

# Razvoj aplikacije za objektivno merenje kvaliteta video sekvenci bez reference

Dragan Kukulj, *Member IEEE*, Nemanja Obradović, Maja Pokrić, *Member IEEE*, Miodrag Temerinac, *Member IEEE*

**Sadržaj** — U ovom radu je opisan algoritam koji se koristi za objektivnu procenu kvaliteta slike bez reference kao i način njegove implementacije. Algoritam se zasniva na merenju zastupljenosti pojave blokova (blocking artefact) [1] uz podražavanje osobina ljudskog sistema vida kroz merenje pokreta i težinsku funkciju.

**Gljučne reči** — Blocking artefact, Ljudsko čulo vida, Procena pokreta, Algoritmi procene kvaliteta bez reference, Mera izobličenja bloka, Video quality assessment

## I. UVOD

Kompresija je proces kodovanja kojim se smanjuje kapacitet memorije potrebne za skladištenje i kapacitet prenosnog linka potrebnog za prenos. Dokle god postoji potreba za kompresijom neophodna je i procena kompresionog metoda. Dobra procena kvaliteta rezultata kompresije olakšava razvoj novih metoda kompresije.

Uopšteno govoreći procene kvaliteta slike se dele na objektivne i subjektivne. Objektivne mere se definišu matematičkim formulacijama i pogodne se za automatsko ispitivanje i implementaciju na računarima. Subjektivne mere su stanovište gledaoca o kvalitetu video sekvence. Subjektivno ispitivanje je veoma zahtevno u pogledu vremena i ljudskih resursa potrebnih za ispitivanje. Zbog toga je značajan rad u razvoju objektivnih metoda ispitivanja čiji su rezultati u bliskoj korelaciji sa subjektivnom percepcijom kvaliteta gledalaca.

U ovom radu biće opisan algoritam bez reference za objektivnu procenu kvaliteta slike koji se zasnivaju na merenju zastupljenosti pojave blokova i merenju brzine pomeraja u slici. Zbog osobina ljudskog čula vida (Human vision system - HVS) čovek teže primećuje detalje slike koja se brzo kreće. Zato su i fizički nedostaci manje vidljivi kod sekvenci kod kojih postoji veća količina kretanja. Čovek sekvence sa više pokreta ocenjuje kao kvalitetnije.

Ovaj rad je delimično finansiran od Ministarstva za nauku Republike Srbije, projekat 161003, od 2008. god.

Nemanja Obradović, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, odsek Računarstvo i automatika, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad (telefon: 381-21-4801-119; e-mail: nobradov@rt-rk.com).

Dragan Kukulj, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, odsek Računarstvo i automatika, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad; (telefon: 381-62-8880-080; e-mail: dragan.kukulj@rt-rk.com).

Maja Pokrić, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, odsek Računarstvo i automatika, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad; (telefon: 381-21-4801-455; e-mail: maja.pokric@rt-rk.com).

Miodrag Temerinac, Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu, Srbija, odsek Računarstvo i automatika, Trg Dositeja Obradovića 6 Novi Sad; (telefon: 381-63-538-915; e-mail: miodrag.temerinac@rt-rk.com).

Pojava blokova je najzastupljeniji artefakt kompresije. Posledica je grube kvantizacije a manifestuje se kao veštačka granica dva susedna bloka. Pojava blokova je posledica gotovo svih algoritama kompresije koji se zasnivaju na obradi bloka. Medju najpopularnijim algoritmima kompresije koji kao posledicu imaju pojavu blokova su JPEG i MPEG standardi.

Procena pokreta (motion estimation) je proces određivanja vektora pokreta koji opisuju promenu jednog 2D (dvodimenzionalne) okvira (frame) u drugi, obično nad uzastopnim okvirima. U stvarnosti vektor pokreta ima tri stepena slobode dok je slika dvodimenzionalna projekcija trodimenzionalne scene. Kod procene pokreta podrazumeva se da se između dva susedna okvira ne dolazi do promene celog okvira već samo pojedinih regiona. Često ovi regioni ne nestaju sa slike već samo menjaju poziciju.

