

DETEKCIJA JEDVA UOČLJIVIH RAZLIKA NA SLIKAMA SA KOMPRESIJOM U INFRACRVENOM DELU ELEKTROMAGNETNOG SPEKTRA

Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović
Univerzitet odbrane u Beogradu – Vojna akademija
nivzvkh@hotmail.com, bondzulici@yahoo.com, bobanpav@yahoo.com

Rezime: *Određivanje stepena kompresije na slikama, definisanjem praga do koga se ista može vršiti bez vizuelnih gubitaka je aktuelan problem istraživanja. U tom cilju kreirana je baza slika primenom JPEG i BPG tipova kompresije. Karakteristično za bazu je da se sastoji od slika iz infracrvenog dela spektra. Baza je formirana od 35 originalnih slika i sadrži rezultate subjektivnih testova, sprovedenih na nivou kompletne slike, kojima je određena granica do koje se slika može komprimovati, a da korisnik ne uočava degradacije na slici usled primenjene kompresije sa gubicima. U radu je opisan način formiranja baze, način sprovođenja subjektivnih testova i predstavljeni su prikupljeni rezultati. Izvršena je analiza efikasnosti korišćenih koda za kompresiju slike. Pokazano je da se veći stepen kompresije, za isti kvalitet slike, postiže primenom BPG kompresije kroz vrednosti reprezentacije slike u broju bita po pikselu. Vrednosti bita po pikselu su dalje korišćeni u predikciji praga jedva uočljivih razlika na predstavljenoj bazi.*

Ključne reči: *jedva uočljive razlike (JND), kompresija slike, JPEG, BPG, kompresija sa gubicima, infracrvene slike*

1. Uvod

Slike iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra (eng. *Infrared*, IR) su široko rasprostranjene u raznim primenama. Koriste se u industriji, medicini, protivpožarnim sistemima, video nadzoru, vojsci i dr. U početku su infracrvene slike bile korišćene skoro pa isključivo u vojnim primenama, dok je danas njihova masovna upotreba značajno šira [1]. U vojnim primenama, infracrvene slike se najčešće koriste u detekciji objekata i njihovom prepoznavanju i praćenju [2]. Razlog zbog kog se slike iz infracrvenog opsega koriste je taj što slike iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra često ne pružaju dovoljno informacija za detekciju i praćenje objekata, naročito u uslovima ograničene vidljivosti i noću. Efikasne tehnike maskiranja dodatno otežavaju detekciju. Infracrvena slika se formira prikupljanjem zračenja sa objekata na sceni koja se posmatra i njihovom konverzijom u vidljivu sliku. Opseg talasnih dužina koji pripada infracrvenom spektru je od 0.75-1000 μm , ali se najčešće koristi dugotalasni IR opseg (eng. *Long-Wavelength Infrared*, LWIR) od 7.5 do 14 μm [3].

Pored precizne detekcije u vojnim primenama je od izuzetnog značaja i pravovremeno dostavljanje informacija radi daljeg delovanja. Brz prenos informacija kroz telekomunikacione kanale malog kapaciteta koji neretko mogu biti i ometani je od presudnog značaja radi donošenja ispravne odluke. Kompresijom podataka pre njihovog prenosa se može značajno uticati na zauzeće resursa kanala i smanjenje emisije radio zračenja tokom prenosa u dodatnom cilju smanjenja mogućeg otkrivanja svog položaja.

Kompresija se uopšteno govoreći deli na kompresiju sa gubicima (eng. *lossy*) i kompresiju bez gubitaka (eng. *lossless*) [4]. Kada su u pitanju vizuelni signali, uvodi se i treći tip kompresije, a to je kompresija bez gubitaka vizuelnih informacija (eng. *visually lossless*) [5]. Kompresija bez gubitaka vizuelnih informacija odnosi se na to da se kompresija vrši do te mere da korisnik ne uočava degradacije. Ova granična tačka predstavlja i razgraničenje prilikom tranzicije od kompresije bez vizuelnih gubitaka do kompresije sa vizuelnim gubicima. Slika određena na ovakav način, gde se mogu uočiti tek vidljive razlike (eng. *Just Noticeable Difference*, JND) u odnosu na originalnu, nekomprimovanu sliku, naziva se prva JND tačka (JND#1) [6].

