

MOGUĆNOSTI UNAPREĐENJA KVALITETA SLIKE I VIDEA VISOKOG DINAMIČKOG OPSEGA

Ana Gavrovska¹, Andreja Samčović²

¹Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet

²Univerzitet u Beogradu – Saobraćajni fakultet

Sadržaj: *Postoje brojni izazovi u procesiranju i vizuelizaciji mirne slike i videa visokog dinamičkog opsega. Jedan od osnovnih zadataka je očuvanje vizuelnih detalja i dobijanje zadovoljavajućih rezultata u reprodukciji i kompresiji slike visokog dinamičkog opsega. U ovom radu predstavljene su mogućnosti unapređenja kvaliteta slike visokog dinamičkog opsega sa stanovišta tonskog mapiranja i očuvanja gradijentnih promena.*

Ključne reči: *visoki dinamički opseg, kompresija, kvalitet slike i videa, tonsko mapiranje, percepcija.*

1. Uvod

Poslednjih godina svedoci smo velikog porasta snimanja, prenosa i memorisanja digitalnih vizuelnih informacija, kako slika tako i video zapisa. Sa sve većom upotrebom ručnih pametnih uređaja očekuje se eksponencijalni razvoj mobilnog video saobraćaja u narednim godinama. Neke od popularnih aplikacija koje uključuju vizuelne informacije su sajtovi za striming, kao što su *YouTube*, televizija visoke rezolucije (*High Definition Television - HDTV*), video-na-zahtev servisi kao što su *Netflix* i *Hulu*, digitalni bioskop i drugi. Recimo, u proseku se godišnje samo na Fejsbuk postavi 350 miliona fotografija, dok *YouTube* ima preko milijardu korisnika, što je približno trećina svih korisnika interneta. Treba napomenuti da se video saobraćaj ne sastoji samo od slika i video zapisa snimljenih optičkim kamerama, već i od sadržaja generisanih pomoću računarske grafike, kao što su crtani filmovi ili video igre. Sa druge strane, zajedničko korišćenje prirodnog i sintetičkog sadržaja postaje sve više popularno zahvaljujući aplikacijama proširene realnosti (*Google naočare*).

Svet multimedije se suočava sa varijetetom prikazivanja slika, podržavajući realističnu percepciju sadržaja i nove nivoe kvaliteta na osnovu iskustva (*Quality of Experience - QoE*). Trend je započeo sa uvođenjem trodimenzionalnih (3D) uređaja na tržište, koji pružaju percepciju dubine slike, zatim sa slikama ultra visoke rezolucije, gde je akcenat na visokoj rezoluciji piksela. Pored slika sa standardnim dinamičkim opsegom (*Standard Dynamic Range - SDR*) od nedavno snimaju se i slike sa visokim dinamičkim opsegom (*High Dynamic Range - HDR*) [1]. Dinamički opseg slike može da se definiše

kao odnos između njenog najsvetlijeg i najtamnijeg dela. Visoki dinamički opseg omogućava bolju percepciju detalja u oba dela slike i rezultate koji odgovaraju realnom osvetljenju. Očekuje se da HDR slike predstavljaju korak napred za multimedijalne tehnologije na potrošačkom tržištu. Na primer, servisi za video striming kao što je *Amazon Instant Video*, podržavaju striming HDR video signala. Novi displeji i kamere bi trebalo da podržavaju reprodukciju HDR video sadržaja. Naravno, za očekivati je da filmska industrija i industrija video igara učestvuju u podršci ovim tehnologijama. HDR je već sastavni deo karakteristika medicinske imidžing opreme, dok se očekuje kao sastavni deo i 4k/ultra HD televizijskih servisa, zajedno sa većom prostornom rezolucijom (obično 3840 x 2160), širokim kolor gamutom (BT. 2020/2100) i većim brojem frejmova u sekundi (120 Hz).