Najzastupljeniji algoritmi za prepoznavanje pokreta spadaju u metode „podudaranja blokova“. Podudaranje blokova znači da se svaki okvir podeli na blokove 8x8 piksela a zatim se algoritmom za svaki blok pokušava pronaći vektor koji preslikava taj blok na sledećem okviru. Svaki blok se smatra zasebnim objektom pa ako jedan semantički objekt sadrži više blokova oni će imati slične vektore pokreta. Jedan blok se upoređuje sa blokovima koji potpadaju u opseg pretrage u sledećem okviru koji služe za poredjenje i eventualno prepoznavanje. Za poredjenje blokova koristi se „mera izobličenja bloka“ (eng. Block Distorsion Measure - BDM) kako bi se ocenila sličnost dva bloka. Najčešći metodi su srednja kvadratna vrednost greške (eng. Mean Square Error) i suma apsolutnih razlika (eng. Sum of Absolute Differences).

Mana familije algoritama sa uklapanjem blokova je što ne funkcionišu dobro za sve tipove pokreta. Razlikuju se tri tipa pokreta: translacija, rotacija i skaliranje. Dodatni problem predstavlja kombinacija globalnog i lokalnog pokreta, tj. mogući su istovremni pokreti kamere i objekta kao i kombinacije sva tri tipa pokreta. Opisani algoritmi najbolje funkcionišu primenjeni na translaciono kretanje.

## II. OPIS ALGORITMA ZA MERENJE KOLIČINE POKRETA

Implementirani algoritam pripada familiji algoritama sa podudaranja blokova (block matching). Slika se deli na blokove veličine 8x8 piksela a zatim se između dva uzastopna okvira traži najbolje poklapanje blokova.

Koordinate bloka u prethodnom i sadašnjem okviru definišu vektor pomeraja bloka. Poklapanje se meri srednjom kvadratnom greškom između korespondentnih tačaka blokova.

Algoritam za merenje pokreta u četiri koraka:

1. Kreira se model pretrage koji se sastoji od 9 koordinata. Model obuhvata centar oblasti pretrage i osam koordinata sa horizontalnim i/ili vertikalnim odstojanjem od 8 piksela. Pronalaze se koordinate sa najmanjim izobličenjem bloka (u daljem tekstu BDM) koje postaju centar modela pretrage u sledećem koraku.
2. Prepolovljena je oblast pretrage na 4 piksela. Kreira se model pretrage koji obuhvata osam koordinata koji okružuju koordinate sa najboljim poklapanjem iz prethodnog koraka. Blok sa najmanjim BDM postaje centralni za pretragu u sledećem koraku.
3. Ponovo se smanjuje oblast pretrage na 2 piksela. Pronalazi se blok sa najmanjim BDM iz modela pretrage nastalog na identičan način kao u prethodnim koracima.
4. Posmatra se 8 blokova koji se nalaze na rastojanju od 1 piksel u odnosu na centar pretrage izračunat u prethodnom koraku. Koordinate bloka sa najmanjim BDM su rezultat rada algoritma.

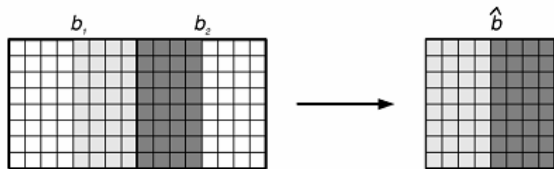
### III. OPIS ALGORITMA ZA MERENJE ZASTUPLJENOSTI POJAVE BLOKOVA

Sledi opis algoritma za prepoznavanje pojave blokova izložen u [1].

Svaki blok se može predstaviti kao konstantan blok promenjen nezavisno identično raspodeljenim (independent identically distributed – i.i.d.) belim šumom sa srednjom vrednošću nula i nepoznatom varijansom. Posmatraju se blokovi  $b_1$  i  $b_2$  sa srednjim vrednostima  $\mu_1$  i  $\mu_2$  pri čemu je  $\mu_1 \neq \mu_2$ . Ovi se blokovi mogu predstaviti na sledeći način:

$$b_1 = \mu_1 + \varepsilon_{i,j}, \quad b_2 = \mu_2 + \delta_{i,j}$$

gde su  $\varepsilon_{i,j}$  i  $\delta_{i,j}$  modelovani kao i.i.d beli šum.



