

Ivična objektivna procena kvaliteta slike

Boban P. Bondžulić, Vladimir S. Petrović

Sadržaj — U radu je predložena mera za objektivnu procenu kvaliteta monohromatske slike. Mera je zasnovana na poređenju vizuelnih informacija izvorne i test slike, pri čemu su vizuelne informacije povezane sa ivicama slike. Valjanost predložene mere je ispitana na bazi slika sa dostupnim subjektivnim procenama. Dobijeni rezultati ukazuju da se procene dobijene korišćenjem predložene mere slažu sa subjektivnim procenama.

Ključne reči — Očuvanje ivičnih informacija, procena kvaliteta slike, subjektivni značaj.

I. UVOD

Poslednjih godina svedoci smo naglog razvoja sistema za digitalnu obradu slike, kako u prezentovanju vizuelnih informacija tako i u komunikacijama. Performanse ovih sistema značajno zavise od kvaliteta ulaznih i izlaznih slika. Kako je čovek posmatrač i korisnik najvećeg broja sistema za obradu slike, subjektivna procena je najpouzdaniji metod za evaluaciju kvaliteta. Međutim, da bi se dobili statistički relevantni rezultati, potreban je reprezentativan uzorak posmatrača, eksperimente treba sprovesti u kontrolisanim uslovima, potrebno je sprovesti dodatnu obradu odgovora posmatrača, što sve zajedno čini subjektivnu procenu vremenski dugom, napornom i veoma skupom.

Da bi se izbegla subjektivna procena, potrebna je procedura za automatsku procenu kvaliteta. Procedura automatske procene naziva se objektivna procena. Uz softversku implementaciju vreme procene se smanjuje od dana i nedelja do nekoliko sekundi ili minuta.

Osnovni cilj automatske procene kvaliteta slika/ videa je dobiti predikcije koje su u dobroj korelaciji sa prosečnom subjektivnom procenom (MOS – mean opinion score). Idealna objektivna mera za procenu kvaliteta treba da bude primenljiva kod različitih tipova distorzije, da kvantitativno obuhvati različite stepene distorzije i da uzme u obzir raspodelu grešaka koje se javljaju [1].

Prema količini informacija izvorne slike koja se koristi u postupku procene kvaliteta na prijemnoj strani (strani posmatrača), objektivne mere za procenu kvaliteta slike se mogu podeliti u tri kategorije, bez referenciranja (NR – no-reference), sa potpunim referenciranjem (FR – full-reference) i sa delimičnim referenciranjem (RR – reduced-reference) [2].

Najčešće korišćene objektivne mere za procenu kvaliteta/distorzije su srednja kvadratna greška (MSE),

B. P. Bondžulić, Vojna akademija, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, Beograd, Srbija; (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).

odnos signal/šum (SNR) i vršni odnos signal/šum (PSNR), ali su ove mere često kritikovane jer ne daju rezultate koji su u potpunosti u skladu sa subjektivnim procenama [3].

Od tehnika koje se koriste za objektivnu procenu kvaliteta, zbog dobre predikcije subjektivnih procena, izdvajaju se: indeks strukturne sličnosti [4] (Structural Similarity Index - SSIM), multiveličinski indeks strukturne sličnosti [5] (Multi-Scale Structural Similarity Index - MS-SSIM) i VIF metod [6] (Visual Information Fidelity – VIF).

Za poređenje informacija izvorne i test slike u radu je predložen FR pristup. Navedeni pristup proistekao je iz pristupa koji se koristi u proceni kvaliteta sjedinjavanja monohromatskih slika [7], gde se očuvanje prostornih informacija evaluira kroz gradijentnu reprezentaciju. Gradijentna procena polazi od ideje da je prenos (kompresija, degradacija) kojim se prenese više gradijentnih informacija bolji. Predloženi pristup je upoređen sa PSNR, SSIM, MS-SSIM i VIF na LIVE bazi slika.

II. IVIČNA OBJEKTIVNA PROCENA KVALITETA SLIKE

U ivičnoj proceni polazi se od izdvajanja parametara ivica i korišćenja subjektivnog modela očuvanja ivica. Razmatranjem subjektivnog značaja regiona slike, očuvanje parametara ivica lokalnih regiona integrali se u jednu numeričku vrednost koja odlikava kvalitet test slike i ima vrednost u opsegu od nula do jedan.

