

# Поређење објективних метода за процену квалитета мапираних HDR слика

Ивана Вуканић, Ненад Стојановић

**Апстракт**—У раду је дата упоредна анализа објективних метода за процену квалитета слика са ниским динамичким опсегом насталих од слика високог динамичког опсега. Представљене су три мере, од којих је једна изворно намењена процени квалитета мапираних слика, док су преостале две генералне мере без референцирања. Мере су тестиране на једној јавно доступној бази слика. Перформансе објективних мера за процену квалитета слике су представљене кроз корелацију са субјективним скоровима.

**Кључне речи**—HDR слика, Мапирана HDR слика, Објективна процена квалитета слике.

## I. УВОД

У последње време, постоји повећање интересовања за слике са високим динамичким опсегом (*High Dynamic Range*, HDR) које имају значајно већи опсег луминентних вредности у односу на слике са ниским динамичким опсегом (*Low Dynamic Range*, LDR). HDR системи, такође, постају све доступнији широј популацији [1].

Слике са високим динамичким опсегом имају могућност да приближније луминентном опсегу људског визуелног система (*Human Visual System*, HSV) представе слику, чак и у условима екстремне осветљености. HDR слике се боље носе са високим и ниским осветљајима у појединим регионима слике у односу на класичне слике са ниским динамичким опсегом. Из тог разлога, HDR слике су значајно богатије информацијама из окружења.

Како би се омогућио приказ HDR слика на стандардним уређајима за приказ слике, користе се оператори за њихово мапирање (*Tone-Mapped Operators*, TMOs). Мапирањем се редукује динамички опсег, што изазива губитак информација и деградацију слике. Стога је важно да квалитет мапиране слике буде што бољи [2].

С обзиром да је човек крајњи корисник мултимедијалног садржаја као што је слика, процену квалитета је потребно извршити на основу његове субјективне импресије. Како би се добили статистички поуздани резултати потребан је репрезентативан узорак оцењивача. Експерименте треба спровести у контролисаним условима, потребно је извршити додатну

Ивана Вуканић – Електротехнички факултет, Универзитет у Београду, Булевар Краља Александра 73, 11020 Београд, Србија (e-mail: ivnvukanic@gmail.com).

Ненад Стојановић – Војска Србије, Рашка 2, 11050 Београд, Србија (e-mail: nivzv@hotmail.com).

обраду одговора посматрача, што све заједно чини субјективну процену временски дугом, напорном и скупом. Додатно, субјективна евалуација је непрактична за примену у реалним апликацијама [3].

Да би се избегла субјективна процена, потребна је процедура за аутоматску евалуацију квалитета слике. Процедура аутоматске процене назива се објективна процена и корисна је у многим применама где је потребно евалуирати визуелне ефекте који се јављају на сликама током аквизиције, обраде, компресије, преноса и архивирања [4].

Приликом процене мапираних HDR слика, јавља се проблем непостојања референтне LDR слике. Из тог разлога, не могу се употребити најчешће коришћене метрике са потпуним референцирањем за процену квалитета слике као што су средња квадратна грешка (*Mean Squared Error*, MSE), однос сигнал/шум (*Signal to Noise Ratio*, SNR) и вршни однос сигнал/шум (*Peak Signal to Noise Ratio*, PSNR).

У другом делу рада описана је једна мера за процену квалитета мапираних HDR слика. Поред ње, дате су још две мере за процену квалитета слике без референцирања. Све три мере су тестиране на једној од више доступних база слика и резултати су приказани у трећем делу рада.

## II. ОБЈЕКТИВНЕ МЕРЕ ПРОЦЕНЕ КВАЛИТЕТА

Због смањења динамичког опсега, мапиране слике не могу очувати све информације из HDR слике. Стога, структурна тачност (*Structural Fidelity*) игра важну улогу у процени квалитета мапираних слика. С друге стране, структурна тачност самостално није довољна да се добије укупна оцена квалитета. Дobar квалитет мапиране слике се постиже компромисом између очувања структурне тачности и статистичке природности, на чему се и заснива мера TMQI (*Tone-Mapped Quality Index*) [5]. Приликом процене квалитета, у овом случају се врши поређење изворне и мапиране HDR слике, па је ова мера, практично, мера са потпуним референцирањем.

