

# 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 upotrebom 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

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 skalarnе kvantizere vrši se u zavisnosti od toga da li su veličine amplitudskih kvanata (koraka kvantizacije) u celom opsegu kvantizera konstantne ili ne.

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

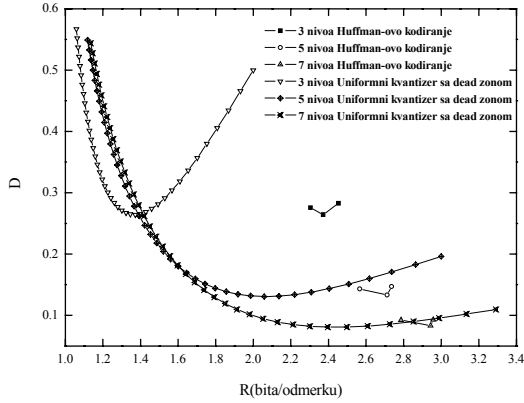
L. Z. Velimirović, Elektronski fakultet u Nišu, Srbija (e-mail: velimirovic.lazar@gmail.com).

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).





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

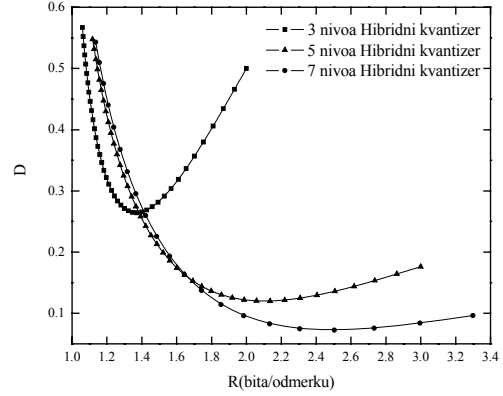
Sa Sl. 2 lako je uočiti da se iste vrednosti distorzije  $D$  ostvaruju za niže vrednosti srednje bitske brzine u slučaju kodovanja neuniformnim kvantizerom nego u slučaju uniformnog kvantizera sa Huffman-ovim kodovanjem. Ovim rezultatom dokazana je prednost neuniformnog kvantizera pri kodovanju odmeraka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

### III. HIBRIDNI MODEL KVANTIZERA

U ovom radu predložili smo model hibridnog skalarnog kvantizera promjenljive 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 komandora i optimalnog Lloyd-Max-ovog skalarnog kvantizera. Osnovna karakteristika kvantizera promjenljive 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 odabrane 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 promjenljive 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

| Br. nivoa | Huffman-ov koder |        | Hibridni model |        |
|-----------|------------------|--------|----------------|--------|
|           | $\bar{R}$        | $D$    | $\bar{R}$      | $D$    |
| 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):

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

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  $n_i$  ( $i=1,\dots,7$ ) predstavlja broj pojavljivanja ulaznog odmerka u  $i$ -tom segmentu kvantizera. Odnos  $n_i/(n_1+\dots+n_7)$ , 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  $\bar{R}$ , najpribližnije odgovaraju eksperimentalni rezultati dobijeni na uzorku srednje glasnog govornika kada se u proračun svih rezultata uključe teorijski optimalne vrednosti amplitudskih kvantata  $\Delta$  u nultom i  $\Delta_1$  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 ICESS 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 comparison 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