

Komparativna analiza JPEG, BPG i VVC tehnika kompresije na slikama sistema daljinskog osmatranja

Nikola Bukvić
Vojna akademija
Univerzitet odbrane u Beogradu
Beograd, Srbija
bukvicnikol@gmail.com
ORCID: [0009-0009-2028-4738](https://orcid.org/0009-0009-2028-4738)

Milenko Andrić
Vojna akademija
Univerzitet odbrane u Beogradu
Beograd, Srbija
andricsmilenko@gmail.com
ORCID: [0000-0001-9038-0876](https://orcid.org/0000-0001-9038-0876)

Boban Bondžulić
Vojna akademija
Univerzitet odbrane u Beogradu
Beograd, Srbija
bondzulici@yahoo.com
ORCID: [0000-0002-8850-9842](https://orcid.org/0000-0002-8850-9842)

Dimitrije Bujaković
Vojna akademija
Univerzitet odbrane u Beogradu
Beograd, Srbija
dimitrijebujakovic@gmail.com
ORCID: [0000-0001-7058-9293](https://orcid.org/0000-0001-7058-9293)

Abstract—U ovom radu izvršena je komparativna analiza JPEG, BPG i VVC tehnika kompresije na slikama sistema daljinskog osmatranja. Korišćena je baza slika DOTA v1.0, koja sadrži snimke sa satelita GF-2 i JL-1, kao i sa platforme Google Earth. Nakon podele originalnih slika na blokove dimenzija 1024x1024 piksela, formiran je skup od 15749 slika, od kojih je 90 nasumično odabrano za testiranje. Kvalitet komprimovanih slika procenjen je korišćenjem tri objektivne mere procene kvaliteta, dok je efikasnost kompresije izražena preko reprezentacije u bitima po pikselu i stepena kompresije. Poređenje je izvršeno ujednačavanjem objektivnog kvaliteta i ujednačavanjem broja bita po pikselu. Rezultati pokazuju da BPG i VVC ostvaruju dva do pet puta veću uštedu memorijskog prostora u odnosu na JPEG za isti nivo kvaliteta. Pri istom broju bita po pikselu, BPG i VVC daju bolji objektivni kvalitet, sa razlikama u vršnom odnosu signal šum do 7 dB. Takođe je uočeno da tip degradacije različito utiče na pojedine mere kvaliteta.

Ključne reči—JPEG, BPG, VVC, kompresija slika, daljinsko osmatranje, DOTA, PSNR, SSIM, HaarPSI

I. UVOD

Svedoci smo svakodnevne upotrebe ogromnih količina video sadržaja i slika, koje je potrebno arhivirati pri čemu je memorijski prostor često ograničen, a sa stanovišta prenosa ovih signala prenosni kapaciteti su takođe ograničeni. Shodno tome, kompresija vizuelnih signala dobija sve više na značaju. Osnovna podela tehnika kompresije je na one sa gubitkom i one bez gubitka informacija. Kompresije sa gubicima mogu ostvariti višestruko veću uštedu memorijskog prostora, ali posledica toga je narušavanje vizuelnog kvaliteta slike, što je u nekim oblastima (npr. u medicini) nedopustivo [1], [2].

Sa druge strane, postoje oblasti u kojima je određen stepen degradacije prihvatljiv ukoliko se time postiže ušteda resursa, a istovremeno ne utiče u velikoj meri na detekciju i prepoznavanje objekata u slici. Jedna od takvih oblasti je i daljinsko osmatranje, gde se obrađuju satelitski i snimci iz vazduha visoke rezolucije. U ovom radu pažnja je usmerena na kompresiju slika daljinskog osmatranja, sa ciljem da se ispita koliko novije generacije tehnika kompresije mogu biti efikasnije od klasičnog JPEG (Joint Photographic Experts Group) standarda, kako sa stanovišta uštede memorijskih/telekomunikacionih resursa, tako i sa stanovišta očuvanja objektivnog kvaliteta slike.

JPEG tehnika, iako stara više od tri decenije [3], i danas je široko rasprostranjena za kompresiju slika [4]. Međutim, razvojem novijih tehnika poput BPG (Better Portable Graphics) [5], a posebno VVC (Versatile Video Coding) [6], koji predstavlja najnoviju generaciju video kompresije, postavlja se pitanje u kojoj meri ovi savremeni pristupi mogu unaprediti efikasnost kompresije na specifičnim domenima poput daljinskog osmatranja. Novi formati donose napredne algoritme predikcije, transformacije i kvantizacije, što za posledicu ima veću kompresionu moć, ali i veću računarsku složenost.

