

PROCENA SMANJENJA DINAMIČKOG OPSEGA SLIKE

Ana Gavrovska¹, Andreja Samčović²,

¹Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet, anaga777@etf.bg.ac.rs

²Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet, andrej@sf.bg.ac.rs

Sadržaj: *Vizuelizacija slike visokog dinamičkog opsega često podrazumeva preslikavanje vrednosti piksela tako da odgovaraju slici niskog dinamičkog opsega. Rezultat ovakve kompresije ne bi trebalo da utiče na prezentaciju slike na konvencionalnim displejima i dalju analizu mirne i pokretne slike. Redukcija dinamičkog opsega za posledicu može imati značajne razlike u kvalitetu slike u zavisnosti od metode kompresije, odnosno tonskog mapiranja, ali i sadržaja slike. U ovom radu su analizirane mogućnosti procene kvaliteta nakon smanjenja dinamičkog opsega, kao i uticaj šuma u kompresiji slika sa visokim dinamičkim opsegom.*

Ključne reči: *visoki dinamički opseg, kompresija, tonsko mapiranje, evaluacija kvaliteta, nereferentne metrike.*

1. Uvod

Mapiranje visoko dinamičkog sadržaja (HDR - *High Dynamic Range*) u niski dinamički opseg (LDR - *Low Dynamic Range*) predstavlja jedan od važnih zadataka za interpretaciju originalnih informacija i njihovu prezentaciju na standardnim (LDR) displej uređajima. Visoki dinamički sadržaj postaje sve dostupniji. Za potrebe mapiranja nivoa piksela mirne i pokretne slike koristi se termin tonskog mapiranja, a odgovarajući alati operatori tonskog mapiranja (TMO - *Tone Mapping Operator*) [1]. Iako je do sada prezentovan veliki broj različitih načina za mapiranje [1-5] i dalje se postavlja pitanje ocene smanjenja dinamičkog opsega [6-8]. U zavisnosti od potreba i preferenci pri interpretaciji podataka može se kvalitet objektivno oceniti sa različitih stanovišta.

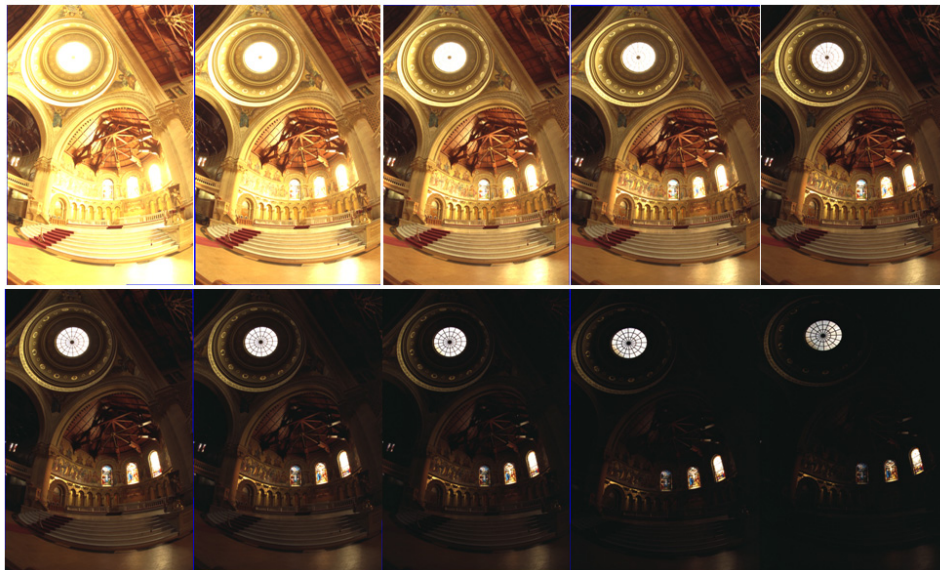
Ocene kvaliteta se često dovode u vezu sa postojanjem artefakata, reprodukcijom kolora, ali i ostalih karakteristika, kao što je umetnički doživljaj ili prirodnost same prezentacije [7]. Evaluacija kvaliteta se može zasnivati na fiziološkim eksperimentima i metrikama koje ocenjuju grešku, a koje opet mogu uključiti modelovanje vizuelnog sistema kod čoveka (HVS - *Human Visual System*). U tom smislu se definišu prioriteta, ali i sličnosti između HDR i LDR slika. Kako poređenje slika različitih dinamičkih opsega nije jednostavan zadatak neophodno je obaviti opsežna testiranja kako tehnika mapiranja, tako i metrika koje se koriste za evaluaciju [9-13]. Namenski sistemi i aplikacije bi mogli imati svoj procene smanjenja dinamičkog opsega. Pojedina mapiranja mogu dati rezultate drugačijeg kvaliteta u radu sa različitim vrstama slika [14-19]. Tako se mogu razlikovati slike za čiju akviziciju nisu korišćene standardne