Pri arhiviranju i distribuciji, odnosno emitovanju HDR sadržaja, tehnike kompresije zauzimaju važnu ulogu s obzirom na memorijske zahteve ovakvog sadržaja i postojeće performanse telekomunikacionih sistema, odnosno protoka. Ne samo da tehnike kompresije novih generacija moraju da smanje količinu podataka za skladištenje i prenos, već se mora postići minimalni uticaj na kvalitet slike sa stanovišta percepcije. Percepcija i subjektivni kvalitet slike pokreću razvoj multimedijalnih i video tehnologija poslednjih godina, ali i razvoj sistema poslednjih generacija koji rade sa ovakvim sadržajem. Zadovoljavajući rezultati u reprodukciji i kompresiji HDR slike podrazumevaju očuvanje kvaliteta slike s obzirom da osvetljenje, odnosno luminansa, utiče na unapređeno sagledavanje detalja u odnosu na manji dinamički opseg slike, pa samim tim i artefakata koji mogu nastati u ograničavajućim okolnostima. Zahvaljujući navedenim razlozima, kako bi HDR sadržaj bio prihvaćen, izazovi reprodukcije i kompresije su veoma aktuelni u istraživanjima poslednjih godina, što je rezultiralo JPEG XT ekstenzijom [2].

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom poglavlju su predstavljene osnovne imidžinga visokog dinamičkog opsega, generisanja HDR slike i tonskog mapiranja. U trećem poglavlju razmatrana je HDR kompresija i JPEG XT softver. Rezultati testiranja percepcije korisnika predstavljani su u četvrtom poglavlju. Zaključne napomene i smernice za dalja istraživanja data su u petom poglavlju.

2. Imidžing visokog dinamičkog opsega

Sistemi sa visokim dinamičkim opsegom podrazumevaju akviziciju (snimanje) slika kod kojih su predstavljene sve informacije o osvetljenju u okviru vidljivog dela scene, čak i u ekstremno lošim uslovima osvetljenja. Još od prvog dokaza procesa dobijanja fotografije francuskog pronalazača *Joseph Nicéphore Niépce-a* 1826. godine postojala je težnja za zapisivanjem istih detalja koje sagledava ljudsko oko. Međutim, jedan od osnovnih izazova predstavlja verni prikaz širokog opsega osvetljenja koji odgovara čulu vida, odnosno obuhvatanje kompletnog dinamičkog opsega i kolor gamuta doživljenog od strane ljudskog vizuelnog sistema.

Adaptacija ljudskog vida na osvetljenje u realnom okruženju se prenosi na HDR tehnologiju kako bi se u slabo osvetljenom i suviše osvetljenom okruženju detalji na slici jasno prikazali, što bi dalje omogućilo poboljšanje estetskog kvaliteta prikaza slike. Na Slici 1 prikazane su dve slike iste scene snimljene različitim ekspozicijama (izlaganjem senzora osvetljenju).

HDR tehnologija se odnosi na akviziciju, vizuelizaciju, skladištenje, prenos i obradu HDR slike. Neke od osnovnih opštih karakteristika HDR slika i HDR sistema u poređenju sa standardnim (SDR - *Standard Dynamic Range*), odnosno niskim dinamičkim opsegom (LDR - *Low Dynamic Range*) prikazane su u Tabeli 1. Brojne aplikacije mogu da imaju prednosti ukoliko primene sisteme za HDR slike. Na primer, HDR slike mogu da se koriste za poboljšanje kvaliteta na osnovu iskustva kod multimedijalnih aplikacija [3], ili recimo kod aplikacija vezanih za bezbednost gde uslovi osvetljenja ne mogu da se kontrolišu [3, 4]. Aplikacije treba prilagoditi radu sa mirnom slikom (HDRi) i videom (HDRv).



Slika 1. Poređenje iste scene snimljene sa različitom ekspozicijom (*Belgium_House*).