Takođe, značajno je i pitanje odabira odgovarajuće mere za procenu kvaliteta komprimovanih slika. Pored tradicionalnog vršnog odnosa signal-šum (engl. Peak Signal-to-Noise Ratio, PSNR), koji se zasniva na srednjoj kvadratnoj grešci [7], sve veću primenu nalaze mere koje bolje opisuju perceptivne karakteristike ljudskog vizuelnog sistema, poput SSIM (Structural Similarity Index) [8] i HaarPSI (Haar Wavelet-based Perceptual Similarity Index) [9]. U kontekstu daljinskog osmatranja, od interesa je utvrditi u kojoj meri su one međusobno usaglašene kada se primene na različite tipove degradacije (blokovski efekat, zamućenje) koji karakterišu poređene tehnike kompresije.

U radu su korišćene tri objektivne mere za procenu kvaliteta, dok je efikasnost kompresije izražena preko broja bita po pikselu (engl. bits per pixel, bpp) i stepena kompresije (engl. Compression Ratio, CR). Poređenje je sprovedeno na dva načina: ujednačavanjem kvaliteta i ujednačavanjem stepena kompresije. Nakon opisa baze slika, tehnika kompresije i korišćenih mera, u trećem poglavlju prikazani su i analizirani dobijeni rezultati. U četvrtom poglavlju izvedeni su zaključci i naznačeni pravci daljih istraživanja.

II. OPISI BAZE SLIKA, TEHNIKA KOMPRESIJE, OBJEKTIVNIH MERA PROCENE KVALITETA I EFIKASNOSTI KOMPRESIJE

A. Baza slika

Za međusobno poređenje tehnika kompresije korišćena je baza slika DOTA v1.0 [10]. Slike ove baze potiču sa platforme Google Earth i sa satelita GF-2 i JL-1. Većina slika je u boji (RGB), dok je manji broj u nijansama sive (one nisu razmatrane u ovom radu). DOTA-v1.0 baza sadrži 2806 slika čija rezolucija

je u rasponu od 800 do 4000 piksela, podeljenih u 3 podskupa: za obuku (sadrži 1/2 ukupnog broja slika), za validaciju (sadrži 1/6 ukupnog broja slika) i za testiranje (sadrži 1/3 ukupnog broja slika). U ovom radu korišćene su slike dobijene deljenjem originalnih slika baze, na nove slike dimenzija 1024x1024 piksela [11]. Na taj način dobijeno je 15749 slika podeljenih u tri podskupa, u istoj razmeri kao i originalna baza. Za poređenje kompresija slučajnim izborom odabrano je 90 slika iz novog podskupa za testiranje, u kome se nalazi 5356 slika.

Za procenu kompleksnosti slika za potrebe kompresije često se koriste kvantitativni pokazatelji prostorna informacija (eng. Spatial Information, SI) [12] i koloritet (eng. colorfulness, CF) [13]. SI se najčešće određuje kao srednja vrednost amplitude gradijenta korišćenjem Sobel prostornih maski (SI_{mean}), a govori o količini detalja u slici. CF kao kvantitativni pokazatelj ukazuje na bogatstvo boja u slici.

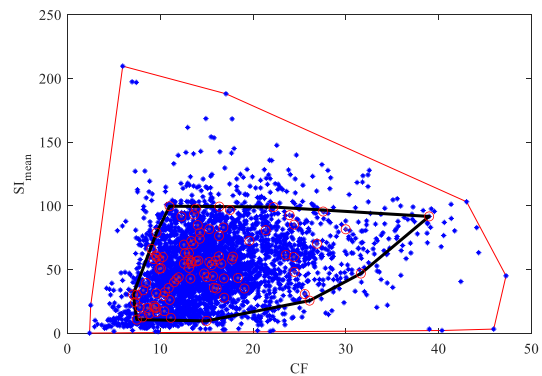
Na Sl. 1 prikazan je odnos CF i SI_{mean} za DOTA v1.0 podskup slika za testiranje i izabrani skup slika za kompresiju. Na ovom prikazu svaka tačka odgovara jednoj test slici. Plavi simboli (*) odgovaraju DOTA v1.0 podskupu slika za testiranje (izuzimajući slike u nijansama sive), a crvenom bojom su predstavljeni kvantitativni pokazatelji za 90 izabranih slika. Crvenom konturom su obuhvaćene sve vrednosti za izvorni podskup, a crnom sve vrednosti izabranih slika za kompresiju. Uočava se da crna kontura obuhvata veliki procenat površine podskupa slika za testiranje, čime je potvrđeno da je izabrano 90 reprezentativnih slika za dalju analizu standarda kompresije.