A. Izdvajanje parametara ivica

Za potrebe objektivne procene potrebno je obe slike filtrirati sa Sobel prostornim maskama [8]. Rezultate konvolucije slika koji daju informacije o horizontalnim i vertikalnim komponentama ivica (x i y orijentacije) označimo sa s^x i s^y , respektivno. Od ovih komponenti lako se dobijaju amplituda, $g(m,n)$, i orijentacija ivice, $\alpha(m,n)$ piksela $p(m,n)$ slike (npr. slike A):

$$g_A(m,n) = g_{\max}^{-1} \sqrt{s_A^x(m,n)^2 + s_A^y(m,n)^2} \quad (1)$$

$$\alpha_A(m,n) = \arctan\left(\frac{s_A^y(m,n)}{s_A^x(m,n)}\right) \quad (2)$$

U (1) je sa g_{\max} označena maksimalna vrednost gradijenta koja se može dobiti primenom Sobel maski ($g_{\max}=1.118$) za 8.-bitne monohromatske slike svedene na opseg od nula do jedan.

Amplituda g može biti u opsegu [0,1], gde minimalna vrednost odgovara situacijama kada nema promena nivoa sivog, a maksimalna vrednost odgovara maksimalnom kontrastu. Orijetacija α može biti u opsegu $[-\pi,\pi]$. Orijetacija je ciklična promenljiva, tj. ekstremne vrednosti $-\pi$ i π su u osnovi iste.

B. Mera održanja ivica

Ivica izvorne slike je sasvim preslikana u test sliku ako su amplitude i orijentacije ostale nepromenjene. Promena jednog ili oba parametra je pokazatelj gubitka informacija. Ukoliko postoji gubitak kontrasta od izvorne slike A do test slike B , promena amplitude, Δ_g^{AB} , definiše se kao odnos amplituda izvorne i test slike:

$$\Delta_g^{AB}(m,n) = \begin{cases} \frac{g_B(m,n) + C}{g_A(m,n) + C}, & g_A(m,n) > g_B(m,n) \\ \frac{g_A(m,n) + C}{g_B(m,n) + C}, & g_B(m,n) \geq g_A(m,n) \end{cases} \quad (3)$$

U (3) je sa C označena konstanta koja se dodaje zbog situacija u kojima su oba gradijenta veoma blizu nule ili praga detekcije ivice. Ignorišući efekte prostorne učestanosti, na 8.-bitnim monohromatskim slikama, posmatrači u proseku razlikuju dva regiona ukoliko se njihovi srednji osvetljaji razlikuju za četiri ili više nivoa sivog. Zbog toga je u radu za konstantu C usvojena vrednost $4/256$ ($1/64$).

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

$$\Delta_\alpha^{AB} = \pi^{-1} \left| \alpha_A(m,n) - \alpha_B(m,n) \right| - \pi \quad (4)$$

Vrednosti Δ_g^{AB} i Δ_α^{AB} opisuju linearne promene ivičnih informacija. Međutim, kako subjektivni gubitak informacija nije linearno zavistan od promene amplituda i orijentacija u obzir je uzeta i nelinearna priroda vizuelnog sistema čoveka. Gubitak amplituda i orijentacija ivica modulisan je sa nelinearnim sigmoidnim funkcijama. Korišćenjem nelinearnih sigmoidnih funkcija dobijaju se mere održanja parametara ivica, Q_g^{AB} i Q_α^{AB} , koje modeluju istinitost ulaznih amplituda i orijentacija na poziciji (m,n) u test slici:

$$Q_i^{AB}(m,n) = \frac{\Gamma_i}{1 + \exp\{k_i[\Delta_i^{AB}(m,n) - \sigma_i]\}}, \quad i \in \{g, \alpha\}. \quad (5)$$

Optimalne vrednosti nelinearnih sigmoidnih funkcija $[k_g, \sigma_g, k_\alpha, \sigma_\alpha] = [-11, 0.7, -24, 0.8]$ optimizovane su za potrebe sjedinjavanja slika [7]. Konstante Γ_i dobijaju se tako da je $Q_i^{AB} = 1$ kada je $\Delta_i^{AB} = 1$.