Sl. 1. Način dobijanja modifikovanog bloka [1]

Kada se odgovarajući blokovi  $b_1$  i  $b_2$  promenjeni diskretnom kosinusnom transformacijom (discrete cosine transform - DCT) kvantizuju koristeći veliki parametar kvantizacije, većina DCT koeficijenata postaje jednaka nuli, što smanjuje efekat varijanse  $\varepsilon_{i,j}$  i  $\delta_{i,j}$ . Kao rezultat, 2D jedinična odskočna funkcija između blokova  $b_1$  i  $b_2$  (saglasno sa  $\mu_1 \neq \mu_2$ ) postaje vidljiva, uzrokujući pojavu bloka. Na osnovu ovog zapažanja stvara se novi promenjen blok  $\hat{b}$  sastavljen od desne

polovine bloka  $b_1$  i leve polovine bloka  $b_2$  kao što je prikazano na slici 1. Pojava bloka između  $b_1$  i  $b_2$  se modeluje kao jedinična odskočna funkcija u bloku  $\hat{b}$ . Definisaćemo jediničnu odskočnu funkciju  $s$  u novonastalom bloku  $\hat{b}$  na sledeći način

$$s(i, j) = \begin{cases} -\frac{1}{8}, & i = 0, \dots, 7; \quad j = 0, \dots, 3 \\ \frac{1}{8}, & i = 0, \dots, 7; \quad j = 4, \dots, 7. \end{cases}$$

Stoga se  $\hat{b}$  može predstaviti kao:

$$\hat{b}(i, j) = |\beta| \cdot s(i, j) + \mu + r(i, j); \quad i, j = 0, \dots, 7$$

gde je  $|\beta|$  amplituda 2D odskočne funkcije  $s$ ,  $\mu$  je srednja vrednost bloka što predstavlja pozadinsko osvetljenje,  $r$  je preostali blok koji predstavlja lokalnu aktivnost oko ivice bloka. Što je vrednost  $|\beta|$  veća pojava blokova je naglašenija.

Definišu se dve matrice

$$q_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0_{4 \times 4} \\ I_{4 \times 4} & 0 \end{bmatrix}, \quad q_2 = \begin{bmatrix} 0 & I_{4 \times 4} \\ 0_{4 \times 4} & 0 \end{bmatrix}$$

gde je I identička matrica a O nulta matrica. Dalje sledi

$$\hat{b} = b_1 q_1 + b_2 q_2$$

koristeći linearnost i distributivnost DC transformacije lako se dobija DCT ekvivalent prethodne formule:

$$\hat{B} = B_1 Q_1 + B_2 Q_2$$

gde su  $\hat{B}, B_1, B_2, Q_1$  i  $Q_2$  DC transformacije od  $\hat{b}, b_1, b_2, q_1, q_2$ . Iako su matrice  $q_1$  i  $q_2$  razudene, odgovarajuće matrice  $Q_1$  i  $Q_2$  nisu razudene. To zači da bi previše množenja bilo potrebno za računanje  $\hat{B}$ . Međutim matrice  $F_+ = Q_1 + Q_2$  i  $F_- = Q_1 - Q_2$  nisu razudene. Više od 50% elemenata  $F_+$  i  $F_-$  su nula. Stoga se mogu ostvariti velike uštede u vremenu računanja koristeći sledeću jednačinu:

$$\begin{aligned} \hat{B} &= B_1 Q_1 + B_2 Q_2 \\ &= \frac{1}{2} [(B_1 + B_2)(Q_1 + Q_2) + (B_1 - B_2)(Q_1 - Q_2)] \\ &= \frac{1}{2} (B_+ F_+ + B_- F_-) \end{aligned}$$

gde je  $B_+ = B_1 + B_2$  i  $B_- = B_1 - B_2$ . Primetimo da 8x8 DCT jedinične odskočne funkcije  $s$  ima samo četiri nenulta elementa u prvom redu jer je  $s$  konstantna u vertikalnom smeru i antisimetrična u horizontalnom. Neka vektor  $v = [v_0, v_1, \dots, v_7]$  bude prvi red 8x8 DCT transformacije jedinične odskočne funkcije. Onda je  $v_0 = v_2 = v_4 = v_6 = 0$ . Koristeći jedinstvenu osobinu DCT transformacije biće:

$$\|v\| = \sqrt{\sum_0^7 v_i^2} = \sqrt{\sum_{m=0}^7 \sum_{n=0}^7 s^2(m,n)} = 1$$