kamere, odnosno koje nisu optičke. Slikama sa visokim dinamičkim opsegom mogu se smatrati i veštački generisane slike, kao i kompjuterizovane tomografije (CT - *computerized tomography*), SAR slike (*synthetic aperture radar*) [19], i sl. U pojedinim slučajevima poseban uticaj može imati šum. U ovom radu je dat pregled postojećih i često upotrebljivanih tehnika za ocenu kvaliteta pri smanjenju visokog dinamičkog opsega.

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom poglavlju su predstavljene osnove rada sa slikom visokog dinamičkog opsega. U trećem poglavlju ukratko su opisane standardne tehnike za redukciju dinamičkog opsega. Četvrto poglavlje je posvećeno metrikama koje se predlažu u literaturi. Neke od njih su analizirane u ovom radu. U petom poglavlju je prikazan deo dobijenih eksperimentalnih rezultata sa pretećom diskusijom. Najvažniji zaključci navedeni su u šestom poglavlju.

2. Visoki dinamički opseg slike

Osetljivost ljudskog vida pri različitom ambijentalnom osvetljenju je značajna. Upravo koncept adaptivnosti oka ka detaljima pri promenljivom osvetljenju (10^{-2} - 10^{-8} cd/m²) je osnovni koncept uključen u sisteme koji su zasnovani na HDR slici. Sadržaj visokog dinamičkog opsega je često rezultat fuzionih tehnika, kao što su tehnike "višestruke ekspozicije", gde je na slici 1 prikazan jedan od referentnih primera sa istom scenom i različitom ekspozicijom. Metode obrade slike mogu biti uključene u generisanje sadržaja visokog dinamičkog opsega, koji se može dobiti i izvornim HDR kamerama.

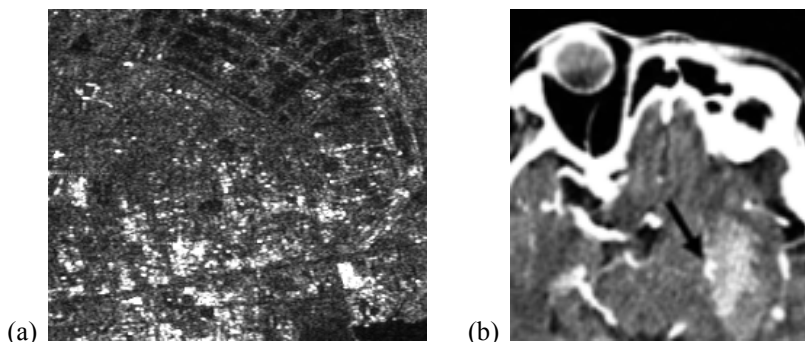


Slika 1. Poređenje iste scene snimljene sa različitom ekspozicijom (Stanford Memorial Church primer) [20].

Računarski generisan sadržaj koji odgovara visokom dinamičkom opsegu može biti takođe čest izvor ovakve vizualne informacije. Može se napraviti razlika između slike

koja odgovara vidljivom delom elektromagnetskog spektra i slike koja nije optička već je rezultat drugačije kompozicije. U tom smislu i nastaje najviše izazova, jer metode redukcije dinamičkog opsega nisu prilagođene uvek konkretnim namenama. Već pomenuti primeri SAR i CT slika mogu prevazilaziti osmобitnu prezentaciju nivoa intenziteta, odnosno mogu se smatrati HDR slikama. Ako bi se nivoi visokodinamičkog osega prikazali na uobičajen način sa osmобitnom kvantizacijom, pojedini delovi slike bi se prikazali istovetno. Na primer, iako postoje razlike u visokim intenzitetima piksela, varijacije između takvih piksela ne bi bile uočljive. Pomoću LDR slike nastale nakon smanjenja dinamičkog opsega se može značajno redukovati informacija koja se želela inicijalno preneti HDR sadržajem.

