledu kvaliteta govornog signala na prijemu ispunjen upotreboru odgovarajućeg kvantizera na predaji, prednost realizacije tog modela kvantizera je utoliko veća ukoliko taj kvalitet ostvari kodovanjem odmeraka govornog signala sa manjim brojem bita uz što nižu vrednost distorzije tj. što veću vrednost odnosa signal-šum kvantizacije (*SQNR*-signal to quantization noise ratio) [1], [2]. U ovom radu predložen je model hibridnog skalarnog kvantizera sa promenljivom dužinom kodnih reči, kojim se želi postići što manja vrednost distorzije kada je dozvoljeni broj bita za kodovanje odmeraka ograničen. Uz sve pomenute uslove teži se

Z. H. Perić, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (telefon: 018/529-101; e-mail: zoran.peric@elfak.ni.ac.rs).

L. Z. Velimirović, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: velimirovic.lazar@gmail.com).

J. R. Lukić, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: jelenalukicpk@gmail.com).

A. V. Jocić, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: aleksandar.jocic@elfak.ni.ac.rs).

D. B. Denić, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: dragan.denic@elfak.ni.ac.rs).

povećanju odnosa signal-šum kvantizacije. Analiza hibridnog skalarnog kvantizera za konstantnu dužinu kodnih reči i velike bitske brzine izvršena je u radovima [5]-[7].

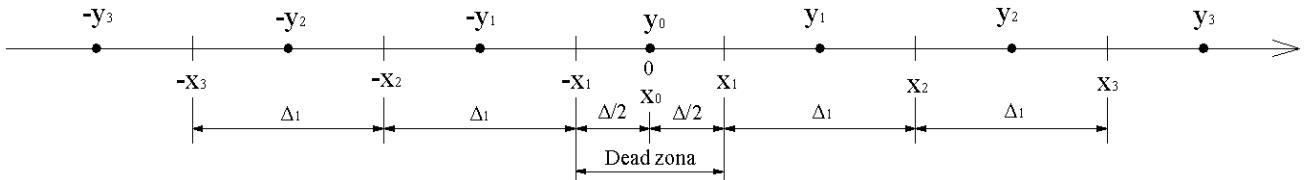
Predloženi model hibridnog skalarnog kvantizera promenljive dužine kodnih reči i male bitske brzine predstavlja kombinaciju uniformnog skalarnog i optimalnog Lloyd-Max-ovog modela skalarnog kvantizera [5]-[7]. Pored vrednosti odnosa signal-šum kvantizacije i bitske brzine, još jedna bitna karakteristika predloženog hibridnog kvantizera je njegova kompleksnost. Kompleksnost predloženog hibridnog kvantizera posledica je kodovanja odmeraka govornog signala promenljivom dužinom kodnih reči. Ne manje značajno, na kompleksnost hibridnog modela utiče i primena složenog optimalnog Lloyd-Max-ovog modela skalarnog kvantizera. S druge strane, uniformni skalarni kvantizer predstavlja najjednostavniji tip kvantizera, tako da je sa njegovim uvođenjem u realizaciju hibridnog modela prosečna kompleksnost redukovana. U cilju što vernijeg modelovanja realnog govornog signala na ulazu hibridnog kvantizera koristićemo neuniformnu Laplasovu funkciju gustine verovatnoće.

Da bi istakli prednosti predloženog modela kvantizera njegove karakteristike upoređićemo sa odgovarajućim karakteristikama uniformnog skalarnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem [3]. Poznato je da Huffman-ov kod spada u grupu kodova sa promenljivom dužinom kodnih reči, pa je stoga poređenje hibridnog i modela uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem razumno.

U narednom poglavlju biće reči o karakteristikama uniformnog kvantizera promenljive dužine kodnih reči sa dead zonom uz kratko poređenje istih sa karakteristikama uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem [4]. U trećem poglavlju detaljnije ćemo opisati predloženi model hibridnog kvantizera i u poglavlju o analizi rezultata uporediti njegove performanse sa performansama već pomenutog uniformnog skalarnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem.

II. ANALIZA DEAD-ZONE UNIFORMNOG KVANTIZERA PROMENLJIVE DUŽINE

Opšta podela skalarnih kvantizera na uniformne i neuniformne skalarne kvantizere vrši se u zavisnosti od toga da li su veličine amplitudskih kvanata (koraka kvantizacije) u celom opsegu kvantizera konstantne ili ne.