Cilj rada je proširiti mogućnosti istraživanja detekcije jedva uočljivih razlika kod slika sa kompresijom i na infracrveni deo elektromagnetnog spektra. Predstavljanjem nove baze slika koja u sebi sadrži rezultate subjektivno određenih prvih JND tačaka za JPEG [7] i BPG [8] kompresije kroz njihove parametre kvaliteta, to je i postignuto.

U drugom odeljku opisana je kreirana baza slika. U trećem odeljku opisan je način sprovođenja subjektivnih testova u detekciji prve JND tačke. Analiza efikasnosti dve korišćene tehnike kompresije je data u četvrtom odeljku. U petom odeljku pokazano je kako se korišćenjem jednostavnih obeležja slike može odrediti prva JND tačka. Na kraju su dati najvažniji zaključci.

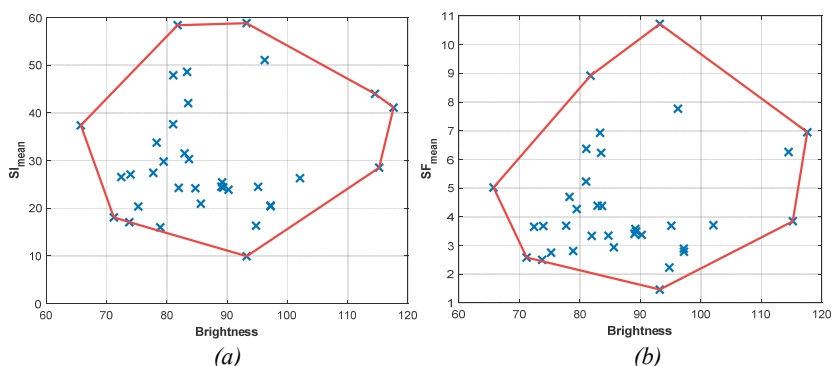
2. Opis kreirane baze slika

Za potrebe formiranja baze slika korišćeno je 35 slika iz LWIR dela elektromagnetnog spektra. Tri slike su izdvojene iz baze slika pod nazivom *eXtended Multispectral Dataset for Camouflage Detection* (MUDCAD-X) [9]. Navedena baza je kreirana u cilju detekcije skrivenih objekata u multispektralnom okruženju. Akvizicija je izvršena u vidljivom i u nekoliko IR podopsega. Slike su prikupljane tokom različitih godišnjih doba pomoću video senzora montiranog na dronu. Sve slike su dimenzija 512x512 piksela. Iz baze slika *Multi-scenario Multi-Modality* (M³FD) [10] izdvojeno je 25 slika takođe iz LWIR opsega. Ova baza, pored slika iz LWIR opsega, sadrži i slike iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra. Cilj kreiranja ove baze slika je sjedinjavanje slika u multispektralnom okruženju. Baza sadrži 4200 parova slika različitih rezolucija. Autori su iz svoje arhive dodali još sedam slika iz LWIR opsega, visoke rezolucije, radi kompletiranja baze. Sve slike su snimane u realnom, spoljašnjem okruženju.

Nakon izbora slika, da bi se izvršila kompresija slike korišćenjem JPEG i BPG koda, izvršena su određena prilagođavanja. Najpre je izvršeno odsecanje slika na dimenzije koje su umnožak 32. Razlog je što BPG koder vrši izračunavanje diskretne kosinusne (eng. *Discrete Cosine Transform*, DCT) i diskretne sinusne transformacije (eng. *Discrete Sine Transform*, DST) na nepreklapajućim blokovima dimenzija 32x32 piksela. JPEG koder izračunava DCT na nepreklapajućim blokovima dimenzija 8x8 piksela što takođe zadovoljava uslov da slika bude dimenzija umnožak 32. Razlog ovakvog postupanja je izbegavanje pojave ivičnih efekata usled nekompletnih blokova.

Nakon predobrade, izvršena je kompresija. Za svaku od originalnih slika dobijeno je 100 slika sa JPEG kompresijom i 52 slike sa BPG kompresijom. Shodno tome, podskup slika sa JPEG kompresijom sadrži ukupno 3500 slika, dok podskup slika sa BPG kompresijom sadrži 1820 slika. Važno je napomenuti da JPEG i BPG imaju obrnutu skalu nivoa kompresije. Tako su JPEG slike definisane faktorom kvaliteta (eng. *Quality Factor*, QF) od 1 do 100, gde su sa 1 označene slike sa najvišim, a sa 100 slike sa najnižim stepenom kompresije. Kod BPG koda čiji kvantizacioni parametar (eng. *Quantization Parameter*, QP) [11] iznosi 0 predstavljene su slike sa najnižim stepenom kompresije, a ukoliko iznosi 51 onda su u pitanju slike sa najvišim stepenom kompresije.