Структурна тачност и статистичка природност карактеришу различите аспекте квалитета мапираних слика. Могу се користити заједно, представљене помоћу вектора, или одвојено. У многим практичним применама, корисници ипак преферирају јединствен резултат који представља квалитет слике. Због тога, ови параметри требају бити комбиновани на неки начин. У овом случају је дефинисана функција са три различита параметра ради скалирања и представе јединственог резултата који

представља квалитет мапиране слике и изражава се као:

$$TMQI(H, L) = a[S(H, L)]^\alpha + (1 - a)[N(L)]^\beta \quad (1)$$

где  $a$  ( $0 \leq a \leq 1$ ) прилагођава релативни значај две компоненте, док  $\alpha$  и  $\beta$  одређују њихову осетљивост. Структурна тачност (означена са  $S$ , где су улазни параметри и HDR и LDR слика) и статистичка природност (означена са  $N$ , где је улазни параметар само LDR слика) имају максималну вредност 1, па самим тим и TMQI има максималну вредност 1.

Једна од мера за процену квалитета слике без референцирања у просторном домену назива се BRISQUE (*Blind/Referenceless Image Spatial Quality Evaluator*) [6]. Код ове мере се не детектује одређен тип дисторзије који се јавља на слици као што су замагљивање или блоковски ефекат, што је најчешћи случај када су у питању мере без референцирања [7]. Уместо тога, користи се модел статистике слике природне сцене (*Natural Scene Statistics*, NSS) на основу локалних, нормализованих коефицијената луминенсе, да би се одредила количина статистичке природности (*Statistic Naturalness*) слике. Услед присуства дисторзије долази до губитка "природног" у слици, па се на основу тога може проценити квалитет деградираних слике.

Природно, слике су мултивеличинске. Приликом деградације, промене на некој од скала утичу на структуру слике. Укључивањем информација из више скала приликом процене квалитета слике, постижу се бољи резултати у смислу корелације са људском перцепцијом. Стога су издвојене карактеристике кроз две скале, скалу оригиналне слике и скалу исте слике са смањеном резолуцијом. На тај начин, свих 36 особина (18 за сваку скалу) се користе за идентификацију дисторзије како би се проценио квалитет.

BRISQUE представља статистички модел производа парова суседних луминентних вредности [6]. За прелазак из просторног домена у јединствену оцену квалитета користи се регресивни модул. Модел је генерализован, тако да је могуће коришћење било ког регресивног модула. У овом случају се користи SVR (*Support Vector Machine Regressor*).

За разлику од BRISQUE који је представник OA-DU (*Opinion-Aware Distortion-Unaware*), мера названа NIQE (*Natural Image Quality Evaluator*) [8] је представник OU-DU (*Opinion-Unaware Distortion-Unaware*), што практично значи да се приликом процене квалитета, код BRISQUE претходно врши процес обучавања, док се код мере NIQE то не чини.

NIQE врши процену квалитета у просторном домену, где се нормализовани коефицијенти рачунају на сличан начин као код BRISQUE [8]. Врши се израчунавање 36 статистика слике природне сцене, чије се карактеристике издвајају из делова слике блоковских димензија  $P \times P$  пиксела, на основу чега се врши анализа квалитета. Добијене вредности се уграђују у MVG (*Multivariate*

*Gaussian*) модел, који се упоређује са природним MVG моделом. Критеријум оштрине није примењен на ове делове слике зато што губитак оштрине деградираних слика наговештава дисторзију, а запостављање губитака оштрине води ка погрешној процени степена деградације. Димензија блока је подешена на  $96 \times 96$  пиксела. Стабилне перформансе метрике се постижу за димензије од  $32 \times 32$  до  $160 \times 160$  пиксела.

Квалитет слике са дисторзијом се изражава као:

$$D(v_1, v_2, \Sigma_1, \Sigma_2) = \sqrt{[(v_1 - v_2)^T (\frac{\Sigma_1 - \Sigma_2}{2})^{-1} (v_1 - v_2)]} \quad (2)$$

где су  $v_1$  и  $v_2$  вектори, а  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$  коваријансе матрица природног MVG модела и MVG модела деградираних слика, респективно.

