

ANALIZA SEIZMIČKIH SIGNALA PRIMENOM JEDNE KLASSE HOMOMORFNOG FILTRIRANJA

Slavica K. Zarić, Vlastimir D. Pavlović

Elektronski fakultet u Nišu

Sadržaj - Nelinearne tehnike procesiranja signala se uspešno primenjuju u obradi govora, slike, seizmologiji, biomedicini i mnogim drugim oblastima. U radu su izložene osnovne karakteristike kepsturna kao posebne klase nelinearnog homomorfnog procesiranja signala s osvrtno na mogućnosti primene. Koncept realnog kepsturna je primenjen u analizi seizmičkih signala, a rezultati ispitivanja su pokazali da se na osnovu analize realnog kepsturna snimljenih seizmičkih signala može izdvojiti uticaj sredine na snimljeni signal, ustanoviti uzrok seizmičkih kolebanja i proceniti kašnjenje signala.

1. UVOD

Sistemi koji zadovoljavaju uopšteni princip superpozicije su poznati kao homomorfni sistemi. Obrada signala primenom kepstralne analize je primer homomorfnog filtriranja koje, kao neparameterska tehnika, nalazi veliku primenu u obradi široke klase signala. Kepstrum je prvi put definisan 1963. godine kao "spektar snage logaritmovanog spektra snage signala". Kasnije su se, u zavisnosti od načina izračunavanja, pojavili alternativni izrazi za kepsturm (realni kepsturm, kompleksni kepsturm, diferencijalni kepsturm) kojima je zajednička logaritamska konverzija spektra u frekvencijskom domenu [1, 2]. Kako se logaritmovanjem spektra u frekvencijskom domenu smanjuje dinamika spektra, inverznom Fourier-ovom transformacijom se energija kepsturna koncentriše u oblasti koeficijenata sa nižim rednim brojem. U kepsturalnom domenu se informacija o anvelopi spektra signala redukuje na svega nekoliko prvih koeficijenata, što se uspešno koristi u prepoznavanju uzoraka. Dobri rezultati su ostvareni u analizi govora i prepoznavanju i identifikaciji govornika primenom kepsturalne analize govornog signala [3]. Osobina kepsturna da detektuje periodičnosti u spektru signala se koristi u obradi slike [4], proceni kašnjenja, lokalizaciji refleksije (eba) i dijagnostici u medicini i mašinstvu [5]. Neke primene kepsturna se zasnivaju na mogućnosti kepsturna da izdvoji uticaj prenosnog puta na signal, što je uspešno primenjeno u ispitivanju nehomogenosti terena i određivanju karakteristika sredine kroz koju se signal prostire [6].

U ovom radu se ispituje mogućnost primene kepsturna u analizi seizmičkih signala. Pokazaće se da obrada signala zasnovana na primeni kepsturna daje dobre rezultate u proceni relativnog kašnjenja signala. Pokazaće se, takođe, da se primenom kepsturna kao nelinearne transformacije ostvaruje kompresija signala u domenu realnog kepsturna. Polazeći od ove karakteristike kepsturna razvijen je metod za identifikaciju nepoznatog uzročnika seizmičkih kolebanja.

2. OSNOVE KEPSTRALNE ANALIZE

Kompleksni kepsturm $x_c(n)$ se definiše za realan niz $x(n)$, čija je z-transformacija $X(z) = |X(z)| e^{j \arg X(z)}$, na sledeći način:

$$x_c(n) = F^{-1}\{X_c(z)\} \quad (1)$$

gde je:

$$X_c(z) = \log X(z) + j \arg X(z) \quad (2)$$

Ako se u proračunu $x_c(n)$ uzme u obzir samo realni deo izraza (2), dobija se realni kepsturm. Za razliku od kompleksnog, realni kepsturm nije inverzan, jer ne sadrži informaciju o fazi i na osnovu njega se ne može regenerirati polazni signal.

Detektovani seizmički signal u vremenskom domenu je predstavljen konvolucijom:

$$s(n) = h(n) * p(n) \quad (3)$$

gde je:

- $s(n)$ - niz odmeraka detektovanog signala
- $p(n)$ - niz odmeraka pobude
- $h(n)$ - impulсни odziv sredine kroz koju se prostire detektovani signal

U kompleksnom z-domenu seizmički signal je dat proizvodom:

$$S(z) = H(z)P(z) \quad (4)$$

Logaritmovanjem prethodnog izraza dobija se z-transformacija kompleksnog kepsturna sekvence $S(z)$:

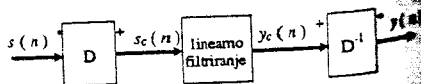
$$\log S(z) = \log H(z) + \log P(z) \quad (5)$$

$$S_c(z) = H_c(z) + P_c(z) \quad (6)$$

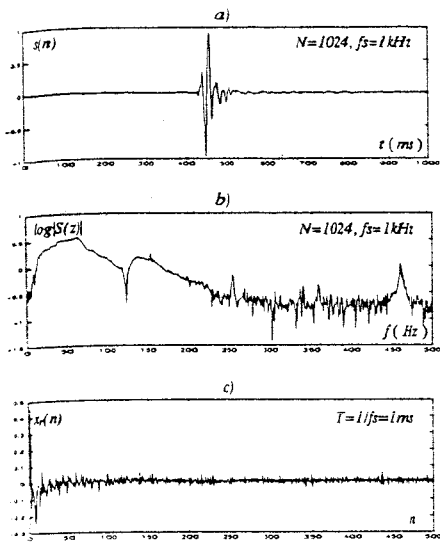
Što znači da se konvolucija signala u vremenskom domenu transformiše u zbir logaritama spektra u domenu kompleksnog kepsturna. Inverznom Fourier-ovom transformacijom se dobija kepsturm seizmičkog signala u vremenskom domenu, pri čemu važi:

$$s_c(n) = h_c(n) + p_c(n) \quad (7)$$

Komponente kepsturna $h_c(n)$ i $p_c(n)$ opisuju karakteristiku sredine kroz koju se prostire seizmički signal, konstantno su i ne zavise od uzročnika pobude. Ako $h_c(n)$ i $p_c(n)$ nemaju oblasti preklapanja, tada se iz detektovanog signala $s_c(n)$ primenom frekventno invarijantnog linearnog filtriranja može izdvojiti željeni niz. Opisani postupak je poznat pod nazivom "homomorfna dekonvolucija". Na slici 1. je prikazan primer homomorfnog sistema. Sa D je označen karakteristični sistem za konvoluciju sa konvolucijom kao ulaznom i sabiranjem kao izlaznom operacijom. Karakteristični sistem za dekonvoluciju je inverzan sistemu D i označen je sa D^{-1} .