Kod SAR slika velike vrednosti intenziteta piksela mogu nastati usled veštačkih materijala, odnosno objekata koji su proizvod ljudske delatnosti. S obzirom da su ovakve slike pretežno tamne, potrebno je podesiti kontrast u svetlim i tamnim segmentima slike. Pod tamnim segmentima se podrazumevaju: vodene površine, šumoviti tereni, i sl., i obično su karakteristične teksture. Dodatno, šum otežava mapiranje pri ovakvim primerima, i to opisujemo kao efekat *speckle* šuma. Ovakva vrsta slika sadrži više šuma od standardnih optičkih slika, jer se za razliku od optičkih slika radarske i slične slike formiraju interakcijom talasa, odnosno zraka sa metama (mikotalasi, X zraci, itd.). Očuvanje detalja je potrebno i u tamnim i svetlim delovima slike.



Slika 2. Primeri (a) SAR i (b) CT slike.

Postavlja se pitanje izbora metoda za mapiranje, a posebno metrika u cilju evaluacije kvaliteta slika visokog dinamičkog opsega. Naime, trebalo bi odabrati adekvatne metrike za potrebe poređenja kvaliteta različitih metoda mapiranja. Ovakve metrike bi se koristile i za razvoj novih metoda za tonsko mapiranje i njihovu optimizaciju sa stanovišta odabira parametara. Odabir tehnika za procenu smanjenja dinamičkog opsega je ključan faktor u radu sa namenskim aplikacijama i sistemima.

3. Smanjenje dinamičkog opsega slike

Pod smanjenjem dinamičkog opsega slike se najčešće podrazumeva preslikavanje intenziteta piksela HDR slike u intenzitete nove LDR slike tako da odgovaraju sadržaju koji se može reprodukovati na standardnim LDR displejima. LDR displej uređaji mogu imati mogućnost reprodukcije slike visokog kontrasta (npr. odnosa 10000:1). Tonsko mapiranje upravo predstavlja preslikavanje vizuelne informacije iz

HDR domena u LDR domen. U skladu sa tim, razlikuju se operatori (TMO) koji se primenjuju za potrebe preslikavanja.

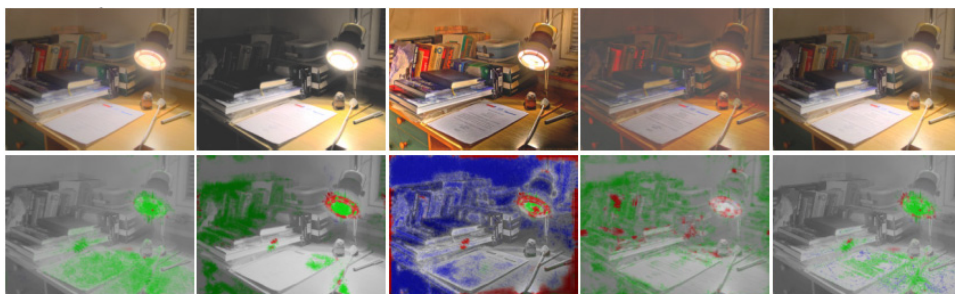
Najčešće se primenjuju osnovne nelinearne transformacije u cilju smanjenja dinamičkog opsega slike. Postojeći tonovi se mogu normalizovati na opseg [0,1] nekom nelinearnom transformacijom, a zatim i linearno mapirati na opseg [0, 255]. Ovo znači da se za te potrebe mogu koristiti: logaritamske, eksponencijalne, stepene ili slične funkcije, kako bi se dobio sadržaj prilagođen reprodukciji slike niskog dinamičkog opsega.

Preslikavanja za potrebe tonskih mapiranja mogu biti dobijena empirijskim tehnikama (npr. kvantizacionim tehnikama), ili mogu biti blisko u vezi sa fiziološkim eksperimentisanjima i percepcijom, kao što je to često u multirezolucijskim pristupima [1]. Operatori za potrebe tonskog mapiranja se mogu razlikovati kao globalni i lokalni, gde se kod globalnih upotrebljava isti operator na sve elemente slike, odnosno piksele. Lokalni pristupi podrazumevaju prilagođenje okruženju, tj. susednim pikselima čije vrednosti učestvuju u generisanju vrednosti LDR slike. Operatori se mogu prilagoditi i: rezultatima segmentacije, izračunavanju gradijenata, kao i različitim domenima (npr. frekvencijskom, vremenskom).