Sl. 1. Ilustracija segmentne podele opsega neuniformnog kvantizera promenljive dužine kodnih reči za sedam nivoa kvantizacije

Iako je matematički model uniformnog kvantizera veoma jednostavan, uniformno kvantovanje ne predstavlja najefikasniji postupak kvantovanja [1]-[2]. Naime, pokazano je da se primenom neuniformnog postupka kvantizacije slučajna promenljiva može kvantovati sa manjom varijansom greške [1], [2]. Na Sl. 1 prikazan je opseg neuniformnog skalarnog kvantizera promenljive dužine kodnih reči koji suštinski predstavlja uniformni kvantizer promenljive dužine kodnih reči sa tzv. *dead zonom* i sedam nivoa kvantizacije [4].

Širinu dead zone definiše vrednost amplitudskog kvanta Δ u nultom segmentu opsega kvantizera [4]. U realizaciji pomenutog neuniformnog kvantizera uzeto je da su vrednosti amplitudskih kvanata u svim segmentima kvantizacije, osim nultog, međusobno jednakе i zavisne od vrednosti amplitudskog kvanta u nultom segmentu opsega [4]. Ove vrednosti amplitudskih kvanata su na Sl. 1 obeležene sa Δ_1 .

Analizu neuniformnog kvantizera promenljive dužine kodnih reči odnosno uniformnog kvantizera sa dead zonom i promenljivom dužinom kodnih reči, izvršili smo za govorni signal jedinične varijanse predstavljen Laplasovom funkcijom gustine raspodele na ulazu, koja je data sledećim izrazom:

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-|x|\sqrt{2}}. \quad (1)$$

Distorzija D uniformnog skalarnog kvantizera sa dead zonom i promenljivom dužinom kodnih reči data je izrazom (2):

$$D = 2 \int_{x_0}^{x_1} x^2 p(x) dx + 2 \sum_{i=1}^L \int_{x_i}^{x_{i+1}} (x - y_i)^2 p(x) dx + 2 \int_{x_{\max}}^{\infty} (x - y_L)^2 p(x) dx, \quad (2)$$

dok je srednja bitska brzina \bar{R} pomenutog kvantizera data izrazom (3):

$$\bar{R} = 2l_0 \int_{x_0}^{x_1} p(x) dx + 2 \sum_{i=1}^L l_i \int_{x_i}^{x_{i+1}} p(x) dx + 2l_L \int_{x_{\max}}^{\infty} p(x) dx. \quad (3)$$

U izrazima (2) i (3) veličine x_i , y_i i l_i predstavljaju i -te vrednosti pragova odluke, reprezentacionih nivoa i dužine kodnih reči, respektivno. Oznakama l_0 i l_L označene su dužine kodnih reči kojima se predstavljaju odmerci govornog signala iz nultog i poslednjeg segmenta opsega distorziju D , odgovara poslednjem segmentu u pozitivnom

delu opsega neuniformnog kvantizera. Vrednost L u izrazima (2), (3) i (4) definisana je kao $(N-1)/2$ pri čemu veličina N označava ukupan broj segmenata koji se posmatra. Gornja granica poslednjeg segmenta u pozitivnom delu opsega neuniformnog kvantizera određena je sledećim izrazom:

$$x_{\max} = x_{L+1}. \quad (4)$$

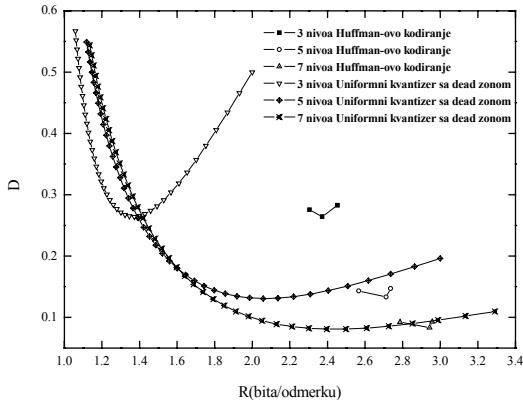
Kako se radi o kvantizeru koji kodovanje odmeraka govornog signala vrši sa promenljivom dužinom kodnih reči, u zavisnosti od toga kom segmentu kvantizacije odmerak pripada, neophodno je opisati postupak kojim se definiše dužina kodnih reči. Opseg kvantizera podeljen je na segmente koji se koduju određenim brojem bita. Ako posmatramo opseg kvantizera sa sedam nivoa kvantizacije kao što je na Sl. 1, nulti segment biće predstavljen jednim bitom, prvi sa dva, a treći i četvrti sa po tri bita, i u pozitivnom i u negativnom delu opsega. Kako se u prvom, drugom i trećem segmentu nalazi po jedan reprezentacioni nivo, i u pozitivnom i u negativnom delu opsega, za njihovo kodovanje biće potrebno dodati još jedan bit na ukupan broj bita kojim je predstavljen segment. Kvanticacioni nivo koji pripada nultom segmentu koduje se jednim bitom, tj. baš kao i sam segment. Na ovakav način određene dužine kodnih reči imale bi vrednosti 1,3,3,4 za reprezentacione nivoe u nultom, prvom, drugom i trećem segmentu, respektivno, i u pozitivnom i u negativnom delu opsega [2].