### III. ТЕСТИРАЊЕ МЕРА НА ЈАВНО ДОСТУПНОЈ БАЗИ СЛИКА

Наведене мере су тестиране на једној јавно доступној бази мапираних HDR слика, уз постојање референтне HDR слике [5]. База се састоји од 15 HDR слика. Сlike су биране тако да репрезентују различите сцене унутрашњег и спољашњег окружења. На свакој од слика је примењено осам различитих техника мапирања и добијено осам нових слика. Приликом мапирања слика, коришћени су подразумевани параметри дефинисани одређеном техником мапирања. Двадесет испитаника је оцењивало мапиране слике. Испитаници су рангирани слике од најбоље до најлошије у сваком од 15 сета слика, дајући оцене од "1" (слика најбољег квалитета) до "8" (слика најлошијег квалитета). Коначно, узимана је средња вредност субјективне процене (*Mean Opinion Score*, MOS) за сваку од мапираних слика.

Перформансе примењених мера су оцењиване степеном корелације са субјективним перцепцијама помоћу линеарне корелације (*Pearson Linear Correlation Coefficient*, PLCC) и корелације рангова (*Spearman Rank Order Correlation Coefficient*, SROCC). У табели I су приказани резултати добијени тестирањем метрика на комплетној бази слика. Најбољи резултати се постижу мером TMQI, која је изворно настала за евалуацију мапираних HDR слика. Преостале две мере дају међусобно сличне резултате, где је поклапање субјективних и објективних скорова око 50%. Нешто боље резултате даје мера NIQE и то само за поједине димензије блока.

С обзиром на начин субјективног оцењивања слика, извршена је и анализа поклапања субјективних и објективних скорова за сваку слику посебно, а након тога је прорачуната средња вредност. Резултати су представљени у табели II. Као и у претходном случају, највећи степен корелације има TMQI метрика. Мере без референцирања на овај начин достижу вредности корелације око 60%. Када се посматра линеарна корелација, у овом случају мера BRISQUE даје нешто боље резултате у односу на меру NIQE.

ТАБЕЛА I  
СТЕПЕН КОРЕЛАЦИЈЕ СУБЈЕКТИВНИХ И ОБЈЕКТИВНИХ СКОРОВА КВАЛИТЕТА  
ТЕСТИРАНИХ МЕТРИКА НА КОМПЛЕТНОЈ БАЗИ СЛИКА

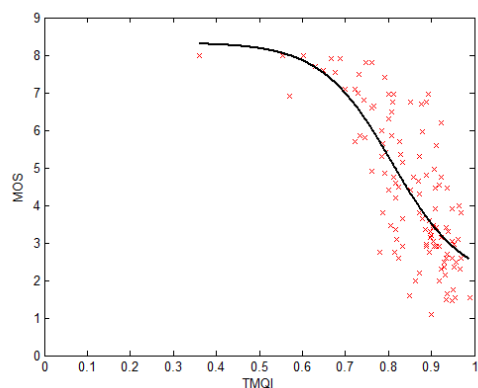
Метрика	PLCC	SROCC
TMQI	0.7467	0.7407
BRISCUE	0.5108	0.4710
NIQE 32x32	0.5124	0.4729
NIQE 48x48	<b>0.5406</b>	0.4940
NIQE 96x96	0.4584	0.4966
NIQE 120x120	0.5233	<b>0.5004</b>
NIQE 160x160	0.4360	0.4518

ТАБЕЛА II  
СРЕДЊЕ ВРЕДНОСТИ КОРЕЛАЦИЈА СУБЈЕКТИВНИХ И ОБЈЕКТИВНИХ СКОРОВА  
КВАЛИТЕТА ТЕСТИРАНИХ МЕТРИКА НА СВАКОЈ ОД СЛИКА

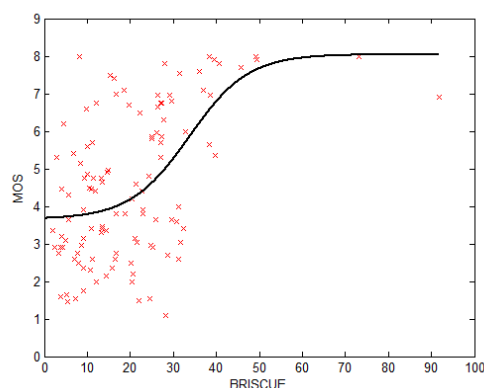
Метрика	PLCC	SROCC
TMQI	0.7977	0.8058
BRISCUE	<b>0.6684</b>	0.5732
NIQE 32x32	0.6347	0.5828
NIQE 48x48	0.6375	<b>0.6289</b>
NIQE 96x96	0.6248	0.5788
NIQE 120x120	0.5829	0.5367
NIQE 160x160	0.5863	0.6224