Mere održanja amplituda i orijentacija $Q_g^{AB}(m,n)$ i $Q_\alpha^{AB}(m,n)$ kombinuju se u meru održanja ivica $Q^{AB}(m,n)$, koja predstavlja meru vernosti kojom slika B predstavlja sliku A :

$$Q^{AB}(m,n) = \sqrt{Q_g^{AB}(m,n) \cdot Q_\alpha^{AB}(m,n)} \quad (6)$$

Mera održanja ivica je invarijantna na promene u osvetljaju, dobijene dodavanjem konstantne vrednosti slici, jer ova operacija ne menja strukturne informacije.

C. Određivanje mape subjektivnog značaja

Raspodela subjektivnog značaja na slici je kompleksan proces koji zavisi od mnogih faktora kao što su kontrast, orijentacija ivica, pozicija na slici, pripadnost entitetima višeg reda (objektima), sadržaj slike, itd [9].

Ukoliko je poznata mapa subjektivnog značaja, w , krajnja mera kvaliteta slike B dobija se kao normalizovana suma mape kvaliteta test slike modulisan sa mapom subjektivnog značaja w :

$$Q_w^{AB} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N Q^{AB}(m,n) w(m,n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N w(m,n)} \quad (7)$$

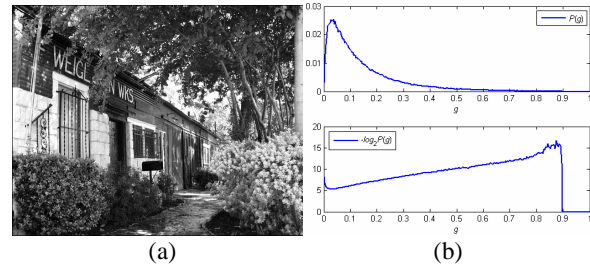
Vrednosti mere Q_w^{AB} se nalaze u opsegu $[0,1]$, gde vrednost nula ukazuje da je došlo do potpunog gubitka informacija izvorne slike, dok vrednost jedan ukazuje da se radi o idealnom prenosu pri kome su informacije izvorne slike u potpunosti preslikane u test sliku. Za test sliku koja ima veću vrednost Q_w^{AB} kažemo da je boljeg kvaliteta.

Subjektivni značaj u radu određen je na dva načina. Prvi način je na osnovu lokalnog informacionog sadržaja izvorne slike (slike A):

$$w(g_A) = -\log_2 P(g_A), \quad (8)$$

gde je $P(g_A)$ funkcija gustine verovatnoće gradijenta izvorne slike. Iz (8) se vidi da značaj piksela zavisi od raspodele vrednosti gradijenta. Značaj piksela (m,n) se može tumačiti kao broj bita potrebnih za reprezentaciju vrednosti njegovog gradijenta, $g_A(m,n)$.

Na Sl. 1 prikazana je izvorna slika, histogram gradijenta izvorne slike i funkcija značaja piksela, w .



Sl. 1. (a) izvorna slika; (b) histogram gradijenta izvorne slike (gore) i funkcija značaja piksela (dole).

Za pretpostavku o Rejljevoj raspodeli amplituda gradijenta, funkcija značaja (8) će biti nelinearna funkcija, što je u skladu sa nelinearnom prirodom HVS. Nelinearna funkcija značaja se vidi na Sl. 1b (dole).

Kako bi se u obzir uzeo i lokalni informacioni sadržaji test slike uvedena je i druga funkcija značaja piksela:

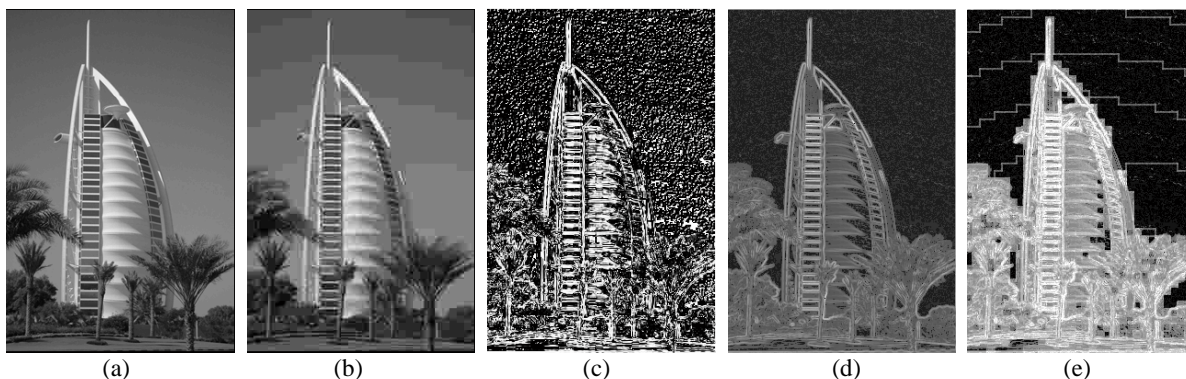
$$w(g_A, g_B) = -\log_2 P(g_A, g_B), \quad (9)$$

