

Modifikacija mere održanja ivica

Boban P. Bondžulić, Vladimir S. Petrović

Sadržaj — U radu je predložena modifikacija mere održanja ivica sa ciljem da se primeni kao objektivna mera procene kvaliteta. Predložena modifikacija je matematički definisana mera i ima u sebi ugrađen model ljudskog vizuelnog sistema. Na različitim distorzijama slika pokazano je da predložena modifikacija ima znatno bolje performanse od srednje kvadratne greške a dobijeni rezultati su u skladu sa rezultatima univerzalnog indeksa kvaliteta slike.

Ključne reči — ljudski vizuelni sistem, objektivne mere procene kvaliteta, održanje ivica, srednja kvadratna greška.

I. UVOD

OBJEKTIVNE mere procene kvaliteta imaju važnu ulogu u mnogim primenama obrade slike. U praksi se koriste dve vrste mera kvaliteta slike. U prvu spadaju matematički definisane mere kao što su srednja kvadratna greška (MSE), odnos signal-šum (SNR), vršni odnos signal-šum (PSNR) i srednja apsolutna greška (MAE). Iako su ove mere jednostavne za izračunavanje, one ne daju uvek pravu meru kvaliteta slike. U drugu klasu spadaju mere koje uzimaju u obzir i vizuelni sistem čoveka (HVS). Pored objektivnih mera procene razvijen je čitav niz postupaka i mera za subjektivnu ocenu kvaliteta slike [1], [2].

Matematički definisane mere su jednostavne za izračunavanje i nisu računarski zahtevne. One su nezavisne od uslova u kojima se procena sprovodi i ne zavise od posmatrača. Uslovi u kojima se procena sprovodi imaju važnu ulogu u subjektivnoj proceni kvaliteta slike. Mere koje ne zavise od uslova u kojima se procena sprovodi daju jednu vrednost koja generalno govori o kvalitetu slike.

Mera održanja ivica je matematički definisana mera koja uzima u obzir i vizuelni sistem čoveka [3]. Zasnovana je na poređenju parametara ivica dve slike, pri čemu se poređenje vrši za svaki piksel ponaosob. Ivica prve izvorne slike je sasvim preslikana u drugu sliku ako su amplitude i orijentacije ostale nepromenjene. Promena jednog ili oba parametra je indikator gubitka informacija.

Mera održanja ivica se koristi kao sastavni deo mere za objektivnu procenu kvaliteta sjedinjavanja slika [3], [4]. Uz dve modifikacije mera je prilagođena za primene u proceni kvaliteta slike.

II. MERA ODRŽANJA IVICA

Objektivna mera procene kvaliteta predložena u [3] transfer informacija od jedne ka drugoj slici povezuje sa

B. P. Bondžulić, Vojna akademija u Beogradu, Srbija (telefon: 381-64-143-82-79; e-mail: bondzulici@yahoo.com).

V. S. Petrović, Imaging Science and Biomedical Engineering, University of Manchester, Oxford Rd, Manchester, M13 9PT, UK; (e-mail: v.petrovic@manchester.ac.uk).

ivicama, odnosno gradijentom slike. Kako je vizuelni sistem čoveka osetljiv na promene osvetljenosti (ivice) performanse kvaliteta se određuju na osnovu vernosti reprezentacije ivica izvorne slike u ivicama modifikovane slike.

Parametri ivica se određuju za svaki piksel ponaosob. Izdvajanje parametara ivica se radi pomoću Sobel operatora, pri čemu se dobijaju x i y komponente ivica (S^x i S^y) izvornih slika A i B . Parametri ivica – amplitude (moduo gradijenta) g i orijentacije α se dobijaju od komponenti S^x i S^y kao:

$$g_I = \sqrt{S_I^{x^2} + S_I^{y^2}}, \alpha_I = \arctan\left(S_I^y S_I^{x^{-1}}\right), I \in \{A, B\}. \quad (1)$$

Ukoliko postoji gubitak kontrasta od izvorne slike A do modifikovane slike B , promena amplitude, Δ_g^{AB} , se definiše kao odnos amplituda dve slike:

$$\Delta_g^{AB}(m, n) = \begin{cases} \frac{g_B(m, n)}{g_A(m, n)}, & g_A(m, n) > g_B(m, n) \\ \frac{g_A(m, n)}{g_B(m, n)}, & g_B(m, n) \geq g_A(m, n) \end{cases} \quad (2)$$

Iz izraza (2) vidi se da Δ_g^{AB} ima vrednost jedan ako je $g_B = g_A$ i da linearno pada ka nuli ukoliko razlika amplituda slika raste.