Optimalnim izborom veličine amplitudskih kvanata Δ i Δ_1 mogu se ostvariti i optimalne performanse neuniformnog skalarnog kvantizera. Za neuniformni kvantizer sa tri, pet i sedam nivoa kvantizacije u Tabeli 1 su prikazane optimalne vrednosti amplitudskog kvanta Δ_1 , kada se vrednost amplitudskog kvanta Δ u nultom segmentu kreće u granicama od 0 do 4.

TABELA 1: OPTIMALNE VREDNOSTI AMPLITUDSKIH KVANATA ZA NEUNIFORMNI KVANTIZER

Broj nivoa kvantizacije	Δ_{opt}
3	$\sqrt{2}$
5	1,0873
7	0,8707

U cilju ocene performansi diskutovanog neuniformnog kvantizera uporedićemo vrednosti distorzije za ograničenu vrednost srednje bitske brzine sa distorzijom uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem. Rezultati tog poređenja najlakše se mogu uočiti na grafiku zavisnosti distorzije od srednje bitske brzine, koji je prikazan na Sl. 2.



Sl. 2. Zavisnost distorzije od srednje bitske brzine neuniformnog kvantizera promenljive dužine i uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem za 3, 5 i 7 nivoa kvantizacije.

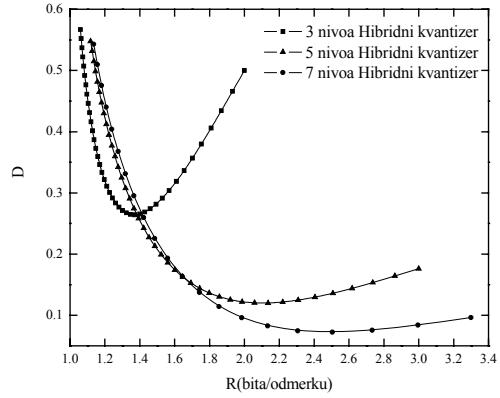
Sa Sl. 2 lako je uočiti da se iste vrednosti distorzije D ostvaruju za niže vrednosti srednje bitske brzine u slučaju kodovanja neuniformnim kvantizerom nego u slučaju uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem. Ovim rezultatom dokazana je prednost neuniformnog kvantizera pri kodovanju odmeraka govornog signala manjim brojem bita.

III. HIBRIDNI MODEL KVANTIZERA

U ovom radu predložili smo model hibridnog skalarnog kvantizera promenljive dužine kodnih reči sačinjenog od jednostavnog uniformnog i optimalnog Lloyd-Max-ovog skalarnog kvantizera. U radovima [5] i [6] analiziran je hibridni kvantizer sačinjen od skalarnog kompandora i optimalnog Lloyd-Max-ovog skalarnog kvantizera. Osnovna karakteristika kvantizera promenljive dužine kodnih reči je da kodovanje odmeraka ulaznog signala, koji imaju manju verovatnoću pojavljivanja na ulazu kvantizera, izvode sa većim brojem bita, dok odmerke sa većom verovatnoćom pojavljivanja koduju manjim brojem bita na izlazu [3]. Ako je rezolucija odnosno bitska brzina kvantizera ograničena, kao što je slučaj sa postavkom predloženog modela hibridnog kvantizera, kodovanje sa promenljivom dužinom kodnih reči minimizira vrednost distorzije.

U cilju smanjenja distorzije za zadatu bitsku brzinu, Lloyd-Max-ovim iterativnim postupkom optimalno su odabране vrednosti reprezentacionih nivoa i pragova odluke [1]. Za proračun vrednosti distorzije i srednje bitske brzine koristili smo jednačine (2) i (3), respektivno. Jedina razlika u odnosu na neuniformni kvantizer je u vrednosti praga odluke x_{\max} , koji u slučaju predloženog hibridnog kvantizera teži beskonačnosti. Zavisnost distorzije od srednje bitske brzine hibridnog kvantizera za tri, pet i sedam nivoa kvantizacije prikazana je na Sl. 3.