На слици 1 је приказан однос субјективних и објективних скорова кроз дијаграме расипања. На сва четири дијаграма се уочава да објективне мере за велики број слика из базе показују да су веома високог квалитета. То је најизраженије у случајевима коришћења мере NIQE где су вредности процењеног квалитета у опсегу од 0 до 20 (слика 1 (в) и (г)), иако мера за слике лошијег квалитета нема горњу границу. Мера BRISCUE има скалу процене од 0 (слика најбољег квалитета) до 100 (слика најлошијег квалитета). И овде највећи број скорова не прелази вредност 50 (слика 1 (б)), што говори да је највећи број слика доста високог квалитета. За разлику од мера без референцирања, TMQI има нешто правилнији распоред скорова, што је и очекивано с обзиром на степен поклапања субјективних и објективних процена квалитета. Ипак, и у овом случају је већина слика доброг квалитета (слика 1 (а)), како је највећи број вредности сконцентрисан у опсегу од 0.7 до 1.

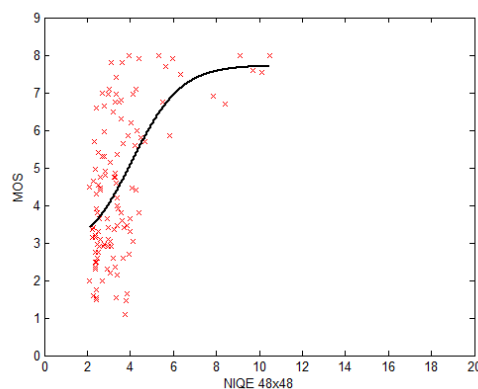
Мапиране слике немају карактеристичне деградације као што су замагљивање, блоковски ефекат или различити типови шума. Код мапираних HDR слика губитак информације се јавља само због смањења броја бита за приказ сваког пиксела са 32 бита (највиши коришћени динамички опсег) на уобичајених 8 бита по пикселу за сваки од колор канала. На тај начин долази до губитка детаља у слици. Начин и количина губитака детаља зависи од алгоритма за мапирање [9] и количине осветљаја како у читавој HDR слици, тако и у њеним појединим регионима.



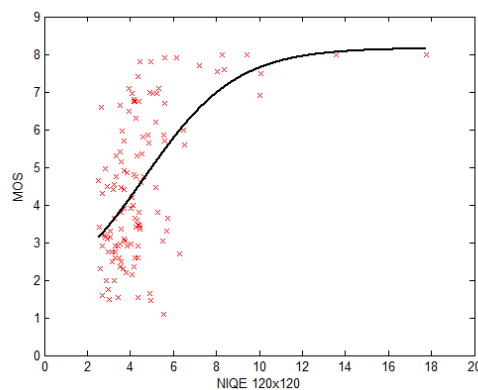
(а)



(б)