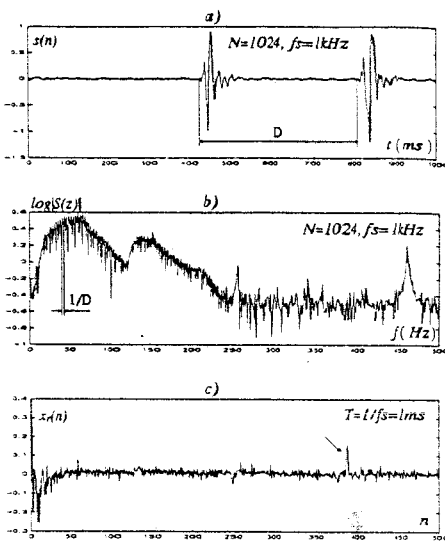


Slika 1. Blok-shema sistema za homomorfno filtriranje



Slika 2.

- a) Snimljeni seizmički signal
 b) Logaritam spektra seizmičkog signala
 c) Realni keprstrum seizmičkog signala



Slika 3.

- a) Zbir seizmičkih signala
 b) Logaritam spektra zbira seizmičkih signala
 c) Realni keprstrum zbira seizmičkih signala

1. ODREĐIVANJE KAŠNENJA

Postupak određivanja kašnjenja, opisan u ovom radu, se zasniva na osobini keprstruma da detektuje periodičnosti u spektru signala, tj. familije harmonika nastale usled periodičnog ponavljanja kratkih impulsa. Razmatran je složeni seizmički signal $x(n)$, $n = 1, \dots, N$:

$$x(n) = s(n) + \alpha s(n-D) \quad (8)$$

gde je $|\alpha| < 1$ i D je celobrojno kašnjenje. Z-transformacija seizmičkog signala je data izrazom:

$$X(z) = S(z)(1 + \alpha z^{-D}) \quad (9)$$

Logaritmovanjem u kompleksnom z-domenu, tj.

$$\log X(z) = \log S(z) + \log(1 + \alpha z^{-D}) \quad (10)$$

i određivanjem inverzne Fourier-ove transformacije dobija se kompleksni keprstrum seizmičkog signala:

$$x_c(n) = s_c(n) + d_c(n) \quad (11)$$

gde je $d_c(n)$ član koji sadrži informaciju o kašnjenju signala:

$$d_c(n) = \int_{-\infty}^{\infty} \log(1 + \alpha e^{-j\omega D}) e^{j\omega n} d\omega \quad (12)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \alpha^k \frac{e^{j\omega(n-kD)}}{k} d\omega$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} (-1)^{k+1} \alpha^k \frac{\delta(n-kD)}{k}, \quad n = 1, \dots, N/2$$

Izraz $d_c(n)$ predstavlja niz Dirac-ovih impulsa sa periodom ponavljanja D . Kako amplitude impulsa opadaju sa porastom k i n , impuls najveće amplitude se javlja na $n = D$, $k = 1$, a relativno kašnjenje signala se određuje na osnovu rastojanja između dva najistaknutija impulsa u domenu kompleksnog keprstruma.

Ako složeni signal, dat izrazom (8), predstavlja zbir signala na izlazu dva senzora, pri čemu kašnjenje postoji zbog različitog rastojanja izvora pobude od senzora, tada se u keprstralnom domenu može proceniti relativno kašnjenje signala.

Pojava višestrukih periodičnih impulsa u domenu kompleksnog keprstruma ukazuje na postojanje refleksije. Lokalizacijom periodičnih impulsa i linearnim filtriranjem u keprstralnom domenu se mogu eliminisati reflektovane komponente iz primljenog signala. Kako ovaj postupak zahteva i regenerisanje signala, analizu i obradu treba vršiti u domenu kompleksnog keprstruma koji je, za razliku od realnog, inverzan (slika 1.).

Na slici 2.a) je prikazan signal snimljen seizmičkim senzorom, dobijen delovanjem jedinične pobude na tlo. Slika 3.a) prikazuje zbir dva signala pomešana u vremenu za D . Zbog jednostavnijeg izračunavanja, pri određivanju kašnjenja je korišćen realni keprstrum. Upoređivanjem spektara i keprstruma posmatranih signala zaključuje se da je informacija o anvelopi spektra, koja je u oba slučaja nepromenjena, sadržana u koeficijentima keprstruma sa nižim rednim brojem. Relativno kašnjenje jednog signala u odnosu na drugi se procenjuje na osnovu impulsa najveće amplitude, čija lokalizacija u vremenu, tj. n , predstavlja meru kašnjenja D (slika 3. c).

4. IDENTIFIKACIJA UZROČNIKA SEIZMIČKIH VIBRACIJA

Seizmičke vibracije tla nastaju delovanjem različitih uzročnika na tlo. Kako signali snimljeni seizmičkim senzorom sadrže informaciju o uzročniku pobude, na osnovu detektovanih seizmičkih vibracija je moguće identifikovati nepoznatog uzročnika. U radu je predložen metod identifikacije zasnovan na nelinearnoj obradi seizmičkih signala koji omogućava izdvajanje karakteristika tipičnih za pojedine klase uzročnika.



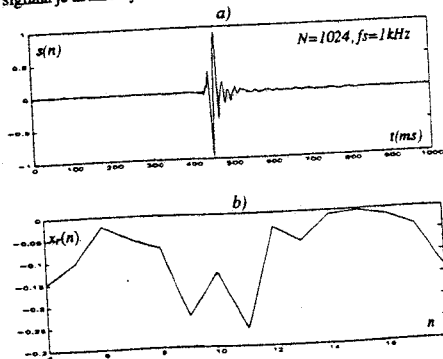
Slika 4. Blok-shema sistema za identifikaciju

Na slici 4. je prikazana blok-shema sistema za prepoznavanje uzročnika seizmičkih vibracija. Postupak prepoznavanja se sastoji iz dve osnovne faze:

- izbora karakteristika
- klasifikacije.

Izbor karakteristika je izvršen na osnovu analize realnog kepstruma signala. Smatra se da niske frekvencije u spektru seizmičkih signala nose veću količinu informacije o samom uzročniku pobude, nego visoke frekvencije. Primenom kepstruma u analizi seizmičkih signala se ističu upravo niske frekvencije. Istovremeno se redukuje količina informacije potrebna za identifikaciju nepoznatog uzročnika, jer je u postupku identifikacije dovoljno uzeti u obzir samo prvih nekoliko koeficijenata kepstruma, koji opisuju anvelopu spektra signala.