Sa Sl. 3 se uočava značajna razlika u vrednosti distorzije za iste vrednosti srednje bitske brzine, u zavisnosti od broja nivoa kvantizacije. Povećanjem broja nivoa kvantizacije, za istu vrednost srednje bitske brzine, vrednost distorzije se smanjuje.



Sl. 3. Zavisnost distorzije od srednje bitske brzine hibridnog skalarnog kvantizera promenljive dužine za 3, 5 i 7 nivoa kvantizacije.

U cilju poređenja performansi hibridnog i uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem u Tabeli 2 prikazani su parovi vrednosti srednja bitska brzina-distorzija. Lako se može uočiti da je kodovanje sa manjim brojem bita pomoću hibridnog kvantizera praćeno manjom distorzijom.

TABELA 2: VREDNOST SREDNJE BITSKE BRZINE ZA MINIMALNU VREDNOST DISTORZIJE

<i>Br. nivoa</i>	<i>Huffman-ov koder</i>		<i>Hibridni model</i>	
	\bar{R}	D	\bar{R}	D
3	2,3682	0,2642	1,3716	0,2642
5	2,7117	0,133	2,1359	0,1199
7	2,9433	0,0831	2,4622	0,0761

IV. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

U cilju analize eksperimentalnih rezultata, predloženi model hibridnog kvantizera sa promenljivom dužinom kodnih reči primenjen je za kodovanje $I=10200$ odmeraka snimljenog govornog signala tihog, srednje glasnog i glasnog govornika. Odmerci dobijeni odmeravanjem frekvencijom od 8kHz kvantovani su sa 16 bita po odmerku.

Vrednost odnosa signal-šum kvantizacije izračunava se primenom relacije (5):

$$SQNR = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^I (b_i)^2}{\sum_{i=1}^I (b_i - \hat{b}_i)^2}, \quad (5)$$

gde je b_i i -ti ulazni odmerak govornog signala, a \hat{b}_i njegova kvantovana vrednost na izlazu kvantizera.

Srednja bitska brzina hibridnog kvantizera i uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem, u oba slučaja, izračunava se primenom jednačine (6):

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^7 l_i n_i}{\sum_{i=1}^7 n_i}, \quad (6)$$

gde n_i ($i=1,..,7$) predstavlja broj pojavljivanja ulaznog odmerka u i -tom segmentu kvantizera. Odnos $n_i/(n_1+...+n_7)$, predstavlja verovatnoću pojavljivanja omerka u i -tom segmentu kvantizera.

U Tabelama 3-8 prikazane su vrednosti $SQNR$ i \bar{R} za slučajeve kada se na ulaz hibridnog i uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem dovode odmerci govornog signala tihog, srednje glasnog i glasnog govornika.

TABELA 3: HIBRIDNI MODEL, TIHI GOVORNIK

Veličina kvanta	SQNR	\bar{R}
$\Delta=0,8 \quad \Delta_1=0,8535$	5,02 dB	1,34 b/odm
$\Delta=0,8 \quad \Delta_1=1,0242$	4,25 dB	1,35 b/odm
$\Delta=0,6 \quad \Delta_1=0,8535$	5,37 dB	1,52 b/odm
$\Delta=0,6 \quad \Delta_1=1,0242$	5,17 dB	1,51 b/odm

TABELA 4: HIBRIDNI MODEL, SREDNJE GLASNI GOVORNIK

Veličina kvanta	SQNR	\bar{R}
$\Delta=0,8 \quad \Delta_1=0,8535$	10,11 dB	2,16 b/odm
$\Delta=0,8 \quad \Delta_1=1,0242$	9,99 dB	2,12 b/odm
$\Delta=0,6 \quad \Delta_1=0,8535$	10,08 dB	2,38 b/odm
$\Delta=0,6 \quad \Delta_1=1,0242$	9,86 dB	2,33 b/odm

TABELA 5: HIBRIDNI MODEL, GLASNI GOVORNIK

Veličina kvanta	SQNR	\bar{R}
$\Delta=0,8 \quad \Delta_1=0,8535$	5,27 dB	3,07 b/odm
$\Delta=0,8 \quad \Delta_1=1,0242$	5,86 dB	3,04 b/odm
$\Delta=0,6 \quad \Delta_1=0,8535$	5,09 dB	3,20 b/odm
$\Delta=0,6 \quad \Delta_1=1,0242$	5,68 dB	3,16 b/odm