Stoga se potrebni parametri mogu izračunati na sledeći način:

$$\mu = \hat{B}(0,0)/8$$

$$\beta = \sum_{j=0}^7 v_j \hat{B}(0, j)$$

$$\beta = v_1 \hat{B}(0,1) + v_3 \hat{B}(0,3) + v_5 \hat{B}(0,5) + v_7 \hat{B}(0,7)$$

Neka  $R$  bude 8x8 DCT transformacija preostalog bloka  $s$ . Tada se  $R$  može izračunati u tri koraka:

$$R = \hat{B}$$

$$R(0,0) = 0$$

$$R(0,i) = R(0,i) - \beta \cdot v_i \quad i = 0, \dots, 7$$

Zbog razuđenosti DCT koeficijentata u DCT bloku, predloženi algoritam u DCT domenu je efikasniji od konvencionalnih DCT-IDCT (inverse DCT) metoda, čak i kada se koriste brzi DCT-IDCT algoritmi.

U većini primena čovek je krajnji korisnik vizuelne informacije. Stoga je merenje pojave blokova posredstvom poznatih osobina ljudskog vida efikasno za rasuđivanje vidljivosti artefakta. Aktivnosno (texture) maskiranje i svetlosno (luminance) maskiranje su dobro proučene osobine ljudskog vida human vision system - HVS). Navedene osobine su vrlo bitne za percepciju bloking artefakta. Kako bi iskoristili maskiranje aktivnosti pretpostavićemo da je aktivnost datog bloka suma svih aktivnosti po prostornim frekvencijama i da je DCT koeficijent amplituda očekivane komponente. Efekat maskiranja takođe zavisi i od relativne orijentacije signala maskiranja. Kako se bloking artefakt javlja u dva pravca (verikalnom i horizontalnom) definisaće se dve odvojene aktivnosti: vertikalna aktivnost  $A_v$  i horizontalna aktivnost  $A_h$  na sledeći način:

$$A_v = \sum_{v=0}^7 v \sum_{u=0}^7 |R(u,v)|$$

$$A_h = \sum_{u=0}^7 u \sum_{v=0}^7 |R(u,v)|$$

Za vertikalnu pojavu blokova efekat maskiranja zbog horizontalne aktivnosti je dominantan, što vodi do

$$A_{total}^v = A_h + \alpha A_v$$

Slično, za horizontalne artefakte se može napisati.:

$$A_{total}^h = A_v + \alpha A_h$$

gde je  $\alpha = 0.8$  [4].

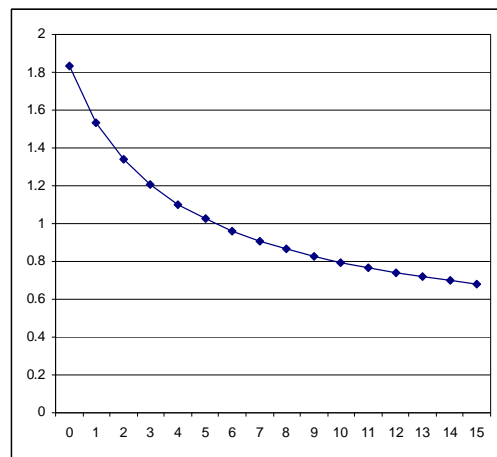
Takođe se razmatra askiranje osvetljaja: vidljivost artefakta zavisi od osvetljenja lokalne pozadine. Uzimajući u obzir obe osobine HVS dat je model za računanje vidljivosti pojave blokova:

$$\eta = \frac{|\beta|}{\left(1 + A_{total}^h\right) \left(1 + \left(\frac{\mu}{\mu_0}\right)^\gamma\right)}$$

gde je  $\mu_0 = 150$  a  $\gamma = 2$  [5]. Za pojavu blokova u drugom smeru se koristi identičan metod.