Postoje različite metode koje su do sada razvijene za potrebe tonskog mapiranja, osim standardnih. Među operatorima se nalaze: Reinhard *et. al.*, [2], Drago *et. al.* [22], Durand and Dorsey [23], Pattanaik *et. al.* [24], Fattal [5], i mnogi drugi. Efekti mapiranja nekih od njih su prikazani na slikama 3 i 4.



Slika 3. Poređenje rezultata tonskog mapiranja: Reinhard *et al.*, Durand & Dorsey, Fattal TMO sa unapred definisanim parametrima (sa leva na desno) [5].



Slika 4. Poređenje rezultata tonskog mapiranja sa pratećim mapama distorzije: Drago, Pattanaik, Fattal, Durand, Reinhard TMO (sa leva na desno) [21].

Ne treba zaboraviti da i jednostavne nelinearne transformacije treba prilagoditi mapiranju HDR sadržaja u LDR u cilju postizanja efikasnosti sistema. Ostavlja se pitanje

koje je mapiranje bolje i u kojim situacijama. Tonska mapiranja moraju biti funkcionalna i u slučaju jednostavnih manipulacija nad slikama (blur-ovana slika, izoštrena slika, ...).

Primena metoda za ocenu kvaliteta slike sprovodi se nakon mapiranja. Naime, sprovode se opsežne studije koje uključuju vizuelno poređenje slika od strane većeg broja subjekata. Koriste se i metrike greške koje uključuju modelovanje, odnosno simulaciju HVS-a. U slučaju ispitivanja subjekata, učesnici u fiziološkim eksperimentima rangiraju uzorke po kvalitetu, ocenjuju konkretni atribut na unapred određenoj skali sa prethodnom obukom, ili upoređuju po parovima uzorke sa nekim referentnim slikama. Ocene subjekata na osnovu fizioloških eksperimenata se često usrednjavaju (MOS – *Mean Opinion Score*). Međutim, važno je uspostaviti vezu između ovakvih ocena i objektivnih ocena koje se predlažu, kao i odnos između samih objektivnih ocena. U tu svrhu se koriste različite korelacione metode (Pearson-ov, Spearman-ov, Kendall-ov koeficijent korelacije, itd.), gde se može koristiti razlika ranga nekog modela u subjektivnim i objektivnim procenama ili prebrojavanje usaglašenih i neusaglašenih parova u raspoloživom skupu podataka.

Pored subjektivnih ocena, objektivne evaluacije se često koriste i njihova potreba je neminovna. Subjektivna ocena kvaliteta zahteva dodatne troškove, vreme i nije prilagođena automatizacijama koje su danas zastupljene u sistemima koji se zasnivaju na visokom dinamičkom opsegu. Određeni modeli karakteristika HVS-a se mogu uključiti i u metrike greške, odnosno objektivne metrike koje omogućavaju dodatne optimizacije metoda mapiranja i pratećih parametara. Mogu ukazivati na nestandardni sadržaj HDR slike.

Jedan primer ukazivanja na nestandardni sadržaj predstavljaju mape distorzije. Mape distorzije ukazuju na razliku između HDR sadržaja i LDR sadržaja kao rezultata mapiranja. Neke od njih su prikazane na slici 4. Kod mape distorzije gubici su obeleženi sa zelenom bojom. To su gubici koji nastaju jer mapiranje nije obezbedilo prenos detalja iz HDR domena u LDR, ili gde se previše redukovao dinamički opseg. Sa plavom bojom su obeleženi pikseli gde je došlo do pojačanja određenih vrednosti. Ovo ne mora voditi ka negativnim efektima distorzije. TMO može pojačati kontrast u pojedinim delovima, koji ni u HDR-u nije bio zanemarljiv, odnosno neuočljiv. Sa crvenom bojom obeleženi su delovi slike gde su verovatno nastale najveće promene. Detektovani segmenti mogu voditi ka detekciji potencijalnih halo efekata ili neprirodnih manifestacija (primer lampe na slici 4). U svakom slučaju, u ovim delovima slike kontrast koji je nastao nakon mapiranja ne odgovara u potpunosti HDR sadržaju i na ove delove bi trebalo obratiti posebnu pažnju sa stanovišta ocene kvaliteta.