TABELA 6: UNIFORMNI KVANTIZER SA HUFFMAN-OVIM KODOVANJEM, TIHI GOVORNIK

Veličina kvanta	SQNR	\bar{R}
$\Delta=0,775$	3,63dB	2,09 b/odm

TABELA 7: UNIFORMNI KVANTIZER SA HUFFMAN-OVIM KODOVANJEM, SREDNJE GLASNI GOVORNIK

Veličina kvanta	SQNR	\bar{R}
$\Delta=0,775$	10,16dB	2,73 b/odm

TABELA 8: UNIFORMNI KVANTIZER SA HUFFMAN-OVIM KODOVANJEM, GLASNI GOVORNIK

Veličina kvanta	SQNR	\bar{R}
$\Delta=0,775$	5,11dB	3,89 b/odm

Teorijski sračunatim vrednostima za $SQNR$ i \bar{R} , najpričinije odgovaraju eksperimentalni rezultati dobijeni na uzorku srednje glasnog govornika kada se u proračun svih rezultata uključe teorijski optimalne vrednosti amplitudskih kvanata Δ u nultom i Δ_1 u ostalim segmentima. Ova konstatacija ukazuje da postoji realna

potreba za projektovanjem adaptivnih kvantizera, što može biti predmet daljih istraživanja.

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu teorijskih i eksperimentalnih rezultata dobijenih adekvatnom analizom predloženog hibridnog kvantizera pokazali smo da se u poređenju sa uniformnim kvantizerom sa Huffman-ovim kodovanjem minimizira vrednost distorzije, odnosno povećava vrednost odnosa signal-šum kvantizacije, kada se kao ograničenje uvede mala vrednost bitske brzine. Stoga smatramo da je predloženi model hibridnog kvantizera sa promenljivom dužinom kodnih reči efikasno rešenje pri kodovanju govornog signala sa ograničenim brojem bita po odmerku.

LITERATURA

- [1] N. S. Jayant and P. Noll, "Digital Coding Of Waveforms, Principles and Applications to Speech and Video," New Jersey: Prentice Hall, 1984, 2nd ed., ch. 4, pp. 115-220.
- [2] A. Gersho and R. M. Gray, "Vector Quantization and Signal Compression," Boston, Dordrecht, London: Kluwer Academic Publishers, 1992, ch. 9, pp. 271-276.
- [3] W. Press, S. Teukolsky, W. Vetterling, B. Flannery, "Numerical Recipes in C, The Art of Scientific Computing," New York: Press Syndicate of the University of Cambridge, 1992, 2nd ed., ch. 20, pp. 903-910.
- [4] M. Marcellin, M. Lepley, A. Bilgin, T. Flohr, T. Chinen, J. Kasner, "An overview of quantization in JPEG 2000," *Signal Processing: Image Communication*, Vol 17, 2002, pp. 73-84
- [5] Z. Perić, J. Nikolić, D. Pokrajac, "Hybrid Scalar Quantizer for the Laplacian Source," *WSEAS Transactions on Communications.*, Vol. 6, No. 1, January 2007, pp. 60-65
- [6] Z. Perić, J. Nikolić, D. Pokrajac, "Optimal designing scalar quantizers using a hybrid quantization method for the Laplacian source," *Proceedings of the 4th WSEAS International Conference on Electromagnetics, Wireless and Optical Communications.*, 20-22 November 2006, pp. 156-162.
- [7] Z. Perić, J. Nikolić, D. Pokrajac, "Designig of scalar quantizer based on the hybrid model for the Laplacian source," *Proceedings of the International Scientific Conference on Information, Communication, and Energy Systems and Technologies ICEST 2006*, Vol. 2, June29- July 1, 2006, pp. 197-199.

ABSTRACT

This paper presents the hybrid model of scalar quantizer consisted of uniform and optimized Lloyd-Max scalar quantizer. The speech signal at the entrance of the hybrid quantizer is modeled by Laplacian probability density function. Performances of the proposed quantizer are estimated on the basis of comparation of calculated values of signal to quantization noise ratio and bitrate, with the uniform quantizer with Huffman coding. The advantage of hybrid quantizer, defined by small bitrate and variable-length code words, is reflected in the compromise achieved between the distortion values and the number of quantization levels, or in other words, between the values of signal to quantization noise ratio and bitrate.

CONSTRUCTION OF THE VARIABLE-LENGTH AND SMALL BITRATE QUANTIZER FOR THE LAPLACIAN SOURCE

Zoran H. Perić, Lazar Z. Velimirović, Jelena R. Lukić, Aleksandar V. Jocić, Dragan B. Denić