B. Tehnike kompresije

U ovom radu razmatrane su tri tehnike kompresije. JPEG je tehnika kompresije sa gubitkom informacija zasnovana na diskretnoj kosinusnoj transformaciji [3]. Iako je razvijena pre više od tri decenije ona je i dalje često korišćena tehnika pri kompresiji mirne slike. Step kompresije kod JPEG se kontroliše faktorom kvaliteta (eng. Quality Factor, QF), sa dinamičkim opsegom od 1 do 100. Sa smanjenjem vrednosti QF kvalitet komprimovanih slika opada, ali raste step kompresije. JPEG podskup korišćen u radu čini 9000 komprimovanih slika, gde je za svaku originalnu sliku generisano 100 komprimovanih slika, za QF od 1 do 100. Kompresija je izvršena u softverskom paketu MATLAB, korišćenjem ugrađene funkcije *imwrite*.

BPG je format slike koji koristi intra-kodovanje zasnovano na HEVC (High Efficiency Video Coding) standardu razvijenom od strane JCT-VC (Joint Collaborative Team on Video Coding) [14]. Ova tehnika ima visok step kompresije, uz zadržavanje kvaliteta slike. Step kompresije BPG se kontroliše koeficijentom Q, sa dinamičkim opsegom od 0 do 51. Kod BPG kompresije kvalitet opada sa porastom vrednosti parametra Q, tako da se najveći step kompresije postiže sa najvećim vrednostima Q, što takođe dovodi da se gubi sve veća količina informacija izvorne slike. Generisano je ukupno 4680 slika sa ovom tehnikom kompresije, tj. za svaku originalnu sliku kompresija je sprovedena za Q od 0 do 51. Za kompresiju je korišćena aplikacija BPGconv [15], sa sledećim parametrima: *compression level 9 (slow)*, *chroma format 4:4:4*, *color space YCbCr, 8 bits*, i *HEVC Encoder JCTVC*.

VVC, poznat i kao H.266, je najnoviji standard za video kompresiju i naslednik HEVC-a [6]. Primarni cilj VVC tehnike kompresije je video prenos UHD i medija poput 360° videa.



Sl. 1 Odnos koloriteta i prostorne informacije za DOTA v1.0 podskup slika za testiranje i izabrani skup slika za kompresiju.

Trenutne implementacije VVC tehnike kompresije su previše kompleksne, što za posledicu ima dugo trajanje generisanja komprimovanih slika, ali je efikasniji sa stanovišta uštede memorijskog prostora u odnosu na HEVC. To ga čini osnovnom tehnikom za sledeću generaciju video aplikacija i servisa. Step kompresije VVC se kontroliše parametrom kvantizacije (eng. Quantization Parameter, QP), sa dinamičkim opsegom od 0 do 63. Sa porastom vrednosti QP raste i step kompresije, kao i kod BPG tehnike. Ovom tehnikom generisano je ukupno 5760 slika, po svakoj originalnoj slici generisane su 64 komprimovane slike (za svaku vrednost QP od 0 do 63). Za dobijanje VVC komprimovanih slika korišćen je VVC test model VTM-23.11 [16], a pri kompresiji je korišćen hromatski format 4:4:4.