Promena orijentacije ivica slike B u odnosu na sliku A , Δ_α^{AB} , se definiše kao normalizovana razlika orijentacija α_A i α_B :

$$\Delta_\alpha^{AB} = \frac{\left| \alpha_A(m, n) - \alpha_B(m, n) - \pi/2 \right|}{\pi/2} \quad (3)$$

Iz izraza (3) vidi se da Δ_α^{AB} ima vrednost jedan ako je $\alpha_B = \alpha_A$ i da linearno pada kada razlika orijentacija izvorne i modifikovane slike raste.

Vrednosti Δ_g^{AB} i Δ_α^{AB} opisuju linearne promene parametara ivica. Da bi se modelovao gubitak informacija u obzir je uzeta i nelinearna priroda HVS. Gubitak amplituda i orijentacija ivica modulisan je sa nelinearnim sigmoidnim funkcijama, tako da se dobijaju mere održanja amplituda i orijentacija, Q_g^{AB} i Q_α^{AB} .

$$Q_i^{AB}(m, n) = \frac{\Gamma_i}{1 + \exp\{k_i [\Delta_i^{AB}(m, n) - \sigma_i]\}}, i \in \{g, \alpha\}. \quad (4)$$

U radu su usvojene vrednosti parametara $[k_g, \sigma_g, k_\alpha, \sigma_\alpha] = [-11, 0.7, -24, 0.8]$. Konstante Γ_i se dobijaju tako da je $Q_i^{AB} = 1$ kada je $\Delta_i^{AB} = 1$.

Mere održanja amplituda i orijentacija Q_g^{AB} i Q_α^{AB} se kombinuju u meru održanja ivica, Q^{AB} , koja predstavlja meru vernosti kojom slika B predstavlja sliku A :

$$Q^{AB}(m,n) = [Q_g^{AB}(m,n)]^\beta \cdot [Q_\alpha^{AB}(m,n)]^\gamma \quad (5)$$

U [3] je usvojeno da je $\beta=\gamma=1/2$ dok je u [4] $\beta=\gamma=1$.

Polazeći od gornjeg levog dela slike, pokretni prozor w dimenzija 3×3 piksela (dimenzije Sobel operatora) se pomera horizontalno i vertikalno, sve do donjeg desnog dela slike. Mera održanja ivica se određuje u svakom prozoru a krajnji indeks kvaliteta se dobija kao:

$$Q^{AB} = \frac{1}{MN} \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Q^{AB}(m,n) \quad (6)$$

gde su dimenzije izvornih slika $M \times N$ piksela.

Vrednosti Q^{AB} se nalaze u opsegu $[0, 1]$, gde $Q^{AB}=0$ ukazuje na kompletan gubitak informacija izvorne slike, dok $Q^{AB}=1$ ukazuje na potpuni transfer informacija.

III. MODIFIKACIJA MERE ODRŽANJA IVICA

Za izdvajanje parametara ivica najčešće se koriste Prewitt i Sobelov operator. Sobelov operator za izdvajanje parametara ivica se od Prewitt operatora razlikuje po tome što su vrednosti pojedinih piksela udvostručene. Motivacija za izbor vrednosti operatora je da se svim pikselima obezbedi isti uticaj u formiranju gradijenta [5], [6]. Prethodna dva operatora ne obezbeđuju istu vrednost gradijenta za horizontalne, vertikalne i dijagonalne ivice. Kod Prewitt operatora gradijent dijagonalnih ivica jednak je gradijentu ivice u smeru koordinatne ose pomnoženim sa faktorom 0.94, dok je kod Sobelovog operatora taj faktor jednak 1.06. Zbog toga je Prewitt operator osetljiviji na horizontalne i vertikalne ivice nego na dijagonalne, dok kod Sobelovog operatora važi obratno [1], [6].

Bolje potiskivanje šuma pri izdvajanju ivica se može ostvariti ako se proširi lokalno susedstvo na kome se izračunava vrednost gradijenta. Takvi operatori se generalno nazivaju bokskar operatori.