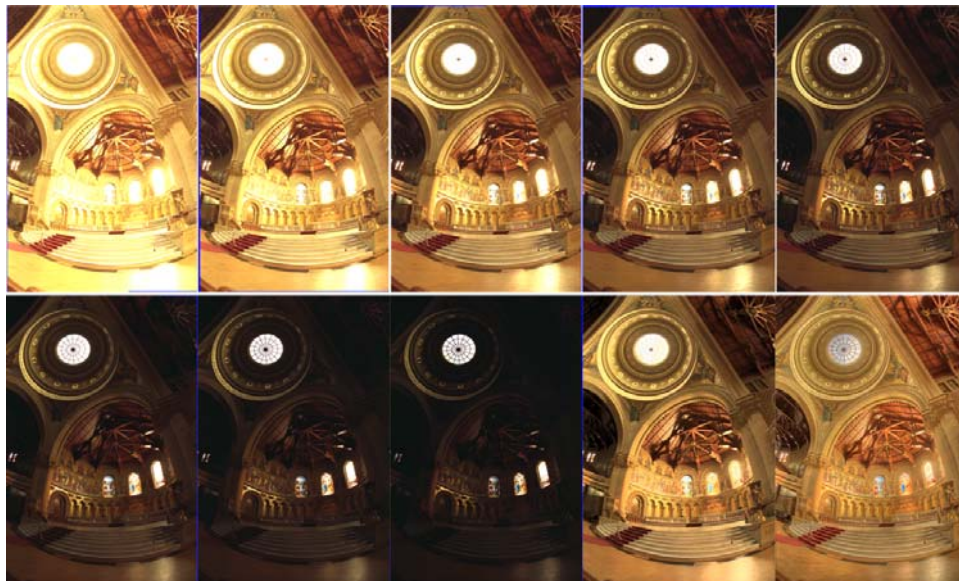
Tabela 1. *Kvalitet HDR slike.*

Kvalitet kontrasta i boje	SDR	HDR
Dinamički opseg kamere	~50 dB	~120 dB
Kontrast displeja	~1:200	~1:15.000
Kolor gamut	Ograničen za potrebe reprodukcije kolora	<i>Wide-gamut</i> i reprodukcija zasićenih boja
Reprezentacija slike	Orijentisana ka displeju i njegovim ograničenjima	Orijentisana ka sadržaju i sceni sa vernošću prikaza koji odgovara ljudskom vidu

2.1. Generisanje i vizuelizacija HDR slike

Postoje različite metode za dobijanje HDR slike. Recimo, računarsko renderovanje kao metod preuzet iz računarske grafike za manipulisanje slikom, ili višestruko spajanje (fuzija) slika sa nižim dinamičkim opsegom snimljenih pri različitim ekspozicijama, su metode prvobitno korišćene za formiranje HDR slika. Npr. najčešće upotrebljavana tehnika je tehnika višestruke ekspozicije (*multi-exposure technique*), koja se odnosi na poboljšanje kvaliteta slike kroz isticanje detalja koji nisu vidljivi usled ekspozicije. Primeri HDR slika nastalih spajanjem LDR slika sa različitim ekspozicijama dati su na Slici 2 [5, 6]. Radom u gradijentnom domenu luminentne komponente i pojačavanjem magnituda većih devijacija moguće je generisati zadovoljavajuću HDR sliku izbegavajući artefakte, kao što su halo efekti i gubici lokalnog kontrasta [6]. Direktan, ali

za sada i skuplji izbor je upotreba kamera sa posebnim sensorima koji omogućavaju značajno viši odnos signal-šum (*Signal-to-Noise Ratio, SNR*). Osim manipulisanja HDR formatom moguće je koristiti i izvornu HDR kameru (*SpheronVR* kamera, *Sony F65*, *AMP HDR* kamera, itd.).



Slika 2. LDR slike sa različitim ekspozicijama i generisane HDR slike (*memorial.hdr* - *Stanford Memorial Church, Paul Debevec*). Poslednje dve slike su HDR slike dobijene metodama *G. W. Larson et. al [5]* i *R. Fattal et. al [6]*, respektivno.