Na slici 1 su prikazane srednje vrednosti prostorne informacije (eng. *Spatial Information*, SI) [12] i prostorne frekvencije (eng. *Spatial Frequency*, SF) [13] u odnosu na srednju vrednost osvetljaja (eng. *brightness*) originalnih slika. Može se reći da je nešto manji broj slika sa višim vrednostima SI, SF i osvetljaja. Takođe, uočava se gušća koncentracija slika sa nižim SI i SF vrednostima i vrednostima osvetljaja oko sredine dinamičkog opsega. Distribucija tačaka pokazuje dobar izbor slika sa različitom složnošću za dalju kompresiju.



Slika 1. Raspodela srednje vrednosti: (a) prostorne informacije (SI_{mean}) i (b) prostorne frekvencije (SF_{mean}) u odnosu na srednju vrednost osvetljaja (*brightness*) slike

Ime bazi slika je dato u skladu sa predmetom istraživanja i opsega iz kog su korišćene slike: *Just Noticeable Difference – Infrared* (JND-IR). Predstavljena baza slika, pored izučavanja jedva vidljivih razlika i kompresije sa gubicima, može se koristiti i kod detekcije objekata u realnom okruženju. Zbog slika iz tri različite baze, prikupljenih različitim sensorima, i slika koje su različitim rezolucija, baza može biti izazovna istraživačima u pronalaženju algoritama koji će uspešno obavljati svoju funkciju u navedenim oblastima.

3. Realizacija subjektivnih testova

Nad opisanom bazom slika iz prethodnog poglavlja sprovedeni su subjektivni testovi u cilju određivanja prve JND tačke. Subjektivna detekcija prve JND tačke realizovana je pod kontrolisanim uslovima. Testiranje je vršeno u jednom od računarskih kabineta na Vojnoj akademiji, Univerziteta odbrane u Beogradu. Svi korišćeni računari imali su monitor veličine 24 inča.

Za potrebe testiranja napravljena je aplikacija specijalno za ovu namenu u softverskom paketu MATLAB korišćenjem alata za programiranje grafičkog korisničkog interfejsa (eng. *Graphical User Interface*, GUI). Testiranje je sprovedeno kroz pet celina.

U uvodnom delu, ispitanicima je poželjna dobrodošlica, nakon čega je bilo potrebno popuniti upitnik sa nekoliko osnovnih pitanja i to: ime i prezime, da li se koriste pomagala za korekciju vida, nivo znanja o obradi slike, kompresiji slike i obradi infracrvenih slika.

U drugom delu testiranja izvršena je priprema za izradu testova. Tokom pripreme, ispitanicima je skrenuta pažnja da ne postoje tačni ili netačni odgovori i da je vreme za davanje odgovora neograničeno. Ukazan je i način manifestovanja degradacije usled korišćenog tipa kompresije. Prikazano je na koji će se način vršiti testiranje u naredne dve faze. Pre početka testiranja, izvršena je obuka ispitanika kroz tri test slike.

Treći deo testiranja predstavlja fazu gde se određuje prva JND tačka. Ispitanicima se prikazivane dve slike jedna do druge. Jedna slika je originalna/nekompimovana dok je druga komprimovana. Ispitanici su odgovarali sa DA ili NE na pitanje da li uočavaju razlike između dve prikazane slike. Nakon odgovora, komprimovana slika se menja i prikazuje se slika promenjenog stepena kompresije (QF/QP), odnosno boljeg ili lošijeg kvaliteta u zavisnosti od odgovora. Primenom binarne pretrage (eng. *binary search*) smanjuje se broj potrebnih iteracija za određivanje prve JND tačke na jednoj slici. Početna komprimovana slika ima vrednost polovine skale parametra kvaliteta (za JPEG QF=50, za BPG QP=26).