C. Objektivne mere procene kvaliteta

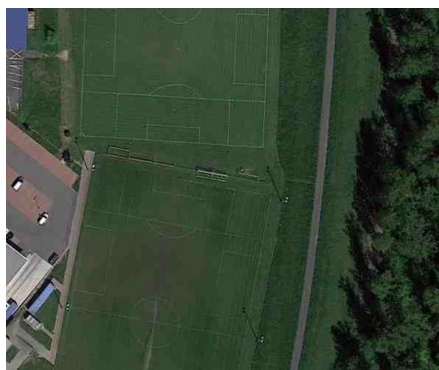
Za određivanje kvaliteta komprimovanih slika korišćene su tri objektivne mere procene: PSNR, SSIM i HaarPSI. PSNR je jednostavna matematička mera razlike između originalne i test slike (u našem slučaju komprimovane slike). Zasniva se na srednjoj kvadratnoj grešci i izražava se u decibelima (dB) [7]. SSIM procenjuje sličnost dve slike na osnovu poređenja osvetljaja, kontrasta i strukture regiona slike, i daje rezultat u opsegu od -1 do 1. Vrednost 1 dobija se za dve identične slike, a veće vrednosti ove mere ukazuju na veću sličnost signala koji se porede [8]. HaarPSI mera koristi Haar wavelet transformaciju za analizu ivica i lokalnih obrazaca u slici. Fokusiranjem na konture i detalje, HaarPSI daje vrednosti kvaliteta od 0 do 1, gde veće vrednosti odgovaraju većoj sličnosti (boljem kvalitetu) [9]. Vrednosti PSNR, SSIM i HaarPSI mera izračunate su u programskom paketu MATLAB, pri čemu su korišćene originalne implementacije autora SSIM i HaarPSI mera [8], [9].

D. Efikasnost kompresije

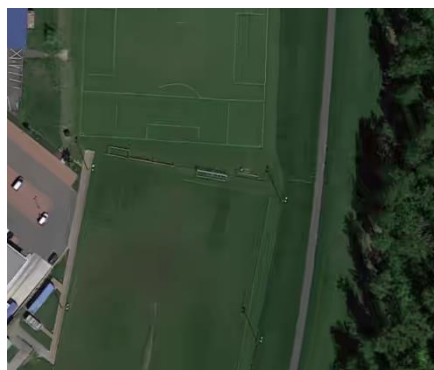
Mere za efikasnost upotrebljenih tehnika kompresije u ovom radu su reprezentacija slike u bitima po pikselu, bpp, i step kompresije, CR. Ove mere govore o stepenu uštede memorijskih i telekomunikacionih resursa potrebnih za arhiviranje, odnosno prenos slike. Prvi pokazatelj, bpp, predstavlja broj bita koji se koristi za predstavu jednog piksela slike. Računa se kao odnos veličine slike (u bitima) i broja piksela u slici. Maksimalna vrednost bpp za slike u boji iznosi 24 (sirova slika sa 8-bitnim kolor ravnima), dok za komprimovane slike manja vrednost bpp znači i veći step kompresije. Ovaj step, CR, predstavlja odnos između veličine originalne (nekomprimovane) slike i njene komprimovane verzije. Može se odrediti i na osnovu bpp, kao $CR=24/bpp$. Veći step kompresije ukazuje na veći step uštede resursa, ali dovodi i do većeg gubitka informacija.



(a)



(b)



(c)



(d)

Sl. 2 (a) originalna slika i uvećani regioni njenih komprimovanih verzija: (b) JPEG (QF=25), (c) BPG (Q=35) i (d) VVC (QP=35).

III. ANALIZA REZULTATA

Poređenje tehnika kompresije na slikama daljinskog osmatranja sprovedeno je na dva načina. Kod prvog pristupa ujednačen je objektivni kvalitet komprimovanih slika pomoću jedne od objektivnih mera, a poređenje je sprovedeno razmatranjem ostalih objektivnih mera i efikasnosti kompresije. U drugom pristupu ujednačena je efikasnost tehnika kompresije (bpp), a upoređene su objektivne vrednosti kvaliteta.

Na Sl. 2 prikazana je originalna slika iz novoformirane baze (slika sa rednim brojem 64) i donji desni regioni njenih komprimovanih verzija. U ovom primeru PSNR objektivni kvalitet dobijenih slika je približno isti (PSNR=34.42 dB). Degradacija izvornog signala se uočava u regionu slike sa fudbalskim igralištima i okolnim travnatim površinama. Pri tome je blokovski efekat dominantan za JPEG komprimovanu sliku, Sl. 2(b), dok je zamućenje dominantan efekat za BPG i VVC komprimovane slike, Sl. 2(c) i 2(d). Dodatno se može uočiti da su primenom BPG i VVC tehnika kompresije izgubljeni detalji o linijama fudbalskih terena. Za ovaj primer kao referenca usvojena je JPEG komprimovana slika sa QF=25. Nakon toga izračunat je njen PSNR objektivni kvalitet i određene su BPG i

VVC komprimovane slike koje su joj po kvalitetu najpribližnije. Ove slike su dobijene za Q=35 i QP=35. Vrednosti ovih parametara kojima se kontroliše kompresija (engl. Parameter that Controls Compression, PCC) ne mogu se odrediti direktno, već su oni određeni na osnovu krivih zavisnosti kvaliteta od PCC (engl. Rate Distortion Curves, RDCs), prikazanih na Sl. 3. Uočava se sigmoidni profil PSNR RDC za JPEG kompresiju, dok je zavisnost PSNR od PCC za BPG i VVC skoro linearna.