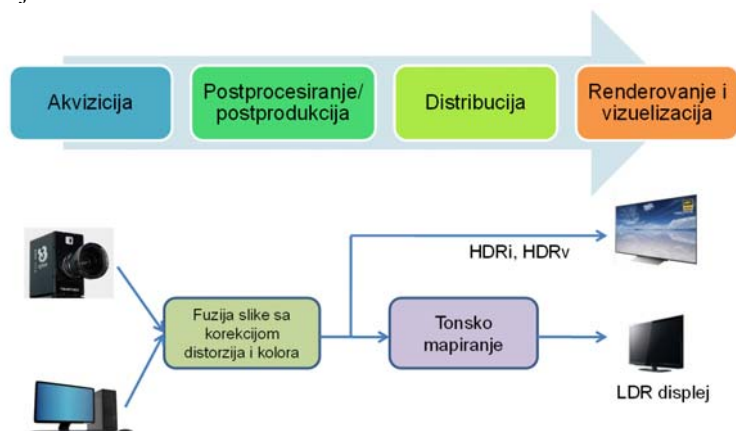
Činjenica da HDR slike pružaju visoki kvalitet slike doprinela je poslednjih godina značajnim naporima za razvoj HDR displeja, kao i tehnologija snimanja HDR slika. Generisanje HDR vizuelnih sadržaja privuklo je pažnju kako od strane profesionalaca, tako i od korisnika koji nisu eksperti na tom polju. Kombinovanje standardnih slika sa višestrukim ekspozicijama je uobičajeni način za produkciju HDR sadržaja. Slike se tada kombinuju sa težinskim funkcijama, pri čemu te funkcije zavise od vremena ekspozicije. Pri tome se koriste linearne funkcije kako bi se otklonile nelinearnosti koje potiču od fotografske opreme.

Savremene metode uključuju posebne senzore za slike. Postoje dva načina za vizuelizaciju kod HDR slika. Prvo i najbolje rešenje je korišćenje specifičnog HDR displeja koji ima mogućnost predstavljanja šireg opsega luminanse i kolor gamuta. Drugo rešenje je da se HDR slika prevede u konvencionalan LDR displej pomoću tehnike koja se naziva operator sa tonskim mapiranjem (*Tone Mapping Operator - TMO*). Tonsko mapiranje prilagođava HDR sadržaj prema displejima opreme, najčešće LDR displejima. U zavisnosti od opreme i proizvođača, hdr režim rada se razlikuje, ali i dalje ima brojne primene. Na Slici 3.(a) prikazan je primer ldr i hdr režima rada upotrebom kamere iPad3 tableta. Mogućnost izoštravanja i prikazivanja detalja koji se ne vide za određenu ekspoziciju je jednostavno uočiti kako u tzv. *over-exposed*, tako i u tzv. *under-exposed* segmentima slike (za primer nadzora), prikazanim na Slici 3.(a)-(b), respektivno.



Slika 3. (a) LDR (levo) i HDR (desno) režim snimanja. (b) Mogućnost izoštravanja i prikazivanja detalja koji se ne vide za unapred određenu ekspoziciju.

Obično se pod LDR sistemom podrazumeva da može da upotrebljava 8 bita (ili manje) po kolor kanalu po pikselu [1]. U LDR lancu nakon HDR akvizicije realnog ili računarski generisanog sadržaja, primenjuje se tonsko mapiranje koje dalje prati 8-bitsko (LDR) kodovanje i dekodovanje, odnosno LDR displej na kraju lanca. Sistem za distribuciju u HDR lancu uključuje kodovanje i dekodovanje u HDR domenu (10, 12 ili 16 bita) i direktnu reprodukciju slike na HDR displeju sa mogućnošću primene tonskog mapiranja na LDR prijemniku. HDR proces i distribucija sadržaja u HDR lancu ilustrovana je na Slici 4.



Slika 4. HDR proces i distribucija sadržaja u HDR lancu.

Pikseli HDR slike se najčešće predstavljaju u formatu jednostruke tačnosti (*single-precision binary floating point format*), odnosno gde se njihove vrednosti zapisuju pomoću 4B (32 bita). Ovo dalje znači da je za jedan nekomprimovani HDR piksel

potrebno 12B za prezentaciju tri R, G i B (*Red-Green-Blue*) kanala. Za jednu HD sliku ili frejm (1920x1080) potrebno je 24 MB. Čak i za malu brzinu promene frejmova, distribucija HDR sadržaja nije jednostavan zadatak uz očuvanje detalja kojim nekomprimovani HDR doprinosi kvalitetu slike. Najčešći formati su: *.exr* (*OpenEXR* RGB, 48 bita sa 16 bita po komponenti), *radiance* format *.hdr* (RGBE, 24 bita i dodatnih 8 bita za eksponent (E)), *LogLuv .tiff* formati i *.pfm* (*Portable Floatmap*). Količina HDR slika i video zapisa značajno raste, što dovodi do neophodnosti efikasnih standarda kompresije za HDR podatke.