#### IV. TEŽINSKA FUNKCIJA

Nakon izračunavanja vektora pokreta i zastupljenosti pojave blokova za svaki blok ove dve vrednosti se množe težinskom funkcijom koja oponaša osobinu ljudskog vida da teže primećuje detalje na delovima slike koji se brzo kreću. Pretpostavka je da ukoliko se artefakt nalazi na delu slike koji se kreće, da će biti manje uočljiv pa kao takav manje degradirati subjektivnu percepciju kvaliteta kod gledaoca.



Sl. 2 Grafik predložene težinske funkcije

Na slici 2 je dat grafik predložene funkcije. Funkcija je konstruisana tako da ima vrednost 1 za vrednost pomeraja od 5 piksela što se pokazalo kao prosečna vrednost pomeraja za sve sekvence koje su bile na raspolaganju u vreme ispitivanja. Merenjem je utvrđeno da je raspodela izmerenih pomeraja na intervalu od 0 do 12 gotovo uniformna. Neophodno je obezbediti da težinska funkcija na dovoljno velikom testnom skupu ne menja rezultate povećavanjem ili smanjivanjem ukupnog rezultata za sve sekvence. To je moguće ispuniti ukoliko je površina koju grafik funkcije obrazuje sa X-osom bude približno jednaka sa leve i desne strane vrednosti 5 u intervalu od 0 do 12, odnosno nad opsegom nad kojim je raspodela pomeraja uniformna. Dakle potrebno je ispuniti sledeći uslov:

$$\int_0^5 f(x) \approx \int_5^{12} f(x)$$

pri čemu je sa  $x$  označen pomeraj. Dakle funkcija čiji je grafik dat na slici 2, a na osnovu ispitivanja daje očekivane rezultate je:

$$f(x) = \left( \frac{1}{\log(4.65 + x)} \right)^{1.5}$$

## V. IMPLEMENTACIJA ALGORITMA

Krajnji rezultat rada algoritama ( $\Theta$ ) se dobija tako što se za svaki pojedinačni 8x8 blok okvira izračuna vektor pokreta ( $d$ ) u odnosu na prehodni okvir i vidljivost artefakta ( $\eta_h, \eta_v$  za horizontalnu i vertikalnu vidljivost):

$$\Theta = \frac{\sqrt[4]{\frac{\eta_h^4 \cdot f(d)}{N}} + \sqrt[4]{\frac{\eta_v^4 \cdot f(d)}{N}}}{2}$$

gde N predstavlja broj granica blokova u celom okviru.

U toku implementacije vođeno je računa da se blokovi koji sadrže ivice ne tretiraju opisanim algoritmom jer u suprotnom može doći do pogrešnog prepoznavanja (false positive) ivica kao pojave bloka. Zato je implementiran jednostavan algoritam za prepoznavanje ivica metodom oduzimanja (edge detection by subtraction).

Takođe je primećeno da se kod sekvenci lošijeg kvaliteta otkrivaju manji vektori pokreta zbog nedostatka detalja i inertnosti algoritma. Ova pojava je karakteristična za sve algoritme detekcije pokreta koji se zasnivaju na uklapanju blokova. Zato se u implementaciji procene pokreta obavljaju nad usrednjenom slikom.

## VI. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Za potrebe ispitivanja napisan je program koji ulazne video datoteke tretira matricama kvantizacije datim u [6], simulirajući na taj način JPEG kompresiju. Korišćene su matrice koje odgovaraju kvalitetu 100, 90, 80, 70, 60, 50 i 40%. Kvalitet tako izvedenih sekvenci se zatim automatski ispitivao programom za procenu kvaliteta. Rezultati testiranja se skaliraju tako da se nalaze u opsegu od 0 do 100, korespondentno kvalitetu ulaznih sekvenci. U tabeli 1 dati su rezultati testiranja.