Na slikama 5. i 6. su prikazani seizmički signali dobijeni delovanjem dva različita uzročnika na tlo (klase uzročnika "A" i "B"). Analizom realnih kepstruma snimljenih signala je ustanovljeno da su devijacije koeficijenata kepstruma



Slika 5.
a) seizmički signal (uzročnik klase "A")
b) vektor karakteristika

za različite uzorke iste klase minimalne u opegu $x_c(n)$, $n=4-18$. Kako su u istom opsegu razlike između uzoraka koji pripadaju različitim klasama najveće, za vektor karakteristika je usvojen niz koeficijenata kepstruma:

$$x_{kar} = [x_c(4) \ x_c(5) \ \dots \ x_c(18)] \quad (13)$$

čime je ostvareno značajno redukovanje dimenzionalnosti seizmičkih signala.

U postupku klasifikacije treba proceniti pripadnost pojedinih uzoraka klasi "A" ili klasi "B". Referentni uzorci $x_{ref}^{(j)}$, kao predstavnici i -te klase, su određeni u postupku obučavanja sistema na sledeći način:

$$x_{ref}^{(j)} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_{kar}(j) \quad (14)$$

gde je M - broj uzoraka čija je pripadnost nekoj od klasa unapred poznata.

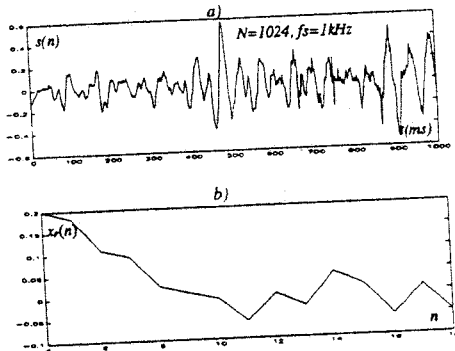
Za određivanje pripadnosti nepoznatog uzročnika pobude nekoj od klasa poznatih uzročnika razvijena su dva metoda: proračun minimalne distance i proračun koeficijenta sličnosti.

metod 1. proračun minimalne distance:

Prema metodu proračuna minimalne distance, sistem za identifikaciju se smatra zatvorenim, što znači da se nepoznati uzročnik uvek svrstava u jednu od postojećih klasa poznatih uzročnika. Kako minimalna distanca između posmatranog uzorka i referentnih uzoraka ukazuje na najverovatnijeg uzročnika pobude, klasifikacija je izvršena na osnovu proračuna distance prema izrazu [7]:

$$d^{(i)} = \left[\sum_{j=1}^{18} (x_{kar}(j) - x_{ref}^{(j)}(j))^2 \right]^{1/2} \quad (15)$$

Nakon registrovanja pobude, nepoznati uzročnik pobude se upoređuje sa referentnim uzorcima postojećih klasa i svrstava u onu klasu poznatih uzročnika za koju je distanca između posmatranog i referentnog uzorka minimalna.



Slika 6.
a) seizmički signal (uzročnik klase "B")
b) vektor karakteristika

U tabeli 1. su dati rezultati identifikacije dobijeni analizom 80 signala snimljenih seizmičkim senzorom uz korišćenje 14-bitnog A/D konvertora i frekvencije odmeravanja $f_s = 1\text{kHz}$. Analizirane su sekvence signala dužine 1s, a pri proračunu distance su korišćeni normalizovani koeficijenti realnog keprstruma.

Tabela 1.

metod 1	identifikacija ispravna	srednja distanca od $x_{ref}^{(A)}$	srednja distanca od $x_{ref}^{(B)}$
klasa "A"	100%	0.8919	2.7635
klasa "B"	94%	2.1710	1.3822

metod 2: proračun koeficijenta sličnosti

Prema metodu proračuna koeficijenta sličnosti, sistem za identifikaciju je otvoren i dozvoljava se mogućnost da se identifikacija ne može izvršiti sa dovoljnom sigurnošću. U tom slučaju se, nakon registrovanja seizmičkih vibracija, donosi odluka da je uzročnik pobude nepoznat.

Klasifikacija uzoraka je izvršena na osnovu proračuna koeficijenta sličnosti prema izrazu [8]:

$$B^{(k)} = 1 - \sum_{i=0}^{18} \frac{|x_{kar}^2(i) X_{ref} - x_{ref}^2(i) X_{kar}|}{2 X_{ref} X_{kar}} \quad (16)$$

gde je:

- $B^{(k)}$ - koeficijent sličnosti posmatranog uzorka sa k -tim referentnim signalom

$$- X_{ref} = \sum_{i=0}^{18} x_{ref}^2(i)$$

$$- X_{kar} = \sum_{i=0}^{18} x_{kar}^2(i)$$

Brojne vrednosti koeficijenta $B^{(k)}$ se nalaze u opsegu $0 < B^{(k)} \leq 1$ i bliže su jedinici ako su upoređeni vektori karakteristika sličniji. Najveći koeficijent sličnosti u nizu dobijenih vrednosti $B^{(k)}$ ukazuje na najverovatnijeg uzročnika pobude. Smatra se da je prepoznavanje uspešno ako je dobijena brojna vrednost $B^{(k)} \geq 0.6$. Ako je $B^{(k)} < 0.6$, smatra se da identifikacija nije pouzdana, a uzročnik nije identifikovan.

Tabela 2. prikazuje rezultate identifikacije uzročnika pobude na osnovu proračuna koeficijenta sličnosti.

Tabela 2.

metod 2	identifikacija ispravna	identifikacija nepouzdana	$B^{(A)}$ za $x_{ref}^{(A)}$	$B^{(B)}$ za $x_{ref}^{(B)}$
klasa "A"	95%	0%	0.7440	0.4829
klasa "B"	51%	49%	0.5511	0.3616

Dobijeni rezultati pokazuju da je identifikacija uzročnika klase "B" manje uspešna, što se objašnjava prirodom uzročnika i velikim varijacijama parametara signala koji se

razmatraju u postupku identifikacije. Za pouzdaniju identifikaciju je potrebno uvesti veći broj referentnih signala za istu klasu uzročnika pobude "B" i preispitati prag donošenja odluke o klasi uzročnika.

5. ZAKLJUČAK

U radu je ispitana mogućnost primene keprstralne analize seizmičkih signala u proceni kašnjenja signala i identifikaciji uzročnika seizmičkih vibracija. Pokazano je da se na osnovu osobine realnog keprstruma da detektuje periodičnosti u spektru može proceniti relativno kašnjenje seizmičkih signala. Primenom keprstralne analize kao nelinearne tehnike obrade ostvareno je redukovanje dimenzionalnosti seizmičkih signala i razvijen je metod za identifikaciju uzročnika seizmičkih vibracija.