gde je $P(g_A, g_B)$ združena raspodela gradijenta izvorne i test slike. Na ovaj način zbirna procena (7) će ispunjavati uslov simetričnosti ($Q_w^{AB} = Q_w^{BA}$).

Uvođenjem funkcija značaja (8) i (9) izbegava se heurističko određivanje značaja piksela sa nultim gradijentom, jer značaj zavisi od frekvencije pojave nultog gradijenta. Odsustvo promene signala nosi malu ali konačnu količinu informacija, tj. da na datoj poziciji ne postoji ivica.

Na Sl. 2 prikazane su izvorna i test slika, mapa održanja ivica i mape značaja dobijene na predložene načine (svetlije vrednosti imaju veći značaj).

Sa Sl. 2d i 2e vidi se da objekti na slici u prednjem planu imaju veći subjektivni značaj od pozadine (nebo). Takođe, sa Sl. 2e vidi se da pikseli kod kojih postoje degradacije dobijaju na značaju – pikseli pozadine kod kojih se uočava blokovski efekat.



Sl. 2. (a) izvorna slika; (b) test slika; (c) mapa održanja ivica; (d) (e) mape subjektivnog značaja dobijene korišćenjem (8) i (9), respektivno.

III. REZULTATI

Performanse objektivnih mera procene evaluirane su na LIVE bazi slika kroz tri aspekta predikcije [2]:

- predikcija tačnosti, određena računanjem koeficijenta korelacije – CC, srednje apsolutne greške – MAE i korena srednje kvadratne greške – RMSE, između objektivnih procena i subjektivnih skorova,
- predikcija monotonosti, određena Spirmanovim koeficijentom korelacije rangova – SROCC,
- predikcija konzistentnosti, određena računanjem tačaka van prozora od dve standardne devijacije subjektivnih procena – outlier ratio – OR.

Za nelinearno preslikavanje između objektivnih procena i subjektivnih skorova koristi se logistik funkcija sa četiri parametra [2].

LIVE baza slika sastoji se od 982 kolor slike. Baza slika izvedena je od 29 izvornih kolor slika. Svaka od izvornih slika degradirana je sa pet tipova distorzije i to tako da kvalitet dobijenih slika pokriva potpuni opseg kvaliteta, tj. od slika lošeg do slika dobrog kvaliteta. Kvalitet izvornih slika narušen je korišćenjem JPEG2000 kompresije, JPEG kompresije, dodavanjem belog Gausovog šuma, Gausovim bluringom i simulacijom grešaka u prenosu JPEG2000 povorke bita korišćenjem Rejljevog modela kanala sa brzim fadingom [10].

U daljem radu sa EPM obeleženi su rezultati dobijeni primenom ivične objektivne procene (7), gde je svim pikselima dat jednak subjektivni značaj, $w(m,n)=1$ (prostorno usrednjavanje). Sa EPMw1 i EPMw2 obeležene su vrednosti dobijene korišćenjem mapa subjektivnog značaja (8) i (9), respektivno.

Na Sl. 3 prikazan je dijagram rasipanja DMOS vrednosti (diferencijalni MOS), gde svaka tačka predstavlja jednu test sliku. Vertikalna i horizontalna osa predstavljaju DMOS i dobijene objektivne procene, respektivno.

Sa Sl. 3 vidi se da procene dobijene korišćenjem predložene mere imaju konstantno rasipanje oko logistik krive u kompletnom opsegu kvaliteta.