TABELA 1: REZULTATI AUTOMATSKOG ISPITIVANJA

sekvenca	a	b	c	d
hdboat	100	7.01	98.72	98.84
	90	6.88	95.36	95.78
	80	8.3	88.36	89.43
	70	7.53	83.09	84.56
	60	6.16	70.54	72.1
	50	6.33	74.5	76.36
soccer	100	11.24	97.18	97.61
	90	11.3	92.49	93.66
	80	11.24	85.22	87.4
	70	11.11	75.01	78.63
	60	10.97	65.95	71.21
	50	10.74	59.58	65.71
parasol2	100	0.82	97.01	96.49
	90	0.99	87.85	86.07
	80	1.1	66.16	61.03
	70	1.21	54.48	46.99
	60	1.25	45.8	37.46
	50	1.24	40.75	31.23
theater2	100	5.48	97.9	97.9
	90	5.55	90.77	90.98
	80	5.47	76.96	76.83
	70	5.03	68.64	68.07
	60	4.72	59.79	59.39
	50	4.43	52.89	51.89
	40	4.19	45.78	44.27

Značenje kolona je ulazni kvalitet, prosečna količina pokreta, procenjen kvalitet bez kompenzacije HVS, procenjen kvalitet sa kompenzacijom HVS za a, b, c, d.

Osim automatskog ispitivanja i poredjenja sa objektivnim kvalitetom vršeno je ispitivanje u odnosu na subjektivan doživljaj kvaliteta gledaoca. Prilikom testiranja ispoštovana je ITU-T preporuka BT-500 [7] koja propisuje postupak testiranja.

Nakon dobijanja subjektivnih ocena gledalaca (mean opinion score - MOS) testirana je korelacija između rezultata rada opisane aplikacije i subjektivnih mera. Korelacija je tražena koristeći tri metoda: koren srednje kvadratne greške (RMSE), Pirsonov koeficijent linearne korelacije (Pearson linear correlation coefficient, PCC) i Spirmanov koeficijent korelacije (Spearman's rank correlation coefficient, SCC). Rezultati su dati u tabeli 2:

TABELA 2: REZULTATI MERENJA KORELACIJE

	RMSE	PCC	SCC
Procena kvaliteta bez osobina HVS	0.5025	0.4129	0.4524
Procena kvaliteta sa osobinama HVS	0.4963	0.4193	0.4806

RMSE predstavlja grešku pa manja vrednost znači veću korelaciju, dok su PCC i SCC koeficijenti direktno proporcijalni sa korelacijom. U rezultatima se primećuje bolja korelacija kada se pri ispitivanju uključe i osobine HVS (procena pokreta i težinska funkcija) što potvrđuje početne pretpostavke o osobinama HVS i njihovom uticaju na percepciju kvaliteta kod gledaoca.

## LITERATURA

- [1] L. Shizhong and A. C. Bovik, "Efficient DCT-Domain Blind Measurement and Reduction of Blocking Artifacts", IEEE Trans. on Circuits and systems for Video Technology, Vol. 12, No. 12, December 2002
- [2] Renxiang Li, Bing Zeng, Ming L. Liou, "A new threestep search algorithm for block motion estimation," IEEE Trans. on circuits and systems for video technology, Vol. 4, No. 4, Aug. 1994
- [3] Q. Li and Z. Wang "Video Quality Assessment by incorporating a motion perception model", ICIP 2007
- [4] F. X. Coudoux, M. Gzalet, and P. Corlay, "Reduction of blocking effectin DCT-coded images based on a visual perception criterion," Signal Processing: Image Commun., vol. 11, pp. 179–186, 1998.
- [5] S. A. Karunasekera and N. G. Kingsbury, "A distortion measure for blocking artifacts in image based on human visual sensitivity," IEEE Trans. Image Processing, vol. 4, pp. 713–724, June 1995.
- [6] [JPEG Compression Quality from Quantization Tables](#)
- [7] [ITU-T BT.500 recommendation](#)

## ABSTRACT

**In this paper, we present an algorithm for no reference objective video quality assessment. Algorithm is based on blocking artifact measurement presented in [1] and incorporates properties of Human Visual System through motion estimation and weighting function.**

## IMPLEMENTATION OF NO REFERENCE ALGORITHM FOR OBJECTIVE VIDEO QUALITY ASSESSMENT

Dragan Kukolj, *Member IEEE*, Nemanja Obradović, Maja Pokrić, Miodrag Temerinac