2.2. Tonsko mapiranje

Tehnologija sjedinjavanja slika sa različitim ekspozicijama ima svoje nedostatke. Ukoliko postoje pokreti u sceni može doći do određenih artefakata, kao i usled pomeranja kamere prilikom snimanja sa različitim ekspozicijama. Prednost ovog pristupa je što nije neophodna dodatna modifikacija hardvera. Postoji mogućnost i korišćenja više optičkih uređaja za snimanje iste scene pomoću odgovarajućih prizmi i splitera svetlosti. Taj postupak omogućava dinamičko snimanje sadržaja, ali dodatni optički elementi otežavaju snimanje scene koja je slabije osvetljena.

Mapiranje tonova upotrebom TMO pruža vizuelni sadržaj višeg kvaliteta u poređenju sa tradicionalnim načinom vizuelizacije. Pri tome obrada slike postaje lakša i omogućava veći stepen slobode umetnicima i ekspertima u postupku post-produkcije. Korišćenje boja postaje kreativnije, podešavanje kontrasta i osvetljaja se obavlja jednostavnije. Navedeni postupak se koristi u digitalnoj fotografiji, kao i televizijskoj i filmskoj produkciji. U prilog tome govori podatak da su holivudski filmski studiji usvojili tu tehnologiju. Osim toga, veliki broj slika pod oznakom HDR može da se pronađe na internetu, recimo na sajtu za razmenu fotografija kao što je *Flickr*. Primer slike koja je snimljena standardnim postupkom, kao i HDR tehnologijom, a zatim tonski mapirana, prikazan je na Slici 5.



Slika 5. Vizuelizacija HDR slike i tonsko mapiranje pomoću: (a) linearnog preslikavanja, (b) Gama korekcije, (c) Reinhard TMO sa kolor korekcijom. (d) LDR slika u jpeg formatu i (e) slika sa primenjenim Reinhard TMO. (f) LDR slika i false color slika nakon primene inverznog tonskog mapiranja.

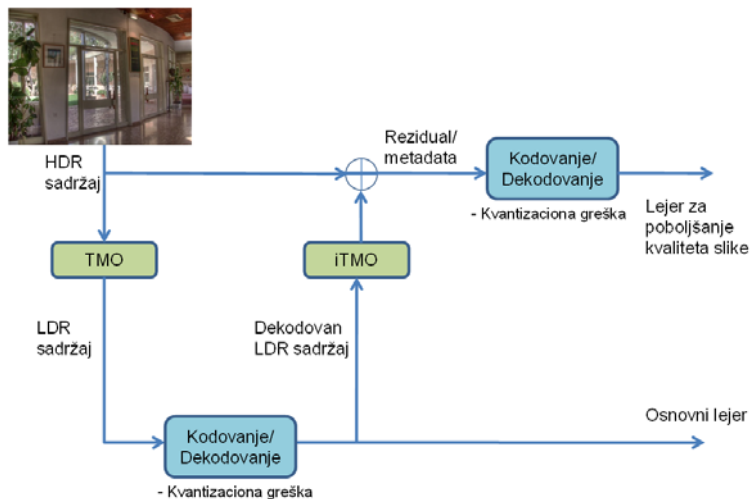
Reinhard TMO je jedan od najviše korišćenih algoritama [7, 8] za vizuelizaciju HDR slike. Razlog je bolja subjektivna ocena vizuelnog prikaza u odnosu na neke od standardnih metoda, Slika 5.(e).

TMO metode se uglavnom koriste za kompresiju opsega luminanse čuvajući kontrast za reprodukciju HDR slike na tipičnim displejima. Za razliku od njih, poslednjih godina dosta je bilo reči i o inverznim TMO (iTMO) [9]. S obzirom da je veći deo multimedije skladišten u LDR domenu postavilo se pitanje inverznih operatora koji bi omogućavali reprodukciju LDR sadržaja na HDR uređajima. Primer LDR slike i *false color* slike nakon primene inverznog tonskog mapiranja prikazan je na Slici 5.(f).