LITERATURA

- [1] C.L.Nikias, A.P. Petropoul: *Higher-order Spectra Analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
- [2] C.L.Nikias, J.M. Mendel: *Signal Processing with Higher-Order Spectra*, IEEE Signal Processing Magazine, July 1993.
- [3] H. Gish, M. Schmidt: *Text-Independent Speaker Identification*, IEEE Signal Processing Magazine, October, 1994.
- [4] Y. Yeshurun, E.L. Schwartz: *Cepstral Filtering on a Columnar Image Architecture: A Fast Algorithm for Binocular Stereo Segmentation*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.11, No.7, July 1989.
- [5] R.B. Randall: *Frequency Analysis*, Brüel&Kjaer, September 1987.
- [6] A. Oppenheim, R.Schafer: *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.
- [7] M.M.Kantardžić, K.A.Delić: *Principi raspoznavanja uzoraka*, "Svjetlost", Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo, 1984.
- [8] G.Papadopoulos, K.Efstathiou, Yiki Li, A.Delis: *Implementation of an Intelligent Instrument for Passive Recognition and Two-Dimensional Location Estimation of Acoustic Targets*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.41, No.6, December 1992.

Autori se iskreno zahvaljuju profesoru Milojku Jevtoviću, saradniku VTI-Beograd, na sadržajnim diskusijama i sugestijama.

ABSTRACT: Cepstrum analysis is one example of homomorphic signal processing. In this paper, the basic properties of the real cepstrum are considered with respect to its applications in seismic signal analysis. The results of this research indicate that the cepstral analysis can be applied in time-delay estimation and pattern recognition.

SEISMIC SIGNAL ANALYSIS USING ONE CLASS OF HOMOMORPHIC FILTERING

Slavica K. Zarkula, Vlastimir D. Pavlović

optimalnu, linearnu predikciju prethodnog piksela u istoj liniji i piksela na istoj poziciji u prethodnoj liniji. Kvantizer u DPCM petlji je neuniformni i optimalan. Navedeni postupak kodovanja dovodi do vršnog odnosa signal/šum od PSNR = 25,86 dB sa bitskim iznosom od 3,25 bpp (2,52 sa EC). EC označava procenjenju podopsežnu entropiju, koristeći 8-bitni linearni kvantizer. Na Slici 2 je prikazana test-slika kodovana ovim postupkom. Glavna pretpostavka za EC je nezavisno entropijsko kodovanje piksela. U poređenju sa tim, DPCM slike u punom opsegu daje PSNR = 27,45 dB sa 4 bpp (EC 3,65 bpp).



Slika 2 - SBC-DPCM kodovana slika "Lena"

Drugi proces uvodi DCT koder u najniži podopseg (4 bita), DPCM kodovanje u podopsegu "12" (3 bita) i PCM u "21" i "22" sa 3 bita, respektivno. Separabilna dvodimenzionalna DCT sa blokovima od 4×4 piksela je uzeta, pri čemu su transformacioni koeficijenti kodovani sa uniformnim kvantizerom sa 4 bita. Dobijeno je PSNR = 24,85 dB i 3,25 bpp (EC 1,15 bpp). DCT kodovanje slike u punom opsegu daje PSNR = 27,52 dB sa bitskim iznosom od 4 bpp (EC 0,39 bpp). BR i BR_c predstavljaju bitske iznose bez i sa entropijskim kodovanjem. $CR = 8BR$ je stepen kompresije bez, a $CR = 8/BR_c$ je sa entropijskim kodovanjem. Stepem kompresije se definiše kao odnos rezolucije slike u punom opsegu i bitskog iznosa BR. $PSNR = 10 \log_{10}(255 \sigma_{e'}^2)$ je vršni odnos signal/šum, gde je $\sigma_{e'}$ varijansa greške pri rekonstrukciji. Rekonstruisana slika nakon ovog postupka vidi se na Slici 3. Vizuelno je ova slika bolja u odnosu na prethodnu.



Slika 3 - SBC-DCT kodovana slika "Lena"

5. ZAKLJUČAK

Nameravajući da razvijemo što efikasnije šeme za podopsežno kodovanje za kompresiju slika u ATM mrežama, kombinovali smo neke ideje podopsežnog kodovanja. Najpre je stavljen naglasak na izbor koderu kroz merenje entropije. Opravdanje za korišćenje ovih rezultata leži u raspodeli energije po podopsezima.

Kombinovana SBC-DCT tehnika daje dobar stepen kompresije. Sa druge strane, vršni odnos signal/šum PSNR je nešto manji kada se koristi SBC-DCT umesto SBC-DPCM, kao i DCT slike u punom opsegu.

LITERATURA

- [1] M.Ghanbari: "Two-layered coding of video signals for VBR networks". IEEE Journal on SAC, Vol.7, pp 771-781, June 1989.
- [2] M.Frame: "Broadband service needs", IEEE Commun.Magazine, Vol.28, pp 59-62, April 1990.
- [3] H.Gharavi, A.Tabatabai: "Subband coding of monochrome and color images", IEEE Trans.on CAS, Vol.35, pp 207-214, February 1988.
- [4] D.Milovanović, A.Samčović, Z.Bojković: "A comparative study on some subband transforms for still image compression", Journal on Communications, Vol.XLV, pp 23-24, May-June 1994.
- [5] G.Karlson, M.Vetterli: "Packet video and its integration into the network architecture", IEEE Journal on SAC, Vol.7, p 739-751, June 1989.
- [6] M.Ghanbari, D.Pearson: "Variable bit rate transmission of television signals", Electronics Letters, Vol.24, pp 392-393, March 1988.

Abstract - In order to encode as efficiently as possible an image for the compression in ATM networks, some subband coding ideas are combined. It is shown that the SBC-DCT combination gives the compression ratio of 2.46, while in the case of entropy coding this ratio equals 6.96. On the other hand, simulation results show that the PSNR is somewhat smaller (24.85 dB) compared to SBC-DPCM (25.86 dB), while DCT over full band image gives 27.52 dB.