U četvrtom delu testa, ispitanicima su prikazivane istovremeno četiri iste slike, od kojih su tri bile original, dok je četvrta, slučajno raspoređena bila slika koju je sam ispitanik odredio kao prvu JND tačku u prethodnom koraku. Korišćeni test je poznat i kao prinudni izbor od četiri mogućnosti (eng. *Four Alternative Forced Choice*, 4AFC). Ovaj deo testa delimično potvrđuje pouzdanost subjektivno određene prve JND tačke. Ako ispitanik u velikom procentu, za veoma kratko vreme bira ispravno komprimovanu sliku, može postojati sumnja da slika određena kao prva JND tačka ima veći stepen kompresije nego što bi trebalo da ne bi došlo do gubitka vizuelnog kvaliteta.

U poslednjem delu, ispitanicima je izražena zahvalnost uz odgovarajuće posluženje.

Nakon završenih testiranja odstranjeni su rezultati nepouzdanih posmatrača. Da bi se odstranili nepouzdan posmatrači, najpre su izračunati srednja vrednost (μ) i standardna devijacija (σ) prvih JND tačaka za svaku od slika u vidu QP ili QF, u zavisnosti od tipa kompresije. Dalje je definisan opseg vrednosti $\mu \pm \sigma$. Selektovane su sve određene prve JND tačke čije vrednosti ne pripadaju ovom opsegu. Svi ispitanici koji su imali 18 i više slika (>50%) sa vrednostima QF/QP van definisanog opsega odstranjeni su kao nepouzdati.

Kompletna baza sa rezultatima subjektivnih testova je javno dostupna u [14].

Na slici 2 dat je jedan primer slike iz predstavljene JND-IR baze. Na slici su predstavljene originalna slika i JPEG i BPG komprimovane slike određene kao prve JND tačke. Obe komprimovane slike imaju vrednost parametra kvaliteta oko polovine svoje skale. Iako se vizuelno ne mogu uočiti degradacije u odnosu na originalnu sliku, objektivna vrednost kvaliteta je na strani BPG koda prema vršnom odnosu signal-šum (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*, PSNR). Pored navedenih slika, dodatno su prikazane još dve slike, jedna sa JPEG i jedna sa BPG kompresijom, gde su degradacije uočljive. Na slici 2(d) gde je prikazana slika sa JPEG kompresijom uočavaju se blokovski efekti,

koji dolaze najpre do izražaja u homogenim regionima i ivičnim delovima homogenih regiona, što su u ovom slučaju oblaci. Na slici 2(e), gde je slika sa BPG kompresijom, težišno se uočava zamrljanje/zamagljivanje (eng. *blurring*) kao degradacija i u ovom primeru se uočava i u regionima bogatim detaljima, kao i u homogenim regionima. Na prikazanom primeru, uočava se i blagi blokovski efekat u homogenim regionima.



(a) original



(b) JPEG, $QF=49$, $PSNR=38.56$ dB



(c) BPG, $QP=26$, $PSNR=43.20$ dB



(d) JPEG, $QF=15$, $PSNR=33.34$ dB

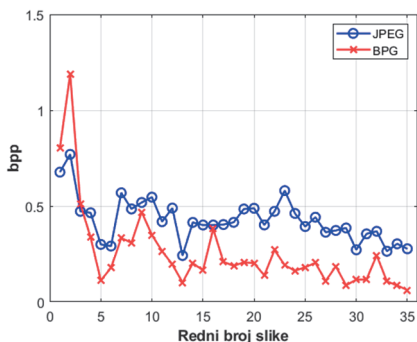


(e) BPG, $QP=45$, $PSNR=31.70$ dB

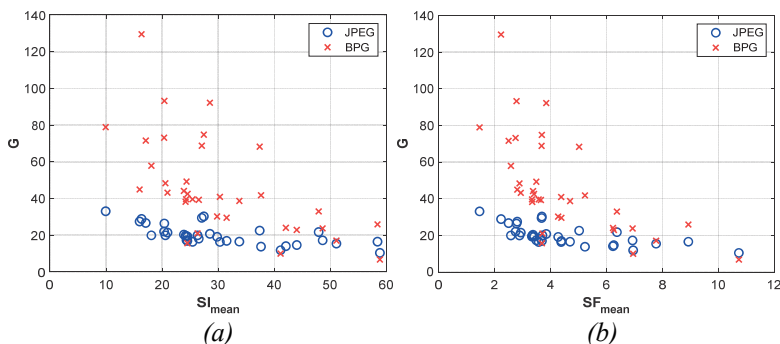
Slika 2. Primer slike iz JND-IR baze: (a) original, (b) JND#1 za JPEG koder, (c) JND#1 za BPG koder, (d) JPEG slika sa uočljivim degradacijama i (e) BPG slika sa uočljivim degradacijama