4. Objektivna ocena kvaliteta

Razvoj IQA (*Independent Quality Assessment*) modela podrazumeva razvoj modela procene kvaliteta između HDR i LDR slike nakon mapiranja, odnosno procene koja ne zavisi od dinamičkog opsega. Objektivne metode u evaluaciji mapiranja nisu dovoljno istražene. Naime, poređenje slika različitog dinamičkog opsega nije jednostavno, i do sada se izdvojilo samo nekoliko metrika koje se koriste u literaturi.

Objektivna ocena kvaliteta najčešće podrazumeva upotrebu reference, koja nije uvek raspoloživa (FR - *Full Reference* metode). Sigurno je jedan od primarnih zadataka razvoj NR (*Non-reference*) metoda koje ne koriste ili koriste bar delimično neke osnovne attribute za potrebe rezultujuće LDR slike (PR - *Partially Reference*). U slučaju NR

metoda "original" sa kojim se može porediti dobijena slika ne postoji. Treba imati na umu da u slici nakon primene mapiranja možda nisu sadržane sve informacije koje postoje u HDR podacima.

Još jedan zadatak pri utvrđivanju kvaliteta jeste dobiti jednu numeričku vrednost koja ocenjuje ukupni kvalitet rezultujuće slike. Testiranja se obavljaju i u kontrolisanim uslovima na referentnim slikama, ali i za realne primere (npr. analiza artefakata usled pomeranja kamere u realnim slučajevima – *motion blur*). Postojanje jedne numeričke vrednosti, koja bi predstavljala procenu ukupnog kvaliteta, bi omogućilo jednostavan rad i pri realizaciji novih metoda: tonskih mapiranja, fuzija slike i sl. Neefikasan rad modela procene i osetljivost na greške se oslanja na analizu degradacije kao sa konkretnim tipom greške. To je jedan od razloga zašto se pojavila nova filozofija, gde se, pre svega, daje prednost informaciji o strukturi koju prikuplja HVS [6].

Posmatrač ne mora biti upoznat sa činjenicom da se sve informacije iz HDR-a nisu prenele u LDR sliku, pa se insistira na očuvanju vernosti postojećih struktura, ali i prirodnosti u samoj slici. Ova dva faktora mogu biti konkurentna. Pravilna kombinacija postojećih metoda za ocenu kvaliteta može dovesti do razvoja novih. Tako se nedavno kombinacijom SSIM (*structural similarity index*) i NSS (*natural scene statistics*) pristupa definisao jedan od efikasnijih indeksa, pod nazivom TMQI (*Tone Mapped Image Quality Index*) [10]. Ovaj indeks je zasnovan na: S - meri multirezolucione verodostojnosti (*multiscale signal fidelity measure*) koja je bazirana na modifikovanom SSIM indeksu i N - meri prirodnosti (*naturalness*) koja je bazirana na statistici intenziteta. Kao rezultat se dobija jedna vrednost konačne ocene kvaliteta Q (TMQI). Indeks SSIM je definisan u [25] kao:

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)} \cdot \frac{(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)}, \quad (1)$$

gde su μ_x i μ_y srednje vrednosti intenziteta, a σ_x , σ_y i σ_{xy} standarne devijacije i kroskorelacija ulaza x i y . Razlika u odnosu na (1) je što se nova mera strukture S (SSIM) u [10] definiše lokalno kao:

$$S_{local}(x, y) = \frac{2\sigma'_x\sigma'_y + C_1}{\sigma_x'^2 + \sigma_y'^2 + C_1} \cdot \frac{\sigma_{xy} + C_2}{\sigma_x\sigma_y + C_2}, \quad (2)$$

gde su konstante empirijski određene ($C_1=0.01$, $C_2=10$), dok su σ' vrednosti dobijene na osnovu nelinearnog mapiranja σ u skladu sa vizuelnom osetljivošću (CSF-*contrast sensitivity function*). U svakoj skali l (ukupno $L=5$ skala) se usrednjavaju ocene lokalnih blokova:

$$S_l = \frac{1}{N_l} \sum_{i=1}^{N_l} S_{local}(x_i, y_i), \quad S = \prod_{l=1}^L S_l^{\beta_l}, \quad (3)$$

gde je $\{\beta_l\} = \{0.0448, 0.2856, 0.3001, 0.2363, 0.1333\}$ u skladu sa fiziološkim eksperimentima. Na osnovu nekoliko hiljada slika mera prirodnosti N je definisana kao:

$$N = \frac{1}{K} P_m P_d, \quad \text{gde je } P_m(m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_m} \exp\left[-\frac{m - \mu_m}{2\sigma_m^2}\right], \quad P_d(d) = \frac{(1-d)^{\beta_d-1} d^{\alpha_d-1}}{B(\alpha_d, \beta_d)} \quad (4)$$

na osnovu modelovanja histograma srednjih vrednosti i standardnih devijacija prirodnih

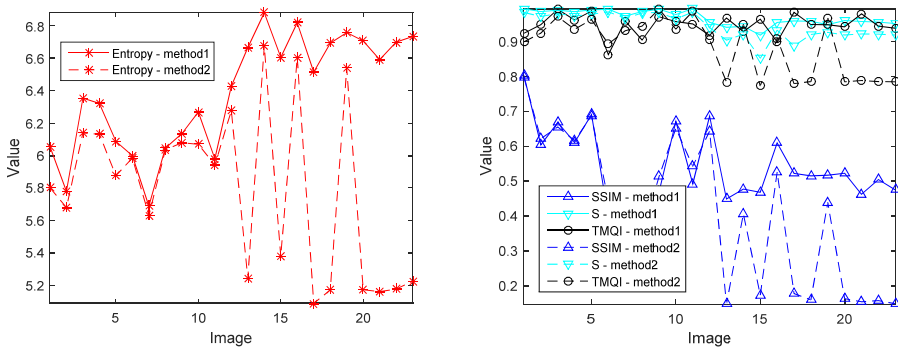
slika pomoću Gausovske i Beta raspodele, respektivno ($K=\max(P_m, P_d)$). Ukupna ocena kvaliteta TMQI se opisuje kao:

$$TMQI(x, y) = k[S(x, y)]^{\alpha} + (1 - k)[N(x, y)]^{\beta} \quad (5)$$

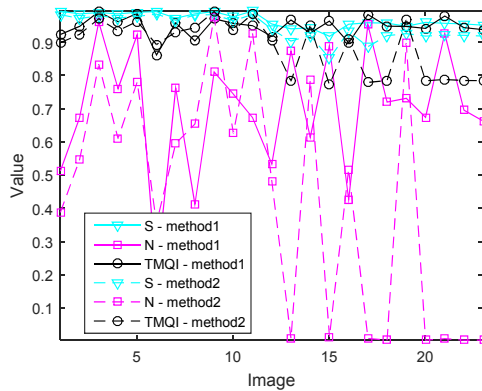
gde su k, α, β utvrđene testiranjem (0.8012, 0.3046, 0.7088, respektivno).

5. Eksperimentalni rezultati

U dosadašnjim analizama koje se uključivale analize JPEG-XT kompresije [26] i mapa fiksacija [27] radilo se isključivo sa optičkim slikama. Ovde su prikazani neki od eksperimentalnih rezultata nad SAR slikama. Poređene su: vrednosti entropije kao NR metrike, kao i vrednosti SSIM, S, N i TMQI indeksa opisanih izrazima (1)-(5). Na dvadeset i tri primera su mere procene redukcije dinamičkog opsega izračunate. Rezultati su prikazani na slikama 5 i 6 za dve metode tonskog mapiranja. Metoda 1 je metoda predložena u [28], dok je metoda 2 standardno logaritamsko tonsko mapiranje.

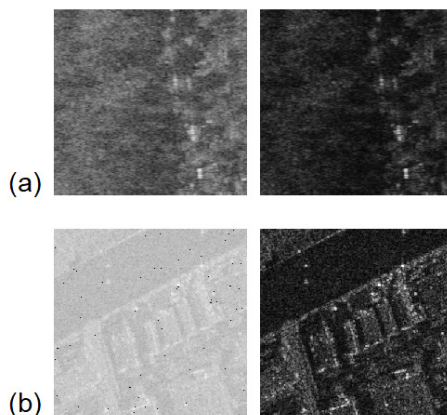


Slika 5. Poređenje: entropije (levo) i mera struktura (desno) za dva tonska mapiranja.