SUBBAND CODING FOR IMAGE COMPRESSION IN ATM-BASED NETWORKS

Zoran Bojković, Andreja Sančović, Irini Reljin

Tabela 2: Uporedna analiza SBC-DPCM i SBC-DCT

koder	BR/BR _{ref}	CR/CR _{ref}	PSNR(dB)
DPCM	4/3,65	2/2,19	27,45
DCT	4/0,39	2/20,5	27,52
SBC-DPCM	3,25/2,52	2,46/3,17	25,86
SBC-DCT	3,25/1,15	2,46/6,96	24,85

optimalnu, linearnu predikciju prethodnog piksela u istoj liniji i piksela na istoj poziciji u prethodnoj liniji. Kvantizer u DPCM petiji je neuniformni i optimalan. Navedeni postupak kodovanja dovodi do vršnog odnosa signal/šum od PSNR = 25,86 dB sa bitiskim iznosom od 3,25 bpp (2,52 sa EC). EC označava procenjenu podopsežnu entropiju, koristeći 8-bitni linearni kvantizer. Na Slici 2 je prikazana test-slika kodovana ovim postupkom. Glavna pretpostavka za EC je nezavisno entropijsko kodovanje piksela. U poređenju sa tim, DPCM slike u punom opsegu daje PSNR = 27,45 dB sa 4 bpp (EC 3,65 bpp).



Slika 2 - SBC-DPCM kodovana slika "Lena"

Drugi proces uvodi DCT koder u najniži podopseg (4 bita), DPCM kodovanje u podopsegu "12" (3 bita) i PCM u "21" i "22" sa 3 bita, respektivno. Separabilna dvodimenzionalna DCT sa blokovima od 4×4 piksela je uzeta, pri čemu su transformacioni koeficijenti kodovani sa uniformnim kvantizerom sa 4 bita. Dobijeno je PSNR = 24,85 dB i 3,25 bpp (EC 1,15 bpp). DCT kodovanje slike u punom opsegu daje PSNR = 27,52 dB sa bitiskim iznosom od 4 bpp (EC 0,39 bpp). BR i BR_{ec} predstavljaju bitiske iznose bez i sa entropijskim kodovanjem. $CR = 8/BR_{ec}$ je stepen kompresije bez, a $CR = 8/BR$ je sa entropijskim kodovanjem. Stepem kompresije se definiše kao odnos rezolucije slike u punom opsegu i bitiskog iznosa BR. $PSNR = 10 \log(255 \sigma_e^2)$ je vršni odnos signal/šum, gde je σ_e^2 varijansa greške pri rekonstrukciji. Rekonstruisana slika nakon ovog postupka vidi se na Slici 3. Vizuelno je ova slika bolja u odnosu na prethodnu.



Slika 3 - SBC-DCT kodovana slika "Lena"

5. ZAKLJUČAK

Nameravajući da razvijemo što efikasnije šeme za podopsežno kodovanje za kompresiju slika u ATM mrežama, kombinovali smo neke ideje podopseznog kodovanja. Najpre je stavljen naglasak na izbor kodera kroz merenje entropije. Opravdanje za korišćenje ovih rezultata leži u raspodeli energije po podopsezima.

Kombinovana SBC-DCT tehnika daje dobar stepen kompresije. Sa druge strane, vršni odnos signal/šum PSNR je nešto manji kada se koristi SBC-DCT umesto SBC-DPCM, kao i DCT slike u punom opsegu.

LITERATURA

- [1] M.Ghanbari: "Two-layered coding of video signals for VBR networks". IEEE Journal on SAC, Vol.7, pp 771-781. June 1989.
- [2] M.Frame: "Broadband service needs", IEEE Commun.Magazine, Vol.28, pp 59-62, April 1990.
- [3] H.Gharavi, A.Tabatabai: "Subband coding of monochrome and color images", IEEE Trans.on CAS, Vol.35, pp 207-214, February 1988.
- [4] D.Milovanović, A.Samčović, Z.Bojković: "A comparative study on some subband transforms for still image compression", Journal on Communications, Vol.XLV, pp 23-24. May-June 1994.
- [5] G.Karlson, M.Vetterli: "Packet video and its integration into the network architecture", IEEE Journal on SAC, Vol.7, p 739-751, June 1989.
- [6] M.Ghanbari, D.Pearson: "Variable bit rate transmission of television signals", Electronics Letters, Vol.24, pp 392-393, March 1988.

Abstract - In order to encode as efficiently as possible an image for the compression in ATM networks, some subband coding ideas are combined. It is shown that the SBC-DCT combination gives the compression ratio of 2.46, while in the case of entropy coding this ratio equals 6.96. On the other hand, simulation results show that the PSNR is somewhat smaller (24.85 dB) compared to SBC-DPCM (25.86 dB), while DCT over full band image gives 27.52 dB.

SUBBAND CODING FOR IMAGE COMPRESSION IN ATM-BASED NETWORKS

Zoran Bojković, Andreja Samčović, Irini Reljin

Tabela 2: Uporedna analiza SBC-DPCM i SBC-DCT

koder	BR/BR ₀	CR/CR ₀	PSNR(dB)
DPCM	4/3.65	2.2.19	27.45
DCT	4/0.39	2.20.5	27.52
SBC-DPCM	3.25/2.52	2.46/3.17	25.86
SBC-DCT	3.25/1.15	2.46/6.96	24.85

4. IDENTIFIKACIJA UZROČNIKA SEIZMIČKIH VIBRACIJA

Seizmičke vibracije tla nastaju delovanjem različitih uzročnika na tlo. Kako signali snimljeni seizmičkim senzorom sadrže informaciju o uzročniku pobude, na osnovu detektovanih seizmičkih vibracija je moguće identifikovati nepoznatog uzročnika. U radu je predložen metod identifikacije zasnovan na nelinearnoj obradi seizmičkih signala koji omogućava izdvajanje karakteristika tipičnih za pojedine klase uzročnika.



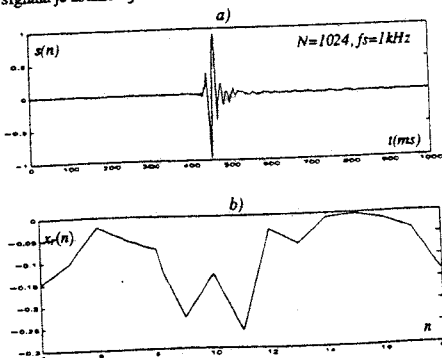
Slika 4. Blok-shema sistema za identifikaciju

Na slici 4. je prikazana blok-shema sistema za prepoznavanje uzročnika seizmičkih vibracija. Postupak prepoznavanja se sastoji iz dve osnovne faze:

- izbora karakteristika
- klasifikacije.