Korišćenjem kriterijuma FOM (figure of merit) u [6] je pokazano da je lokalizacija ivica uz prisustvo šuma bolja ukoliko se za izdvajanje ivica koriste bokskar operatori (Abdou, Argyle) nego kada se koriste operatori manjih dimenzija (Roberts, Prewitt, Sobel). Zbog toga je za određivanje parametara ivica umesto Sobelovog operatora korišćen Abdouov operator.

Abdou je izveo 7×7 piramidalni operator, kod koga težinski koeficijenti opadaju prilikom udaljavanja od centralnog piksela [6].

Mera održanja ivica je deo mere za objektivnu procenu kvaliteta sjedinjavanja. Jedan od problema u sjedinjavanju multisenzorskih slika je inverzan polaritet pa mera održanja ivica u sebi ne sadrži član koji govori o promeni srednjeg nivoa sivog bloka susednih piksela. Zbog toga je u meru održanja ivica dodan i treći član koji govori o promeni srednjeg nivoa sivog u blokovima 7×7 piksela slika A i B :

$$Q_{GL}(m,n) = \frac{2 \overline{A(m,n)} \overline{B(m,n)}}{\overline{A(m,n)}^2 + \overline{B(m,n)}^2} \quad (7)$$

Modifikovana mera za poređenje dve slike je data sa:

$$Q_{\text{mod}}^{AB}(m,n) = [Q_{GL}(m,n)]^\alpha [Q_g(m,n)]^\beta [Q_\alpha(m,n)]^\gamma, \quad (8)$$

gde je $\alpha=1$ i $\beta=\gamma=1/2$.

IV. REZULTATI

Za testiranje modifikovane mere održanja ivica korišćene su slike sa različitim tipovima distorzije i rezultati su upoređeni sa MSE, subjektivnim procenama i univerzalnim indeksom kvaliteta slike (UIQI). Test slikama je dodavan šum, rađeni su modifikacija kontrasta, promena srednjeg nivoa sivog, bluring i kompresija.

UIQI modeluje distorziju dve slike kao kombinaciju tri različita faktora: distorziju korelacije, distorziju osvetljenosti i distorziju kontrasta. Za određivanje vrednosti UIQI, Q , korišćena je podela izvornih slika na blokove 8×8 piksela.

Na Sl. 1 su prikazane slika Lena i njene modifikacije. Modifikacije izvorne slike imaju istu MSE u odnosu na originalnu sliku, osim kod slike sa JPEG kompresijom kod koje je MSE nešto manja.

U tabeli 1 su date vrednosti procena primera sa Sl. 1. Subjektivne procene i vrednosti UIQI preuzete su iz [2], [7]. Iz eksperimenta se vidi da su performanse MSE veoma loše jer se za skoro jednake vrednosti MSE modifikovane slike značajno razlikuju. Takođe, redosled dobijen primenom modifikovane mere održanja ivica je isti kao i redosled dobijen subjektivnom procenom.

Na Sl. 2 su prikazane tri izvorne slike (levi red) i njihove modifikacije (desni red). Modifikovane slike dobijene su primenom JPEG kompresije. U sva tri slučaja MSE je skoro ista.

Iako su vrednosti MSE skoro iste, sa Sl. 2 vidi se da su razlike između izvorne slike i modifikovane slike najmanje uočljive u prvom primeru (Mandrill). Razlike su uočljivije u drugom primeru (Lake) dok se u trećem primeru (Tiffany) uočavaju značajne razlike između slika.

U tabeli 2 su date vrednosti objektivnih mera procene za tri primera sa Sl. 2. Modifikovana mera održanja ivica daje rezultate koji su u skladu sa subjektivnim procenama.

Na Sl. 3 su prikazane tri izvorne slike (levi red) i njihove modifikacije (desni red). Modifikovane slike predstavljaju razmrljane (blurred) verzije izvornih slika. U sva tri slučaja srednja kvadratna greška (MSE) je ista.

Iako su vrednosti MSE iste, sa Sl. 3 vidi se da su razlike između izvorne slike i modifikovane slike najmanje uočljive u prvom primeru (Barbara). Razlike su uočljivije u drugom primeru (Man) dok se u trećem primeru (Woman) uočavaju značajne razlike između slika.

U tabeli 3 su date vrednosti objektivnih mera procene za tri primera sa Sl. 3. Modifikovana mera održanja ivica daje rezultate koji su u skladu sa subjektivnim procenama.

U tabelama 1 i 3 osenčene su vrednosti mere održanja ivica, Q^{AB} , koje se ne slažu sa subjektivnim procenama.