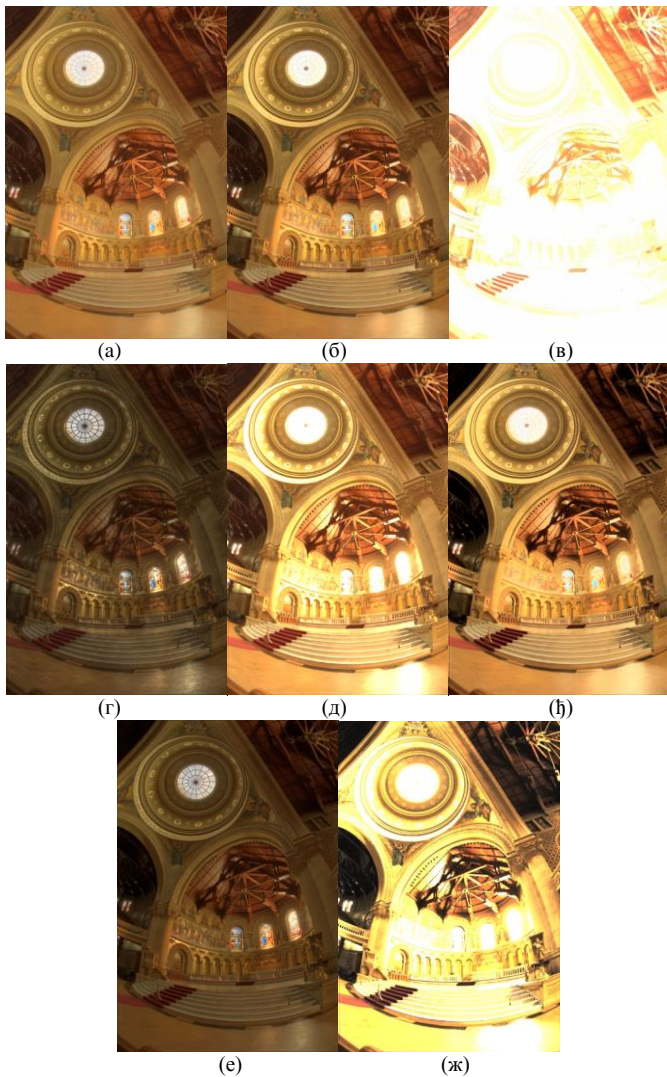


(в)



(г)

Сл. 1. Дијаграми расипања субјективних и објективних скорова



Сл. 2. Примери мапираних слика из јавно доступне базе слика.

Пример једне од HDR слика из коришћене базе, мапиране на осам различитих начина, приказан је на слици 2. На датом примеру се могу уочити разлике до којих долази услед примене различитих техника мапирања. У различитим регионима, слике имају различиту количину високих вредности осветљаја што доводи до губитка информација у слици. Превелика количина високих луминентних вредности може довести и до значајно лошег утиска о садржају слике, што је изражено на примеру слике 2 (в). С друге стране, на појединим сликама долази до губитака детаља због недовољне количине високих вредности осветљаја.

#### IV. ЗАКЉУЧАК

Док HDR системи не постану доступни широј популацији, постоји потреба да мапиране слике буду високог квалитета. Важност алгоритама за естимацију квалитета слике је из тог разлога веома велики. Посебно

су значајне мере без референцирања, јер у великом броју случајева не постоји изворна слика или се као у коришћеној бази слика референтна и мапирана слика значајно разликују у коришћеном динамичком опсегу.

У даљем раду је потребно извршити детаљнију анализу перформанси објективних метода за процену квалитета слике без референцирања на још неким од доступних база мапираних слика. Такође, треба посветити посебну пажњу алгоритмима за мапирање HDR слика. У оба случаја постоји још простора за побољшање крајњих резултата.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. Hanhart, M. V. Bernardo, A. M. Pinheiro, T. Ebrahimi, "Benchmarking of Objective Quality Metrics for HDR Image Quality Assessment," *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, vol. 39, no. 1, 2015.
- [2] P. Mohammadi, A. Ebrahimi-Moghadam, S. Shirani, "Subjective and Objective Quality Assessment of Image: A Survey," *Majlesi Journal of Electrical Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 55-83, 2014.
- [3] Б. Бонцулић, В. Петровић, М. Антонић, "Увод у објективну процену квалитета слике," 17. Конференција YUINFO, Копоник, Србија, стр. 462-467, 06.-09.03.2011.
- [4] Н. Стојановић, Б. Бонцулић, Д. Миклуц, "Процена квалитета слике анализом промене контраста," 21. Конференција YUINFO, Копоник, Србија, стр. 200-205, 08.-11.03.2015.
- [5] H. Yeganeh, Z. Wang, "Objective Quality Assessment of Tone-Mapped Images," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 22, no. 2, pp. 657-667, February, 2013.
- [6] A. Mittal, A. K. Moorthy, A. C. Bovik, "No-reference Image Quality Assessment in the Spatial Domain," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 21, no. 12, pp. 4695-708, December, 2012.
- [7] V. Kamble, K. M. Bhurchandi, "No-Reference Image Quality Assessment Algorithms: A Survey," *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, vol. 126, no. 11, pp. 1090-1097, May, 2015.
- [8] A. Mittal, R. Soundararajan, A. C. Bovik, "Making a "completely blind" image quality analyzer," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 20, no. 3, pp. 209-212, 2013.
- [9] T. D. Mane, S. S. Tamboli, "Making Tone-Mapping Methods: A Survey," *International Journal of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 8, no. 1, pp. 606-611, 2016.

#### ABSTRACT

A comparative analysis of objective quality assessment methods of low dynamic range images obtained from high dynamic range images is described in the paper. We present the three measures, one of which is aimed to estimate quality of Tone-Mapped images, while the remaining two are general no-reference measures. Measures have been tested on one of the public available image database. Performances of objective image quality assessment measures are presented through correlation with subjective scores.

#### Objective Quality Assessment of Tone-Mapped Images Comparison

Ivana Vukanić, Nenad Stojanović