Slika 6. Poređenje S, N i ukupne procene TMQI za dva tonska mapiranja.

Na slici 7 su primeri ruralnog (a) i urbanog područja (b), gde je očigledna neprirrodnost u statistici trinaestog primera i logaritamskog mapiranja. Odabir tonskog mapiranja je važan, jer je uticaj šuma veliki. Odabiri metrika su se u ovom slučaju pokazali efikasnim u skladu sa vizuelnom interpretacijom.



Slika 7. (a) Treći i (b) trinaesti primer za metodu 2 (levo) i metodu 1 (desno).

6. Zaključak

U ovom radu su objašnjene osnove mapiranja HDR slike za potrebe reprodukcije slike na standardnim displej uređajima. Posebna pažnja posvećena je metrikama za procenu kvaliteta redukcije dinamičkog opsega. Metrike za potrebe namenskih sistema i aplikacija su do sada retko analizirane za potrebe neoptičkih slika. Posebno su zahtevne slike sa karakteričnim šumom, kao što je to slučaj sa SAR slikama. Razmatrane su neke od postojećih metoda za evaluaciju kompresije opsega intenziteta piksela. Dalja analiza ovakvih metrika je neophodna u cilju dobijanja što boljih rezultata mapiranja i prenosa vizuelne informacije sadržane u HDR slikama.

Zahvalnica. Autori se zahvaljuju prof.dr Valery Starovoitov-u na upoznavanju sa radom na SAR slikama i sugestijama. Rezultati prikazani u ovom radu su dobijeni u okviru projekta bilateralne saradnje Univerziteta u Beogradu i Nacionalne akademije nauka Belorusije i projekta TR32048.

Literatura

- [1] F. Banterle, A. Artusi, K. Debattista, and A. Chalmers: „*Advanced high dynamic range imaging: theory and practice*“, CRC Press, 2011.
- [2] E. Reinhard, M. Stark, P. Shirley, and J. Ferwerda: „Photographic tone reproduction for digital images“, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 21(3), pp 267-276, ACM, 2002.
- [3] G. W. Larson, H. Rushmeier, and C.Piatko: „A visibility matching tone reproduction operator for high dynamic range scenes“, *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 3, no. 4, pp 291-306, 1997.
- [4] R. Fattal, D. Lischinski, and M. Werman: „Gradient domain high dynamic range compression“, *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, vol. 21(3), pp 249-256, ACM, 2002.
- [5] R. Fattal, "Edge-avoiding wavelets and their applications. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*", 28(3), p.22, 2009.