U tabeli 1 date su performanse objektivnih mera procene po analiziranim aspektima (dve najbolje mere su obeležene masnim slovima). Iz tabele 1 vidi se da se najbolji rezultati dobijaju korišćenjem VIF mere, dok se po analiziranim aspektima predložena mera nalazi na drugom mestu. Predikcije dobijene po predloženoj meri značajno su bolje od predikcija dobijenih korišćenjem PSNR i SSIM.

Generalno, iz tabele 1 može se zaključiti da se predloženom strategijom prostornog udruživanja poboljšava predikcija ivične objektivne procene.

IV. ZAKLJUČAK

Koncept predložen u radu može se koristiti za procenu slika sa različitim tipovima degradacija i sa različitim stepenom degradacije. Takođe, može se koristiti za procenu kvaliteta kao grafička (dvodimenzionalna) ili numerička (skalarna) mera.

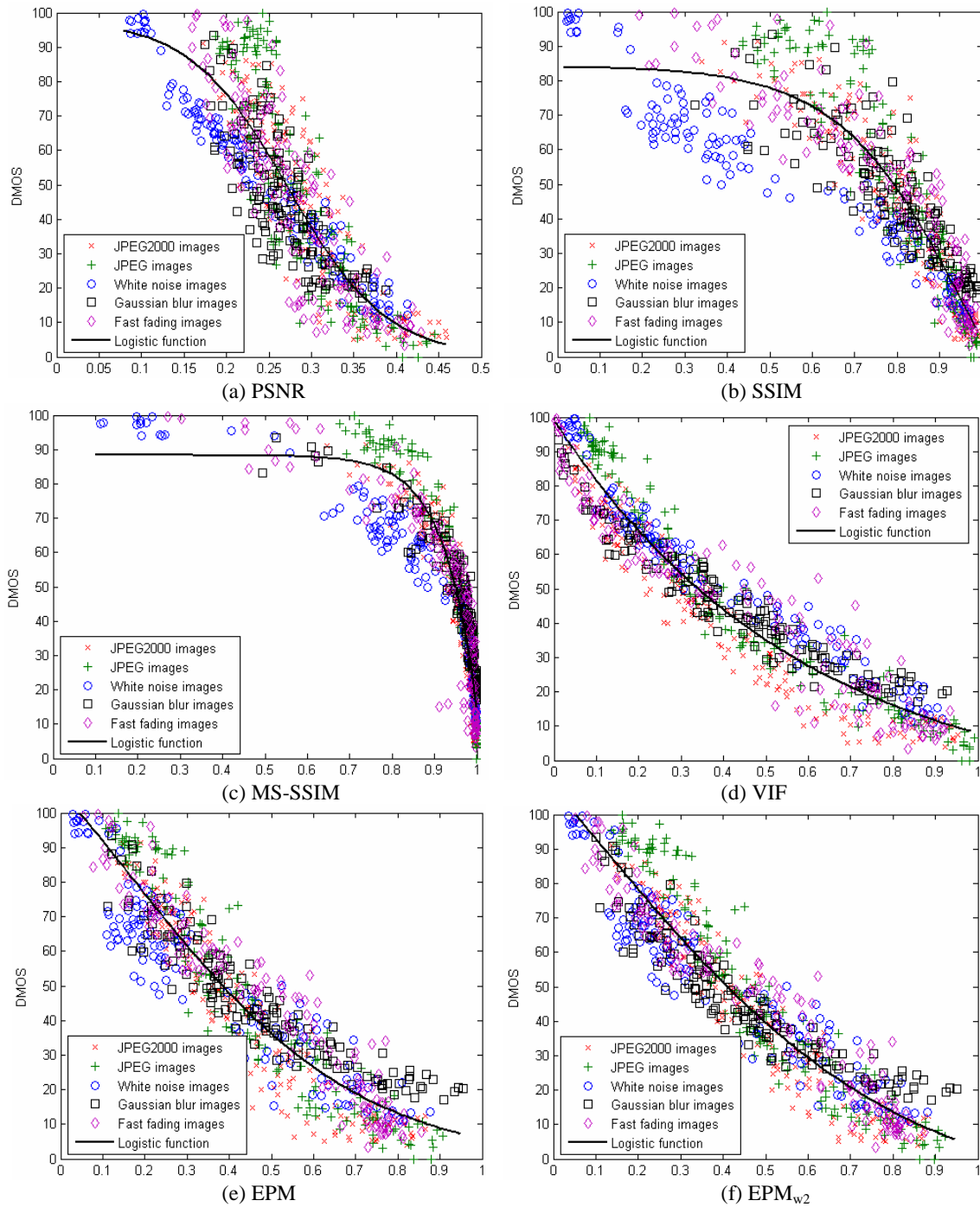
Predložena mera ne zahteva trening pre primene algoritma procene kvaliteta. Sa novim parametrima nelinearnih sigmoidnih funkcija namenjenih za procenu kvaliteta slike, rezultati procene kvaliteta sigurno će biti bolji.