3. Kompresija HDR slike

Informacija koja doprinosi kvalitetu HDR slike dovodi do velikih datoteka. Zahvaljajući adekvatnom zapisu i *LogLuv* kodovanju minut HD sadržaja (1920x1080) sa 24 fps, sa 24 bpp *LogLuv* kodovanjem zauzima oko 8,3 GB. Jedan od primarnih ciljeva koji se tiče kompresije je prilagođavanje postojećih standarda (JPEG - *Joint Photographic Expert Group*, MPEG - *Moving Picture Expert Group*) HDR sadržaju. Iako postoje razmatranja za kompresiju HDR videa, kompresija mirne slike je i dalje veoma aktuelna, jer se može proširiti i na video. Posebno se ističu gradijentne promene u okviru slike, kao i sama tekstura slike i njena kompresija (rezidualna slika).

Ako se za potrebe kompresije koriste raspoloživi standardi, potrebno je opisati operatore za proširenja. Najčešće se primenjuje standardno LDR kodovanje i tonsko mapiranje, Slika 6. Osim tonskog mapiranja, memorisanje različitih ostataka/reziduala (npr. pri kvantizaciji) mogu omogućiti dobar rezultat pri kompresiji. Takođe, postoje i inverzni operatori koje je moguće skladištiti prostorno (po pikselu). Ovo znači da bi se pored LDR slike mogla povratiti i dodatna rezidualna slika za rekonstrukciju slike. Tako su nastale prve ekstenzije JPEG kompresije (JPEG-HDR i JPEG 2000-HDR) [1].



Slika 6. Primer ekstenzije postojećeg standarda kompresije.

Novi standard koji omogućava kompatibilnu kompresiju HDR slika sa široko korišćenim standardom za kompresiju slika JPEG jeste JPEG XT standard [2, 10, 11]. Pomoću ovog standarda HDR slike se koduju u dva nivoa. Postoji osnovni nivo u kome se tonski mapirana verzija HDR slike koduje u standardnom JPEG formatu, kao i rezidualni sloj u kome se koduje ekstra HDR informacija. Slike kodovane u oba nivoa se sjedinjuju pomoću operacija sabiranja i/ili množenja, kombinovano sa daljom obradom. Prednost ove kompresije je što standardni JPEG dekodler može da izdvoji tonski mapiranu sliku, zadržavajući kompatibilnost unazad. Osim toga, poseban JPEG XT dekodler može da koristi rezidualni sloj u cilju rekonstrukcije HDR slike sa gubicima.

Trenutno, JPEG XT definiše četiri profila za HDR kompresiju: *A*, *B*, *C* i *D*. Profil *D* je jednostavan dekodler koji koristi JPEG sa 12 bita, što je kompatibilno sa Hafmanovim JPEG kodovanjem sa 8 bita. Ostali profili, *A*, *B* i *C*, uzimaju u obzir nelinearnost ljudskog vizuelnog sistema i biće analizirani ovde. Relacija između fizičke luminanse i odziva može da se grubo aproksimira kao funkcija gama korekcije. Kod HDR slika ova relacija se modeluje logaritamskom funkcijom. JPEG XT predstavlja HDR sliku kao sumu osnovne slike i proširenih slika u logaritamskom domenu, ili kao njihov proizvod u linearnom domenu. U osnovi, profili se razlikuju u načinu kako se formira rezidualna informacija, kao i u primenjenim tehnikama pred- i post-procesiranja.

Kod profila *A* rezidual se predstavlja kao proizvod luminanse i bazne (tonski mapirane) slike, nakon inverzne gama korekcije. Rezidual se tada logaritamski koduje i komprimuje kao slika sa 8 nivoa sivog.

Profil *B* definiše razdvajanje slike na područja koja su snimljena sa višim ekspozicijama i na standardna LDR područja. Zatim se za formiranu ekstenziju, posle izvršene inverzne gama korekcije, kao i kod profila *A*, koristi razlika logaritama, za razliku od profila *A*.