4. Poređenje tehnika kompresije

Određivanjem prve JND tačke, definisana je granica do koje se slika može komprimovati, a da prosečan korisnik ne primeti degradacije izazvane kompresijom sa gubicima. Razmatranjem vrednosti broja bita po pikselu (eng. *bit per pixel*, bpp) za svaku JND#1 sliku, može se sagledati efikasnost korišćenih kodera. Za slike jednakog (odličnog) subjektivnog kvaliteta dobijene su slike čije se veličine, u smislu memorijskog resursa koji zauzimaju, razlikuju. Slika 3 ilustruje ovo razmatranje. Sa slike se može uočiti da je čak kod 32 od 35 slika, više bita po pikselu potrebno za reprezentaciju slike primenom JPEG u odnosu na BPG tip kompresije. Za preostale tri slike efikasniji je JPEG koder. Slike pod rednim brojevima 1-3, za koje je JPEG kompresija efikasnija, preuzete su iz baze slika MUDCAD-X.



Slika 3. Vrednosti bpp za JND#1 kod JPEG i BPG kodera



Slika 4. Pojačanje dobijeno primenom kompresije bez vizuelnih gubitaka u odnosu na: (a) SI_{mean} i (b) SF_{mean}

Definisanjem pojačanja G, kao odnosa veličine nekomprimovane slike i veličine JND#1 slike, izvršeno je dalje sagledavanje efikasnosti korišćenih tipova kompresije kod infracrvenih slika. Na slici 4 prikazane su dobijene vrednosti G u odnosu na SI_{mean} i SF_{mean} . Sa prikazanih grafika se može uočiti da je BPG tip kompresije efikasniji u odnosu na JPEG. Sa slike 4 se dodatno uočava da se veći stepen kompresije postiže za niže vrednosti SI_{mean} i SF_{mean} , što je naročito izraženo za BPG tip kompresije. Kod JPEG

kompresije su ove razlike značajno manje. Maksimalni dobitak (stepen kompresije) primenom BPG je 130, dok maksimalni dobitak ostvaren primenom JPEG iznosi 35.

Srednja vrednost bpp za JPEG slike iznosi 0.4276, a za BPG slike iznosi 0.2561. Razlika od 0.17 bpp u korist BPG kompresije je još jedan pokazatelj da će slike sa istim vizuelnim kvalitetom, ako su komprimovane BPG koderom, statistički imati veći stepen kompresije u odnosu na JPEG. Primenom BPG koderom slika se prosečno komprimuje 31.24 puta, dok se primenom JPEG komprimuje prosečno 18.7 puta. Konačno, BPG koderom se prosečno postiže 1.67 puta veći stepen kompresije u odnosu na JPEG za slike iz LWIR opsega.

Slični rezultati dobijeni su analizom baze KonJND-1k [11], koja sadrži veliki broj slika iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra na kojima su primenjeni JPEG i BPG tipovi kompresije. Rezultati analize mogu se naći u [15].