Kroz eksperimentalne rezultate pokazano je da se predložena mera nalazi rame uz rame sa najboljim tehnikama objektivne procene kvaliteta (MS-SSIM i VIF).

U daljem radu predloženi pristup će se proširiti na procenu kvaliteta kolor slika i procenu kvaliteta video sekvenci.

LITERATURA

- [1] A. Shnayderman, A. Gusev, and A.M. Eskicioglu, "An SVD-Based Gray-Scale Image Quality Measure for Local and Global Assessment," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, no. 2, pp. 422-429, 2006.
- [2] International Telecommunication Union, "TUTORIAL: Objective perceptual assessment of video quality - Full reference television," *ITU-T*, 2004.
- [3] Z. Wang, and A.C. Bovik, "Mean Squared Error: Love It or Leave It? A new look at signal fidelity measures," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 98-117, January 2009.
- [4] Z. Wang, A.C. Bovik, H.R. Sheikh, and E.P. Simoncelli, "Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 13, no. 4, April 2004.
- [5] Z. Wang, E.P. Simoncelli, and A.C. Bovik, "Multi-Scale Structural Similarity for Image Quality Assessment," *Proceedings of the 37th Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers*, 2003.
- [6] H.R. Sheikh, and A.C. Bovik, "Image information and visual quality," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 15, No. 2, pp. 430- 444, Feb. 2006.
- [7] V. Petrović, and C. Xydeas, "Objective evaluation of signal-level image fusion performance," *Opt. Engineering* 44 (8), August 2005.
- [8] W.K. Pratt, *Digital image processing*, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2007, pp. 462-522.
- [9] Z. Wang, and X. Shang, "Spatial pooling strategies for perceptual image quality assessment," *IEEE Inter. Conf. Image Proc.*, Atlanta, GA, October 2006.
- [10] H.R. Sheikh, Z. Wang, L. Cormack, and A.C. Bovik, "LIVE Image Quality Assessment Database Release 2," <http://live.ece.utexas.edu/research/quality>



Sl. 3. Dijagram rasipanja (scatter plot) DMOS vrednosti.

TABELA 1: POREĐENJE PERFORMANSI MERA PROCENE KVALITETA NA LIVE BAZI SLIKA.

| <i>Model</i> | <i>CC</i> | <i>SROCC</i> | <i>MAE</i> | <i>RMSE</i> | <i>OR</i> |
|-------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| <i>PSNR</i> | 0,87 | 0,88 | 10,54 | 13,47 | 10,27 |
| <i>SSIM</i> | 0,90 | 0,91 | 9,33 | 11,83 | 7,32 |
| <i>MS-SSIM</i> | 0,94 | 0,95 | 7,57 | 9,45 | 2,05 |
| <i>VIF</i> | 0,96 | 0,96 | 6,21 | 7,68 | 0,64 |
| <i>EPM</i> | 0,94 | 0,94 | 7,62 | 9,49 | 3,21 |
| <i>EPM_{w1}</i> | 0,95 | 0,95 | 6,83 | 8,52 | 1,54 |
| <i>EPM_{w2}</i> | 0,95 | 0,95 | 7,05 | 8,85 | 1,93 |

ABSTRACT

An objective measurement framework for grayscale image quality assessment, based on a direct comparison of visual information in the test and reference images, is proposed. The measure associates visual information with edge, or gradient, information. The proposed metric is validated using extensive subjective test results and validation procedures. The results clearly indicate that the proposed metric is perceptually meaningful in that it corresponds well with the results of subjective evaluation.

EDGE-BASED IMAGE QUALITY ASSESSMENT

Boban Bondžulić, Vladimir Petrović