Profil *C*, konačno, izračunava rezidualnu sliku slično, ali za razliku od ostalih profila, inverzna TMO nije jednostavno inverzna gama, već uopštena aproksimacija inverzne TMO koja se koristi za generisanje slike na osnovnom nivou. Umesto korišćenja matematičke operacije logaritma, profil *C* koristi linearnu aproksimaciju deo po deo. Interesantna osobina *C* profila je što omogućava kodovanje bez gubitaka. Preciznost od 12 bita kod ovog profila je omogućena dodavanjem najmanje značajnih bita, slično progresivnom JPEG kodovanju [10].

4. Rezultati testiranja HDR slika

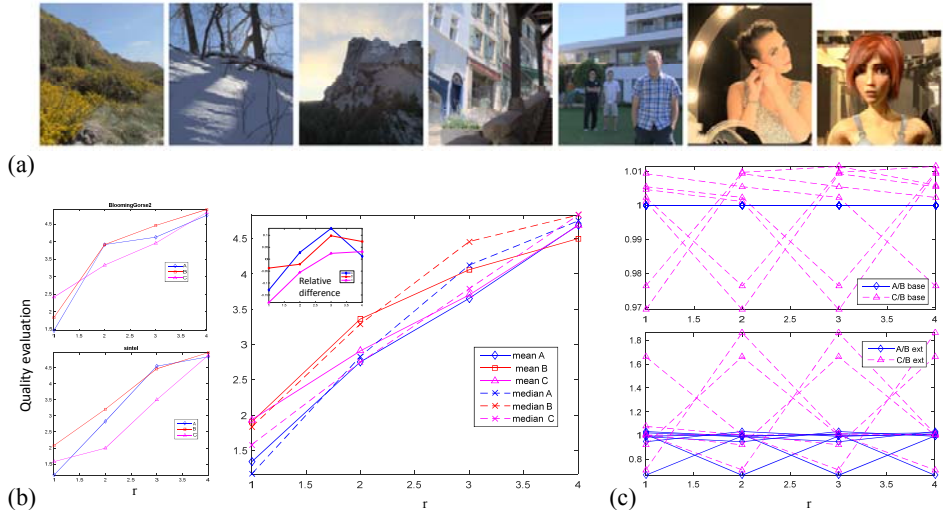
U ovom radu prikazani su rezultati subjektivne analize JPEG XT standarda. Naime, korišćeni su podaci za sedam slika u *pfm* formatu [11], Slika 7. Kako JPEG XT ne preporučuje TMO, ovde je korišćen u analizi samo *Reinhard* TMO. Kvalitet u dvostimulusnom poređenju, *Quality of Experience* (QoE), ocenjen je sa 4 vrednosti (skala: 1, 2, 3 i 5) po standardnoj petogradnoj skali (*VQEG - Video Quality Experts Group*), od najlošijeg do najboljeg subjektivnog doživljaja kvaliteta (bez ocene 4 - *perceptible, but not annoying*). S obzirom da se JPEG XT sastoji od osnovnog lejera i ekstenzije, 4 protoka (u bpp) su podešena za ekstenziju tako da odgovaraju baznom lejeru i skali ocena. Analizirani su podaci koji su dobijeni evaluacijom na HD 47" HDR monitoru od strane 24 gledalaca (polovi jednako zastupljeni, 18-30 godina).

Ocena srednjeg mišljenja (MOS- *Mean Opinion Square*) i relativna razlika vrednosti

aritmetičke i median sredine za svaki od profila/slika se izračunavaju kao:

$$MOS(k, p) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N w_p(j, k), \quad D_p = \frac{\text{median}(MOS(k, p)) - \text{mean}(MOS(k, p))}{\text{mean}(MOS(k, p))} \quad (1)$$

gde je $w_p(j, k)$ subjektivna ocena j -tog posmatrača za k -tu test sliku i profil p (A, B ili C). Vrednosti prilikom podešavanja kvaliteta za baznu sliku i ekstenziju iskorišćene su za izračunavanje odnosa profila. Naime, profil A i profil C su u oba slučaja poređeni sa profilom B . Dobijeni rezultati su prikazani na Slici 7.