5. Predikcija pozicije bpp prve JND tačke

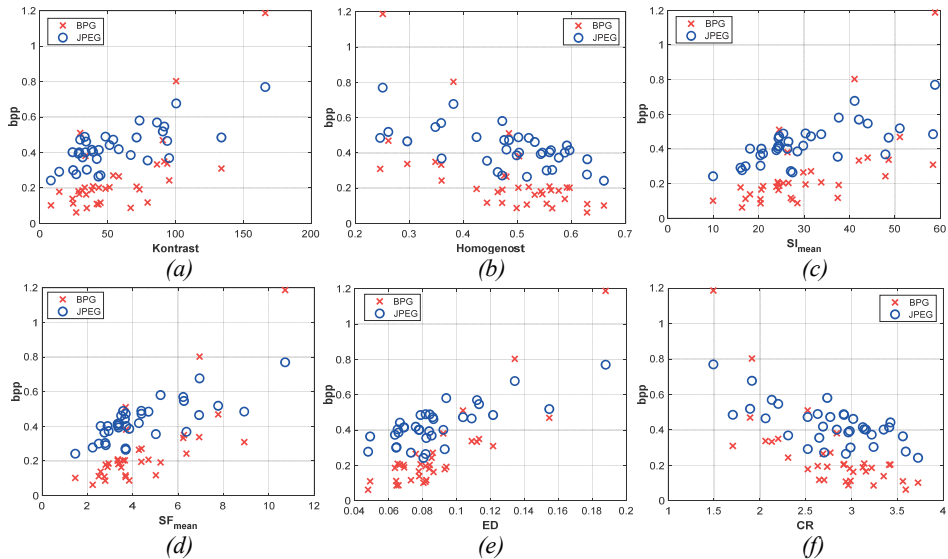
U tabeli 1 date su vrednosti stepena slaganja između bpp JND#1 subjektivno određenih i objektivno prediktovanih vrednosti bpp korišćenjem šest obeležja izvorne slike primenjenih na predstavljenoj bazi slika. Stepent slaganja određen je kroz *Pearson-ovu* linearnu korelaciju (eng. *Linear Correlation Coefficient*, LCC), *Spearman-ovu* korelaciju rangova (eng. *Rank Order Correlation Coefficient*, ROCC), srednju kvadratnu grešku (eng. *Mean Square Error*, MSE) i srednju apsolutnu grešku (eng. *Mean Absolute Error*, MAE). Vrednosti su dobijene korišćenjem logističke krive sa pet parametara u skladu sa preporukama Međunarodne telekomunikacione unije (eng. *International Telecommunication Union*, ITU) [16].

Korišćena su obeležja: kontrast slike, homogenost, srednja vrednost prostorne informacije (SI_{mean}), srednja vrednost prostorne frekvencije (SF_{mean}), gustina ivica (eng. *Edge Density*, ED) i stepen kompresije (eng. *Compression Ratio*, CR) [17].

Određivanje objektivne vrednosti bpp na osnovu jednostavnih obeležja slike bi se izvršilo na sledeći način: (1) izračuna se vrednost obeležja originalne slike, (2) odredi se logistička kriva korišćenjem bpp vrednosti dobjenih iz JND#1 subjektivnih testova i vrednosti obeležja prema [16] na predstavljenoj bazi slika, (3) dobijena kriva koristi se kao funkcija transformacije za određivanje vrednosti bpp iz obeležja bilo koje slike (i van predstavljene baze), na osnovu čega se dalje mogu odrediti QP/QF, odnosno stepen kompresije slike bez gubitaka vizuelnih informacija.

Tabela 1. Stepent slaganja između subjektivnih i objektivnih vrednosti bpp za JND#1

Obeležje	Kontrast	Homogenost	SI_{mean}	SF_{mean}	ED	CR	
JPEG	LCC	0.7201	0.6269	0.7052	0.7602	0.7582	0.7233
	ROCC	0.6014	0.5543	0.6768	0.6997	0.6529	0.5776
	MSE	0.0784	0.0880	0.0801	0.0734	0.0737	0.0780
	MAE	0.0656	0.0718	0.0634	0.0613	0.0603	0.0641
BPG	LCC	0.6902	0.6890	0.6408	0.8249	0.9104	0.8734
	ROCC	0.5776	0.6297	0.6429	0.7359	0.7193	0.7084
	MSE	0.1553	0.1556	0.1648	0.1213	0.0888	0.1045
	MAE	0.1062	0.0942	0.1031	0.0736	0.0661	0.0712



Slika 5. Dijagrami rasipanja za bpp vrednosti JND#1 u odnosu na: (a) kontrast, (b) homogenost, (c) SI_{mean} , (d) SF_{mean} , (e) ED i (f) CR

Rezultati za šest testiranih obeležja u određivanju vrednosti bpp za JND#1 su prikazani u tabeli 1. Obeležja kontrast i SI_{mean} su za sva četiri parametra pokazala bolje rezultate na JPEG slikama. Preostala četiri obeležja su interesantno pokazala bolje rezultate na BPG slikama ali za LCC i ROCC parametre, dok su za MSE i MAE bolji rezultati dobijeni kod slika sa JPEG kompresijom. Najbolje performanse su pokazala ED i CR obeležja za BPG tip kompresije, gde je linearna korelacija sa subjektivnim rezultatima za ED preko 91%. Kod JPEG slika, najviši stepen linearne korelacije pokazalo je obeležje SF_{mean} sa 76% slaganja sa subjektivnim rezultatima.