Izbor karakteristika je izvršen na osnovu analize realnog keprstruma signala. Smatra se da niske frekvencije u spektru seizmičkih signala nose veću količinu informacije o samom uzročniku pobude, nego visoke frekvencije. Primenom keprstruma u analizi seizmičkih signala se ističu upravo niske frekvencije. Istovremeno se redukuje količina informacije potrebna za identifikaciju nepoznatog uzročnika, jer je u postupku identifikacije dovoljno uzeti u obzir samo prvih nekoliko koeficijenata keprstruma, koji opisuju anvelopu spektra signala.

Na slikama 5. i 6. su prikazani seizmički signali dobijeni delovanjem dva različita uzročnika na tlo (klase uzročnika "A" i "B"). Analizom realnih keprstruma snimljenih signala je ustanovljeno da su devijacije koeficijenata keprstruma



Slika 5.
a) seizmički signal (uzročnik klase "A")
b) vektor karakteristika

za različite uzorke iste klase minimalne u opsegu $x_c(n)$, $n=4-18$. Kako su u istom opsegu razlike između uzoraka koji pripadaju različitim klasama najveće, za vektor karakteristika je usvojen niz koeficijenata keprstruma:

$$x_{kor} = [x_c(4) \ x_c(5) \ \dots \ x_c(18)] \quad (13)$$

čime je ostvareno značajno redukovanje dimenzionalnosti seizmičkih signala.

U postupku klasifikacije treba proceniti pripadnost pojedinih uzoraka klasi "A" ili klasi "B". Referentni uzorci $x_{ref}^{(i)}$, kao predstavnici i -te klase, su određeni u postupku obučavanja sistema na sledeći način:

$$x_{ref}^{(i)} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_{kor}^{(j)} \quad (14)$$

gde je M - broj uzoraka čija je pripadnost nekoj od klasa unapred poznata.

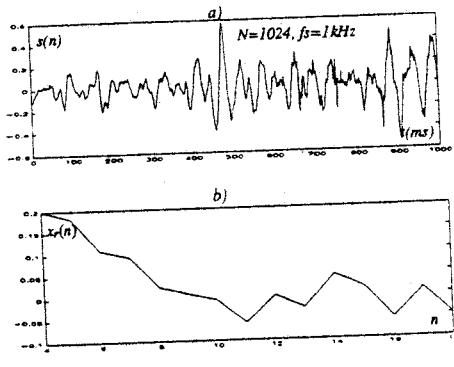
Za određivanje pripadnosti nepoznatog uzročnika pobude nekoj od klasa poznatih uzročnika razvijena su dva metoda: proračun minimalne distance i proračun koeficijenata sličosti.

metod 1. proračun minimalne distance:

Prema metodu proračuna minimalne distance, sistem za identifikaciju se smatra zatvorenim, što znači da se nepoznati uzročnik uvek svrstava u jednu od postojećih klasa poznatih uzročnika. Kako minimalna distance između posmatranog uzorka i referentnih uzoraka ukazuje na najverovatnijeg uzročnika pobude, klasifikacija je izvršena na osnovu proračuna distance prema izrazu [7]:

$$d^{(i)} = \left[\sum_{j=4}^{18} (x_{kor}^{(j)} - x_{ref}^{(i)}(j))^2 \right]^{1/2} \quad (15)$$

Nakon registrovanja pobude, nepoznati uzročnik pobude se upoređuje sa referentnim uzorcima postojećih klasa i svrstava u onu klasu poznatih uzročnika za koju je distance između posmatranog i referentnog uzorka minimalna.



Slika 6.
a) seizmički signal (uzročnik klase "B")
b) vektor karakteristika

U tabeli 1. su dati rezultati identifikacije dobijeni analizom 80 signala snimljenih seizmičkim senzorom uz korišćenje 14-bitnog A/D konvertora i frekvencije odmeravanja $f_s = 1\text{kHz}$. Analizirane su sekvence signala dužine 1s, a pri proračunu distance su korišćeni normalizovani koeficijenti realnog kepstuma.

Tabela 1.

metod 1	identifikacija ispravna	srednja distanca od $x_{ref}^{(A)}$	srednja distanca od $x_{ref}^{(B)}$
klasa "A"	100%	0.8919	2.7635
klasa "B"	94%	2.1710	1.3822

metod 2: proračun koeficijenta sličnosti

Prema metodu proračuna koeficijenta sličnosti, sistem za identifikaciju je otvoren i dozvoljava se mogućnost da se identifikacija ne može izvršiti sa dovoljnom sigurnošću. U tom slučaju se, nakon registrovanja seizmičkih vibracija, donosi odluka da je uzročnik pobude nepoznat.

Klasifikacija uzoraka je izvršena na osnovu proračuna koeficijenta sličnosti prema izrazu [8]:

$$B^{(k)} = 1 - \sum_{i=4}^{18} \frac{|x_{kar}^2(i) X_{ref} - x_{ref}^2(i) X_{kar}|}{2 X_{ref} X_{kar}} \quad (16)$$

gde je:

- $B^{(k)}$ - koeficijent sličnosti posmatranog uzorka sa k -tim referentnim signalom

$$X_{ref} = \sum_{i=4}^{18} x_{ref}^2(i)$$

$$X_{kar} = \sum_{i=4}^{18} x_{kar}^2(i)$$

Brojne vrednosti koeficijenta $B^{(k)}$ se nalaze u opsegu $0 < B^{(k)} \leq 1$ i bliže su jedinici ako su upoređeni vektori karakteristika sličniji. Najveći koeficijent sličnosti u nizu dobijenih vrednosti $B^{(k)}$ ukazuje na najverovatnijeg uzročnika pobude. Smatra se da je prepoznavanje uspešno ako je dobijena brojna vrednost $B^{(k)} \geq 0.6$. Ako je $B^{(k)} < 0.6$, smatra se da identifikacija nije pouzdana, a uzročnik nije identifikovan.

Tabela 2. prikazuje rezultate identifikacije uzročnika pobude na osnovu proračuna koeficijenta sličnosti.

Tabela 2.

metod 2	identifikacija ispravna	identifikacija nepouzdana	$B^{(A)}$ za $x_{ref}^{(A)}$	$B^{(B)}$ za $x_{ref}^{(B)}$
klasa "A"	95%	0%	0.7440	0.4829
klasa "B"	51%	49%	0.5511	0.3616

Dobijeni rezultati pokazuju da je identifikacija uzročnika klase "B" manje uspešna, što se objašnjava prirodom uzročnika i velikim varijacijama parametara signala koji se

razmatraju u postupku identifikacije. Za pouzdaniju identifikaciju je potrebno uvesti veći broj referentnih signala za istu klasu uzročnika pobude "B" i preispitati prag donošenja odluke o klasi uzročnika.