Slika 7. (a) Test slike sa Reinhard TMO: *BloomingGorse2, DevilsBathub, MtRushMore2, Set24, Set70, showgirl, sintel*. (b) MOS sa srednjim vrednostima i relativnim odstupanjima. (c) Razlika između profila pri podešavanju istog kvaliteta.

Upotrebom mapa gustine tačaka opažanja (FDM - *Fixation Density Map*) u poređenju sa LDR-om, HDR slika pokazuje tendenciju da vizuelna pažnja zavisi od scene, što je ovde potvrđeno [11, 12]. U tom smislu se takođe postavlja pitanje objektivne metrike. Za sada, FSIM (*Feature Similarity Index*) i HDR-VDP-2 (*High Dynamic Range Visible Difference Predictor 2*) metrike se navode kao najbolji izbor objektivne evaluacije u skladu sa subjektivnom evaluacijom [3]. Slični zahtevi postoje i za video signal [3, 13].

5. Zaključak

U ovom radu su objašnjene osnove HDR imidžinga i njegove primene. Poseban osvrt je napravljen sa stanovišta reprodukcije i kompresije HDR slike koja je poslednjih godina najviše istraživana. Razlog tome je upravo potreba za arhiviranjem i distribucijom sadržaja, pre svega, bez velikog uticaja na relevantne detalje koje donosi HDR. Sa druge strane, postoji potreba da se artefakti ne naglašavaju. Razmatrana je nova JPEG XT ekstenzija i poređeni su rezultati vizuelnog kvaliteta slike. Analiza metrika za HDR sadržaj je jedan od osnovnih zadataka u daljim istraživanjima.

Literatura

- [1] F. Banterle, A. Artusi, K. Debattista, and A. Chalmers: „*Advanced high dynamic range imaging: theory and practice*“, CRC Press, 2011.
- [2] JPEG XT, 2016, <https://jpeg.org/jpegxt/> (*pristup avgusta 2016*)
- [3] 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.
- [4] T. Richter: „On the standardization of the JPEG XT image compression“, *Picture Coding Symposium PCS*, San Jose, USA, pp 37-40, December 2013.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] S. Choi, et al.: „Evaluation of various tone mapping operators for backward compatible JPEG image coding“, *KSI Transactions on internet and information systems*, Vol. 9, No. 9, pp 3672-3684, 2015.
- [9] F. Banterle, P. Ledda, K. Debattista, and A. Chalmers: „Inverse tone mapping“, In *Proceedings of the 4th international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and Southeast Asia*, pp 349-356, ACM, 2006.
- [10] A. Artusi, et al.: „Overview and evaluation of the JPEG XT HDR image compression standard“, *Journal of Real-Time Image Processing*, pp 1-16, 2015.
- [11] P. Korshunov, P. Hanhart, T. Richter, A. Artusi, R. Mantiuk, and T. Ebrahimi: „Subjective quality assessment database of HDR images compressed with JPEG XT“, In *7th International Workshop on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, Costa Navarino, Messina, Greece, May 26-29, 2015.
- [12] H. Nemoto, P. Korshunov, P. Hanhart, T. Ebrahimi: „Visual attention in LDR and HDR images“, in *9th International Workshop on Video Processing and Quality Metrics for Consumer Electronics (VPQM)*, 2015.
- [13] J. Froehlich, S. Grandinetti, B. Eberhardt, S. Walter, A. Schilling, and H. Brendel: „Creating cinematic wide gamut HDR-video for the evaluation of tone mapping operators and HDR-displays“, In *IS&T/SPIE Electronic Imaging*, pp 90230X-90230X. International Society for Optics and Photonics, 2014.

Abstract: *There are many challenges in processing and visualization of still image and video of high dynamic range. One of the main concerns is to preserve visual details and obtain satisfactory results in high dynamic range image reproduction and compression. In this paper we analyzed the possibilities of improving the high dynamic range image quality based on tone mapping and preservation of gradient changes.*

Keywords: *high dynamic range, compression, image and video quality, tone mapping, perception.*

THE POSSIBILITIES OF ENHANCING THE QUALITY OF HIGH DYNAMIC RANGE IMAGE AND VIDEO

Ana Gavrovska, Andreja Samčović