Na slici 5 su prikazani dijagrami rasipanja za bpp vrednosti JND#1 u odnosu na šest korišćenih obeležja. Sa dijagrama se može uočiti da je disperzija slična za JPEG i BPG tip kompresije, što je usaglašeno sa numeričkim rezultatima iz table 1.

6. Zaključak

U radu je predstavljena baza slika iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. Baza je kreirana u cilju detekcije jedva uočljivih razlika na slikama sa kompresijom. Za potrebe formiranja baze korišćeni su JPEG i BPG tipovi kompresije. Baza slika u sebi sadrži vrednosti parametra kvaliteta (QF/QP) koji određuju sliku koja je definisana kao slika sa jedva uočljivim razlikama. Ove vrednosti određene su subjektivnom metodom na nivou kompletne slike. Za potrebe prikupljanja subjektivnih rezultata kreirana je posebna aplikacija.

Predstavljena baza slika formirana je od slika iz tri različite baze. Slike su različitih rezolucija, različite složenosti i predstavljaju scene iz realnog, spoljnog okruženja. Prethodno navedeno čini bazu izuzetno izazovnu za kreiranje novih algoritama za određivanje prve JND tačke. Takođe, baza se može koristiti za testiranje algoritama za detekciju objekata na infracrvenim slikama.

Komparativnom analizom efikasnosti JPEG i BPG tipova kompresije na infracrvenim slikama pokazano je da se primenom BPG tipa kompresije postiže prosečno 1.67 puta veći stepen kompresije u odnosu na JPEG. Analiza je izvršena za slike koje su određene kao prve JND tačke (slike bez vizuelnih gubitaka) subjektivnim testovima.

Dodatno je pokazano da se pomoću jednostavnih obeležja izračunatih iz originalne slike može odrediti vrednost bpp za prvu JND tačku. Bolja predikcija JND#1 postignuta je kod slika sa BPG kompresijom, gde je stepen slaganja sa subjektivnim vrednostima bpp za JND#1 oko 91%.

U daljem radu planirano je proširenje baze i na slike iste scene iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra, kao i efikasnije određivanje prve JND tačke primenom objektivnih metoda.

Literatura

- [1] R. Gade and T. B. Moeslund, "Thermal cameras and applications: A survey." *Machine Vision and Applications*, vol. 25, pp. 245-262, 2014, doi: [10.1007/s00138-013-0570-5](https://doi.org/10.1007/s00138-013-0570-5)
- [2] G. Chen and W. Wang, "Target recognition in infrared circumferential scanning system via deep convolutional neural networks." *Sensors*, vol. 20, no. 7, 1922, 2020, doi: [10.3390/s20071922](https://doi.org/10.3390/s20071922)
- [3] D. Perić, B. Livada, M. Perić, and S. Vujić, "Thermal imager range: Predictions, expectations and reality." *Sensors*, vol. 19, no. 15, p. 3313, 2019, doi: [10.3390/s19153313](https://doi.org/10.3390/s19153313)
- [4] A. J. Hussain, A. Al-Fayadh and N. Radi, "Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms." *Neurocomputing* 300, pp. 44-69, 2018, doi: [10.1016/j.neucom.2018.02.094](https://doi.org/10.1016/j.neucom.2018.02.094)
- [5] L. Kryvenko, O. Krylova, V. Lukin and S. Kryvenko, "Intelligent visually lossless compression of dental images." *Advanced Optical Technologies*, vol. 13, 1306142, 2024, doi: [10.3389/aot.2024.1306142](https://doi.org/10.3389/aot.2024.1306142)
- [6] B. Bondžulić, B. Pavlović, N. Stojanović and V. Petrović, "Picture-wise just noticeable difference model for JPEG image quality assessment." *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 70, no. 1, pp. 62-86, 2022, doi: [10.5937/vojtehg70-34739](https://doi.org/10.5937/vojtehg70-34739)
- [7] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard." *Communications of the ACM*, vol. 34, no. 4, pp. 30-44, 1991, doi: [10.1109/30.125072](https://doi.org/10.1109/30.125072)
- [8] <https://bellard.org/bpg/> (05.10.2024.)
- [9] T. Hupel and P. Stütz, "Measuring and predicting sensor performance for camouflage detection in multispectral imagery." *Sensors*, vol. 23, no. 19, 8025, 2023, doi: [10.3390/s23198025](https://doi.org/10.3390/s23198025)
- [10] J. Liu, X. Fan, Z. Huang, G. Wu, R. Liu, W. Zhong, and Z. Luo, "Target-aware dual adversarial learning and a multi-scenario multi-modality benchmark to fuse infrared and visible for object detection." In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 5802-5811, New Orleans, LA, USA, June 18-24, 2022, doi: [10.1109/CVPR52688.2022.00571](https://doi.org/10.1109/CVPR52688.2022.00571)
- [11] H. Lin, G. Chen, M. Jenadeleh, V. Hosu, U. D. Reips, R. Hamzaoui and D. Saupe, "Large-scale crowdsourced subjective assessment of picturewise just noticeable