5. ZAKLJUČAK

U radu je ispitana mogućnost primene kepstalne analize seizmičkih signala u proceni kašnjenja signala i identifikaciji uzročnika seizmičkih vibracija. Pokazano je da se na osnovu osobine realnog kepstuma da detektuje periodičnosti u spektru može proceniti relativno kašnjenje seizmičkih signala. Primenom kepstalne analize kao nelinearne tehnike obrade ostvareno je redukovanje dimenzionalnosti seizmičkih signala i razvijen je metod za identifikaciju uzročnika seizmičkih vibracija.

LITERATURA

- [1] C.L.Nikias, A.P. Petropoulou: *Higher-order Spectra Analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1993.
- [2] C.L.Nikias, J.M. Mendel: *Signal Processing with Higher-Order Spectra*, IEEE Signal Processing Magazine, July 1993.
- [3] H. Gish, M. Schmidt: *Text-Independent Speaker Identification*, IEEE Signal Processing Magazine, October, 1994.
- [4] Y. Yeshurun, E.L. Schwartz: *Cepstral Filtering on a Columnar Image Architecture: A Fast Algorithm for Binocular Stereo Segmentation*, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.11, No.7, July 1989.
- [5] R.B. Randall: *Frequency Analysis*, Brüel&Kjaer, September 1987.
- [6] A. Oppenheim, R.Schafer: *Digital Signal Processing*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1975.
- [7] M.M.Kantardžić, K.A.Delić: *Principi raspoznavanja uzoraka*, "Svetlost", Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo, 1984.
- [8] G.Papadopoulos, K.Efstathiou, Yiki Li, A.Delis: *Implementation of an Intelligent Instrument for Passive Recognition and Two-Dimensional Location Estimation of Acoustic Targets*, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.41, No.6, December 1992.

Autori se iskreno zahvaljuju profesoru Milojku Jevtoviću, saradniku VTI-Beograd, na sadržajnim diskusijama i sugestijama.

ABSTRACT: Cepstrum analysis is one example of homomorphic signal processing. In this paper, the basic properties of the real cepstrum are considered with respect to its applications in seismic signal analysis. The results of this research indicate that the cepstral analysis can be applied in time-delay estimation and pattern recognition.

SEISMIC SIGNAL ANALYSIS USING ONE CLASS OF HOMOMORPHIC FILTERING

Slavica K. Zarkula, Vlastimir D. Pavlović

Strategija za alokaciju bita po podopsezima zasnovana je na sledećim činjenicama:

1) Ljudsko oko nije jednako osetljivo na sve prostorne frekvencije,

2) Energija podopsega opada sa porastom frekvencije.

Alokacija bita prikazana je na slici 5, gde L označava broj kodnih reči. Sa slike 5. se vidi da je izvršena alokacija bita u pravilnom rasporedu.

Nešto bolji rezultati dobili bi se kada bi se alokacija bita vršila adaptivno prema energijama podopsega, pri čemu bi tada trebalo kodovati i prenositi i informaciju o alokaciji bita. Kako su ukupni dobici ipak relativno mali, mi smo se odlučili za generalniji slučaj kada je alokacija bita izvršena u pravilnom rasporedu, kao što je to na slici 5. i prikazano.

U cilju iskorišćavanja orijentacije pojedinih podopsega slike primenjen je novi metod vektorske kvantizacije, nazvan adaptivno orijentisana vektorska kvantizacija (AOVQ). Ovo je varijacija jednostavnog LBG algoritma [8], pri čemu je specifičnost nove metode u tome što blokovi nad kojima se primenjuje vektorska kvantizacija imaju više orijentisanih oblika: za blok dužine 4 to su: 2×2 , 1×4 i 4×1 , a za blok dužine 16: 4×4 , 2×8 , 8×2 , 1×16 i 16×1 . Na ovaj način vektorski kvantizer može efikasnije da iskoristi korelaciju među pikselima koja je veća u pravcu orijentacije podopsega nego u drugim pravcima. Odluku koji od oblika će biti upotrebljen za dati podopseg koder donosi adaptivno, čime su uzete u obzir i ivice i konture same slike. Sadržaj slike može da ima i veći uticaj na optimalnu orijentaciju vektora od orijentacije samog podopsega koja je nastala kao posledica načina filtriranja. Kriterijum odlučivanja zasnovan je na primeni metode Lagranžovog multiplikatora, tako da se vrši preraspodela između ograničavanja entropije i distorzije koda.

Tablice kodova načinjene su na sledeći način: podopsezi kodovani istim brojem bita po pikselu dele istu kodnu tablicu, pri čemu je ta kodna tablica organizovana od podtablica određene orijentacije. U postupku kodovanja vrši se potpuna pretraga za svaku od podtablica, na osnovu kriterijuma srednje kvadratne greške (MSE).

Kodovanje se vrši nezavisno na podopsezima čije su dimenzije 32×32 , za svaku od podtablica. Po izvršenom kodovanju za svaku od orijentacija podtablica odredi se cost funkcija u zavisnosti od Lagranžovog multiplikatora:

$$\text{cost} = D + Lm \cdot E \quad (1)$$

gde je D distorzija, Lm Lagranžov multiplikator, a E entropija. Velike vrednosti Lm ograničavaju entropiju koda, a male ograničavaju distorziju. U zavisnosti od željenog bitskog protoka usvoji se određena vrednost Lm . Adaptivno, prema sadržaju slike, kodovanje podopsega se vrši onom podtablicom čija primena daje najmanju vrednost cost -a.

Kodne tablice optimizovane su na osnovu skupa više različitih slika, pri čemu se kodovana slika ne nalazi u

ovom skupu. Zbog toga kodne tablice ne doprinose povećanju entropije kodovane slike. Kodna tablica inicijalizovana je delom jedne od slika koje služe za optimizaciju kodne tablice.

4. REZULTATI SIMULACIJA

U simulacijama je korišćena ELT sa faktorom preklapanja 8 ($K = 4$). Vrednosti parametara θ_1 preuzete su iz table V u [5]. U Tabeli 1 dati su rezultati simulacija za nekoliko vrednosti parametra Lm . Radi poređenja dati su i rezultati iz [9] za još dve metode generisanja kodne tablice, kao i rezultati za primenu AOVQ kod razlaganja diskretnom wavelet transformacijom (DWT) [10].

Tabela 1. Rezultati simulacija: R je bitski protok, $PSNR$ je vršna vrednost odnosa signal-šum, a TM je ukupna veličina kodne table.