Izvorne slike i njihove modifikacije prikazane na Sl. 1, Sl. 2 i Sl. 3 su preuzete iz [2], [7].

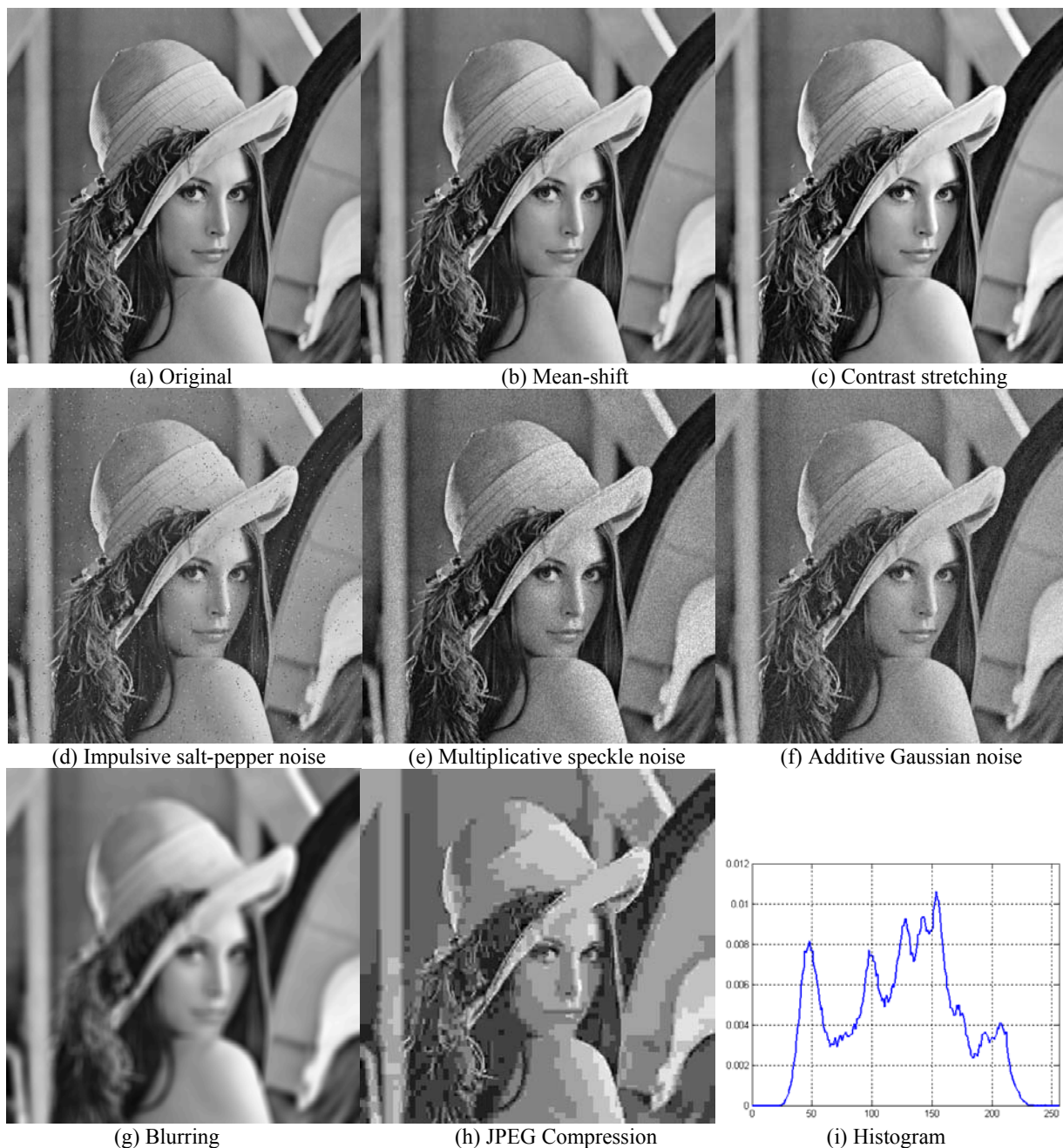
V. ZAKLJUČAK

Eksperimenti pokazuju da za različite distorzije slike modifikovana mera održanja ivica daje bolje rezultate procene od MSE a rezultati se slažu sa rezultatima UIQI. MSE je osetljiva na energiju greške a ne na strukturne distorzije.