- [6] Z. Wang, A. Bovik, and L. Lu, "Why is image quality assessment so difficult," Proc. of 2002 *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2002)*, vol. 4, pp. 3313–3316, May 2002.
- [7] G. Eilertsen, R. Wanat, R. K. Mantiuk, and J. Unger, "Evaluation of tone mapping operators for hdr-video", *Computer Graphics Forum* vol. 32, no 7, pp. 275-284, 2013.
- [8] P. Mohammadi, A. Ebrahimi-Moghadam, and S. Shirani, "Subjective and objective quality assessment of image: a survey", *Majlesi J. Electr. Eng.* 9, pp. 55–83, 2015.
- [9] M. Lin, D. Chenwei, K. N. Ngan, and L. Weisi, "Recent advances and challenges of visual signal quality assessment", *China Communications* 10, no. 5, pp. 62-78, 2013.
- [10] H. Yeganeh and Z. Wang, "Objective quality assessment of tone-mapped images," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 22, no. 2, pp. 657–667, Feb 2013.
- [11] P. Hanhart, M. Bernardo, P. Korshunov, M. Pereira, A. Pinheiro, T. Ebrahimi: „HDR image compression: a new challenge for objective quality metrics“, *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, No. 9, pp 4177-4195, 2015.
- [12] P. Hanhart, M. Bernardo, P. Korshunov, M. Pereira, A. Pinheiro, T. Ebrahimi: „HDR image compression: a new challenge for objective quality metrics“, *Expert Systems with Applications*, Vol. 42, No. 9, pp 4177-4195, 2015.
- [13] L. Ma, C.W. Deng, K.N. Ngan, W.S. Lin, "Recent advances and challenges of visual signal quality assessment", *China Communications* 20 (5), pp. 62–78, 2013.
- [14] J. C. Curlander, "Utilization of spaceborne SAR data for mapping", *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing* 22, pp. 106– 112, 1984.
- [15] S. Hisanaga, K. Wakimoto and K. Okamura, "Tone mapping and blending method to improve SAR image visibility", *IAENG International Journal of Computer Science*, 38(3), pp.289-294, 2011.
- [16] J. B. Zhang, C. Wang, H. Zhang and F. Wu, "Adaptive intensity compression for high dynamic SAR image", *Proceedings of 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)*, pp. 497-500, 2014.
- [17] M. Lambers and A. Kolb, "Adaptive dynamic range reduction for SAR images". In *Proc. 7th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR)*, vol. 3, pp. 371–374, 2008.
- [18] B. Zhang, C. Wang, H. Zhang and F. Wu, "An adaptive two-scale enhancement method to visualize man-made objects in very high resolution SAR images." *Remote Sensing Letters* 6, no. 9, pp. 725-734, 2015.
- [19] Valery Starovoitov, "High Dynamic Range SAR Image Compression for Visualization", pp. 218-222, 2016.
- [20] P. E. Debevec, M. Jitendra, "Recovering high dynamic range radiance maps from photographs", In *ACM SIGGRAPH 2008 classes*, p. 31. ACM, 2008.
- [21] T.O. Aydin, R. Mantiuk, K. Myszkowski, H.P. Seidel, "Dynamic range independent image quality assessment", *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 27(3), p.69. 2008.
- [22] F. Drago, K. Myszkowski, T. Annen, and N. Chiba, "Adaptive logarithmic mapping for displaying high contrast scenes", *Computer Graphics Forum (Proc. of Eurographics)*, 24, 3, pp. 419–426, 2003.

- [23] F. Durand and J. Dorsey, "Fast bilateral filtering for the display of high-dynamic-range images", *ACM Transactions on Graphics (Proc. SIGGRAPH)*, 21, 3, pp. 257–266, 2002.
- [24] S. N. Pattanaik, J.E. Tumblin, H. Yee, and D. P. Greenberg, "Time-dependent visual adaptation for fast realistic image display", In Proc. of ACM SIGGRAPH 2000, pp. 47–54, 2000.
- [25] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli. "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity." *IEEE transactions on image processing*, 13, no. 4, pp. 600-612, 2004.
- [26] A. Gavrovska, A. Samčović, "Mogućnosti unapređenja kvaliteta slike i videa viokog dinamičkog opsega," XXXIV Simpozijum o novim tehnologijama u poštanskom i telekomunikacionom saobraćaju, PosTel 2016, Beograd, 29-30. novembra str. 265-274, 2016.
- [27] A. Gavrovska, I. Reljin, A. Samčović, V. Starovoitov, and M. Milivojević, "Comments on Human Visual Attention in High Dynamic Range Images," *Proceedings of the 4th International Conference on Electrical, Electronic and Computing Engineering IcETRAN 2017*, EK(I)2-1-4, Kladovo, Serbia, June 5-8, 2017.
- [28] A. Gavrovska, I. Reljin, A. Samčović, M. Milivojevic, G. Zajić, and V. Starovoitov, "On Luminance Reduction in High Dynamic Range Synthetic Aperture Radar Images," *25th Telecommunications forum TELFOR 2017*, Belgrade, Serbia, November 21-22, 2017. (to be published)

Abstract: *Visualization of high dynamic range image usually includes mapping of pixel values to correspond to low dynamic range. The result of this compression should not affect image presentation by conventional displays and any further analysis of the images - still or moving. Dynamic range reduction can result in significant differences in image quality depending on the compression method, like tone mapping, and the image content. In this paper we analyzed the possibilities of quality evaluation after dynamic range reduction and the noise effects found in high dynamic range image compression.*

Keywords: *high dynamic range, compression, tone mapping, quality evaluation, non-reference metrics.*

EVALUATION OF IMAGE DYNAMIC RANGE REDUCTION

Ana Gavrovska, Andreja Samčović