	Lm	R [b/p]	$PSNR$ [dB]	TM [kb]
ELT AOVQ	1	0.3183	30.674	88
ELT AOVQ	100	0.2865	30.604	88
ELT AOVQ	10000	0.2876	30.467	88
ELT I [9]		0.296	30.446	326
ELT II [9]		0.294	30.34	24
DWT AOVQ [10]	1	0.3121	29.961	73
DWT AOVQ [10]	10	0.298	29.932	73
DWT AOVQ [10]	100	0.2741	29.55	73
DWT I [9]		0.308	28.904	23
DWT II [9]		0.295	28.345	9



Slika 6. Lena 512×512 : $Lm = 100$
 $R = 0.296$ bpp, $PSNR = 30.604$ dB.

Rekonstruisana slika Lena 512×512 za vrednost $Lm = 100$ prikazana je na slici 6. Osim relativno malih numeričkih poboljšanja u odnosu na metode iz [9], ovde postoje i određene subjektivne prednosti. Iz table 1 vidimo da primena AOVQ kod razlaganja pomoću ELT daje bolje rezultate nego metode I i II iz [9], pri čemu je kodna tabela po veličini negde izmedju veličina za metode I i II iz [9]. Nasuprot tome, primena AOVQ kod razla-

ganja pomoću diskretne wavelet transformacije [10] ima kodnu tabelu dosta veću nego kod metoda I i II iz [9], pri čemu je kod primene DWT i AOVQ i relativno poboljšanje u odnosu na metode I i II veće. Ipak, za relativno mala poboljšanja u odnosu na metod II iz [9] plaćena je dosta velika cena. Međutim, treba podsetiti da je pri malim bitiskim protocima nemoguće ostvariti značajnija poboljšanja. Na primer, u radu [11] je primenjena drugačija strategija iskorišćavanja orijentacija delove slike, pri čemu autori sami priznaju da je aritmetička kompleksnost metode oko 200 puta veća nego kod uobičajenih postupaka kodovanja razlaganjem na podopsege.

5. ZAKLJUČAK

U ovom radu je realizovano razlaganje slike na 256 podopsega, korišćenjem proširene preklapljene transformacije. Zahvaljujući velikom faktoru preklapanja, ostvareno je malo preslušavanje među kanalima, što doprinosi kvalitetu kodovanja. U cilju kodovanja podopsezi su kvantovani na sledeći način: najniži podopsezi kvantovani su skalarno, a ostali podopsezi su vektorski kvantovani. Načinjene su zajedničke tablice za podopsege kodovane istim brojem bita. Primenjen je novi metod vektorske kvantizacije, nazvan orijentisana adaptivna vektorska kvantizacija. Poboljšan je kvalitet kodovanja zahvaljujući činjenici da blokovi rad kojima se primenjuje vektorska kvantizacija imaju više orijentisanih oblika. Odluku koji od oblika će biti upotrebljen za dati podopseg koder donosi adaptivno. Kriterijum odlučivanja zasnovan je na primeni metode Lagranžovog multiplikatora, tako da se vrši preraspodela između ograničavanja entropije i distorzije koda. Sve tablice optimizovane su na osnovu skupa više različitih slika, pri čemu se kodovana slika ne nalazi u ovom skupu.

Ostvaren je vrlo vrlo dobar subjektivni kvalitet slike 512×512 pri entropiji prvog reda od oko 0.3 bita po pikselu, a uz PSNR od skoro 31 dB.

LITERATURA

- [1] J. Princen, A.W. Johnston, and A. Bradley A., "Subband/transform coding using filter bank designs based on time domain aliasing cancellation," in *Proc. ICASSP*, 1987, pp. 2161-2164.
- [2] H.S. Malvar, "Lapped transforms for efficient transform/subband coding," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol. 38, pp. 969-978, June 1990.
- [3] P. Duhamel, Y. Mahieux, and J.P. Petit, "A fast algorithm for the implementation of filter banks based on "Time domain aliasing cancellation",", in *Proc. ICASSP*, 1991, pp. 2209-2212.
- [4] D. Šević and M. Popović, "A new efficient implementation of the oddly stacked Princen-Bradley filter bank," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 1, pp. 166-168, Nov. 1994.
- [5] H.S. Malvar, "Extended lapped transforms: Properties, applications, and fast algorithms," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, pp. 2703-2714, Nov. 1992.
- [6] D. Šević and M. Popović, "A new FFT based implementation of the extended lapped transform," submitted to *IEEE Signal Processing Letters*.
- [7] R.M. Gray, "Vector quantization," *IEEE ASSP Magazine*, vol. 1, pp. 4-29, April 1984.
- [8] Y. Linde, A. Buzo, and R.M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. Communications*, vol. 28, pp. 84-95, Jan. 1980.
- [9] D. Šević, "Poboljšanja razlaganja slike na podopsege i kodovanja podopsega slike," doktorska disertacija. Elektrotehnički fakultet, Beograd, 1995.
- [10] M. Popović i D. Šević, "Adaptivno orijentisano kodovanje slike wavelet transformacijom," na recenziji za konferenciju *TELSIKS'95*
- [11] D. Taubman and A. Zakhor, "Orientation adaptive subband coding of images," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 3, pp. 421-437, July 1994.

Abstract - In this paper, the decomposition of the image into 256 subbands using two-dimensional extended lapped transform (ELT) is realized. Overlapping factor of ELT is $K = 4$, so the length of input blocks is eight times the number of channels. The image is decomposed rowwise into 16 subbands first, and columnwise afterwards, giving 256 subbands. The coding of subbands is realized as follows: the lower subbands are scalar quantized, and the higher subbands are vector quantized using blocks with following shapes: 2×2 , 1×4 and 4×1 (for vector length of 4 blocks), or 4×4 , 2×8 , 8×2 , 1×16 and 16×1 (for vector length of 16 blocks). Shapes are selected depending on Lagrange functional. By varying Lagrange multiplier it is possible to constrain coder with respect to entropy or distortion. The lengths of code tables are 16 for higher subbands, and up to 1024 for lower subbands. These code tables are optimized using training set of many different images. The test image is not contained in the training set, hence, the code tables do not increase the entropy of the coded test image. The experimental results show that the subjective quality of coded 512×512 image is very good, at the first order entropy of about 0.3 bpp and PSNR nearly 31 dB.

ORIENTATION ADAPTIVE IMAGE CODING USING EXTENDED LAPPED TRANSFORM

Dragutin Šević and Miodrag Popović