Modifikovana mera održanja ivica je zasnovana na transferu obeležja (ivica) od izvorne do modifikovane slike. U praktičnim primenama, post-procesing operacije, kao što su klasifikacija, prepoznavanje, identifikacija i

segmentacija značajno zavise od raspoloživih obeležja slike. Zbog toga, informacije o dostupnosti raspoloživih obeležja imaju važnu ulogu za dalju analizu. Takođe, mera

u sebi ima ugrađen model HVS. Mere koje imaju dobro ugrađen model HVS trebalo bi da daju i bolje rezultate procene od mera koje to nemaju.



Sl. 1. Izvorna slika, modifikacije i histogram izvorne slike

TABELA 1: VREDNOSTI MERA PROCENE ZA PRIMER SA SL. 1.

Slika	Modifikacija (Distorzija)	Subjektivna procena	MSE	Q	Q^{AB}	Q^{AB}_{mod}
Sl. 1a	Original	1	0	1	1	1
Sl. 1b	Mean-shift	1.59	225	0.9894	1	0.9896
Sl. 1c	Contrast stretching	1.64	225	0.9372	0.8076	0.8230
Sl. 1d	Impulsive salt-pepper noise	3.32	225	0.6494	0.9107	0.7117
Sl. 1e	Multiplicative Speckle Noise	4.18	225	0.4408	0.2420	0.4587
Sl. 1f	Additive Gaussian Noise	4.27	225	0.3891	0.2010	0.4173
Sl. 1g	Blurring	6.32	225	0.3461	0.1909	0.3353
Sl. 1h	JPEG Compression	6.68	215	0.2876	0.0854	0.1838



(a) Mandril



(b) Lake



(c) Tiffany

Sl. 2. Izvorne slike i njihove modifikacije



(a) Barbara



(b) Man



(c) Woman

Sl. 3. Izvorne slike i njihove modifikacije

TABELA 2: VREDNOSTI OBJEKTIVNIH MERA PROCENE ZA PRIMER SA SL. 2.

Slika	Mera	Original	Compression
Mandril	MSE	0	163
	Q	1	0.7959
	Q^{AB}	1	0.4751
	Q^{AB}_{mod}	1	0.7777
Lake	MSE	0	167
	Q	1	0.4606
	Q^{AB}	1	0.1787
	Q^{AB}_{mod}	1	0.3576
Tiffany	MSE	0	165
	Q	1	0.3709
	Q^{AB}	1	0.1199
	Q^{AB}_{mod}	1	0.2669

TABELA 3: VREDNOSTI OBJEKTIVNIH MERA PROCENE ZA PRIMER SA SL. 3.

Slika	Mera	Original	Blurred
Barbara	MSE	0	200
	Q	1	0.6594
	Q^{AB}	1	0.3795
	Q^{AB}_{mod}	1	0.7749
Man	MSE	0	200
	Q	1	0.4123
	Q^{AB}	1	0.1697
	Q^{AB}_{mod}	1	0.3266
Woman	MSE	0	200
	Q	1	0.3483
	Q^{AB}	1	0.1744
	Q^{AB}_{mod}	1	0.2791

LITERATURA

- [1] M. Popović, *Digitalna obrada slike*. Beograd: Akademska misao, 2006, str. 70-72.
- [2] Z. Wang, A.C. Bovik, "A Universal Image Quality Index", *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 9, No. 3, pp. 81-84, March 2002.
- [3] C.S. Xydeas, V. Petrović, "Objective Image Fusion Performance Measure", *Electronics Letters*, Volume 36, Issue 4, pp. 308-309, Feb 2000.
- [4] V. Petrović, C.S. Xydeas, "Objective evaluation of signal-level image fusion performance", *Optical Engineering*, Vol. 44 (8), August 2005.
- [5] R.C. Gonzales, R.E. Woods, *Digital image processing*, Second Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2002, pp. 567-581.
- [6] W.K. Pratt, *Digital image processing*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 462-522.
- [7] www.cns.nyu.edu/~zwang/files/papers/uqi.html, 07.07.2008.

ABSTRACT

In this paper we proposed a modification of an edge preservation measure for use in objective image quality evaluation. The proposed measure is mathematically defined and human visual system model is employed. Our experiments on various image distortion types indicate that it performs significantly better than the widely used distortion metric mean squared error and results are consistent with universal image quality index (UIQI).

EDGE PRESERVATION MEASURE MODIFICATION

Boban Bondžulić, Vladimir Petrović