- difference.” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 32, no. 9, pp. 5859-5873, 2022, doi: [10.1109/TCSVT.2022.3163860](https://doi.org/10.1109/TCSVT.2022.3163860)
- [12] J. Korhonen, U. Reiter and A. Ukhanova, “Frame rate versus spatial quality: Which video characteristics do matter?.” In *IEEE Visual Communications and Image Processing (VCIP)*, pp. 1-6, Kuching, Malaysia, November 17-20, 2013, doi: [10.1109/VCIP.2013.6706381](https://doi.org/10.1109/VCIP.2013.6706381)
- [13] W. Tan, H. X. Zhou, Y. Yu, J. Du, H. Qin, Z. Ma and R. Zheng, “Multi-focus image fusion using spatial frequency and discrete wavelet transform.” In *Proceedings of Applied Optics and Photonics China 2017: Optical Sensing and Imaging Technology and Applications*, SPIE vol. 10462, pp. 1215-1225, Beijing, China, October 24, 2017, doi: [10.1117/12.2285561](https://doi.org/10.1117/12.2285561)
- [14] N. Stojanović and B. Bondžulić, “JND-IR image dataset.” Mendeley Data, V1, 2024, available at: <https://data.mendeley.com/datasets/x79wx5fz6b/1>
- [15] B. Bondžulić, N. Stojanović, V. Lukin and S. Kryvenko, “JPEG and BPG visually lossless image compression via KonJND-1k database.” *Vojnotehnički glasnik/Military Technical Courier*, vol. 72, no. 3, pp. 1214-1241, 2024, doi: [10.5937/vojtehg72-50300](https://doi.org/10.5937/vojtehg72-50300)
- [16] ITU Tutorial, Objective perceptual assessment of video quality: Full reference television, ITU-T Telecommunication Standardization Bureau, 2004.
- [17] B. Pavlović, B. Bondžulić, N. Stojanović, V. Petrović and D. Bujaković, “Prediction of the first just noticeable difference point based on simple image features.” In *IEEE Proceedings of the Zooming Innovation in Consumer Technologies Conference (ZINC)*, pp. 125-130, Novi Sad, Serbia, May 29-31, 2023, doi: [10.1109/ZINC58345.2023.10173865](https://doi.org/10.1109/ZINC58345.2023.10173865)

Abstract: *Determining the compression level in images, by defining the threshold up to which compression can be performed without visual loss, is a current research problem. To achieve this goal, an image dataset was created using JPEG and BPG compression types. This dataset is characterized by the fact that it consists of images from the infrared part of the spectrum. The dataset is formed from 35 original images and contains the results of subjective tests, conducted at the level of the complete image, which determine the limit to which the image can be compressed, without the user noticing the degradation of the image due to the applied lossy compression. The paper describes the method of forming the dataset, the method of conducting subjective tests, and presents the collected results. An analysis and comparison of the efficiency of the used coders for image compression were performed. It is shown that a higher compression level, for the same image quality, is achieved by applying BPG compression through the average number of bits per pixel. The bit per pixel was further used to predict the threshold of just noticeable differences in infrared images on the presented dataset.*

Keywords: *Just Noticeable Difference (JND), image compression, JPEG, BPG, lossy compression, infrared imaging*

**DETECTION OF JUST NOTICEABLE DIFFERENCES
IN COMPRESSED IMAGES IN THE INFRARED
PART OF THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM**
 Nenad Stojanović, Boban Bondžulić, Boban Pavlović