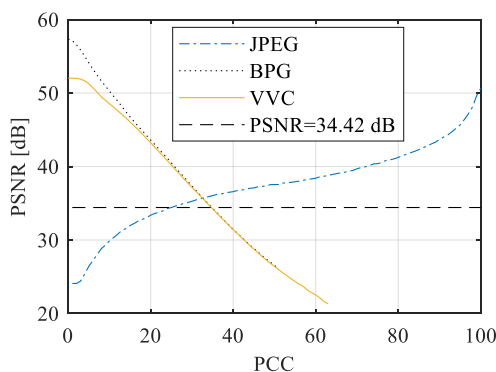
Na osnovu PSNR RDCs BPG i VVC tehnika kompresije određene su vrednosti Q i QP za koje je PSNR objektivni kvalitet najbliži ciljnoj vrednosti od 34.42 dB (isprekidana horizontalna linija na Sl. 3). Dobijene komprimovane slike dalje se mogu porediti na osnovu ostalih objektivnih mera procene kvaliteta i na osnovu efikasnosti, kao što je prikazano na Sl. 4. Sa ove slike se može zaključiti da je SSIM objektivni kvalitet tri komprimovane slike isti, dok je prema HaarPSI meri blaga prednost u objektivnom kvalitetu na strani JPEG komprimovane slike u odnosu na BPG i VVC komprimovane varijante. Međutim, u ovom slučaju je značajna prednost u efikasnosti kompresije na strani BPG i VVC. Za isti objektivni kvalitet ostvareni su značajno veći stepeni kompresije, 135 i 172, u odnosu na JPEG gde stepen kompresije iznosi 53.

Na sličan način kao što je fiksiran kvalitet, može se fiksirati bpp, a razmatrati ostali kvantitativni pokazatelji. U ovom radu željene vrednosti objektivnog kvaliteta i bpp određene su polazeći od JPEG komprimovanih slika, dobijenih za 11 izabranih vrednosti QF (10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 75 i 95). Ove vrednosti QF pokrivaju opseg kvaliteta slika od veoma lošeg do odličnog, a kako bi se utvrdilo na koji način željeni kvalitet utiče na dobitak ostvaren izborom tehnike kompresije.

A. Analiza za ujednačen kvalitet

Kvantitativni pokazatelji kvaliteta komprimovanih slika i efikasnosti kompresije za ujednačen kvalitet prikazani su na Sl. 5. U levoj koloni prikazani su rezultati tako da je ujednačen PSNR za sve tri tehnike kompresije za odabrane vrednosti QF. Nakon toga izračunate su odgovarajuće vrednosti kvaliteta komprimovanih slika, SSIM i HaarPSI, i sračunate odgovarajuće vrednosti bpp i CR. Rezultati koji su prikazani su dobijeni usrednjavanjem za svih 90 reprezentativnih slika sistema daljinskog osmatranja. Na sličan način, u centralnoj koloni su sračunate odgovarajuće vrednosti ukoliko je ujednačen kvalitet prema SSIM, dok su u desnoj koloni prikazani rezultati ukoliko je kvalitet ujednačen prema HaarPSI.

Ukoliko se analiziraju rezultati prikazani na Sl. 5(a) može se zaključiti da, iako je ujednačen kvalitet komprimovanih slika prema PSNR, razlike u kvalitetu postoje ukoliko se on računa prema SSIM i HaarPSI merama. Pri tome je blaga prednost u kvalitetu prema SSIM na strani JPEG komprimovanih slika (za QF veće od 20), a prema HaarPSI prednost na strani JPEG komprimovanih slika je izraženija (za QF veće od 15). Ovakve razlike su verovatno posledica uticaja dominantnog tipa degradacije (blokovski efekat ili zamućenje) na odziv objektivnih mera procene kvaliteta. Međutim, u ovom slučaju je mnogo značajnije poređenje efikasnosti kompresije kroz bpp i CR. Iako je ujednačen kvalitet rezultujućih komprimovanih slika, on se ostvaruje uz znatno niže vrednosti bpp BPG i VVC komprimovanih slika, u odnosu na bpp JPEG komprimovanih slika. Ovaj dobitak, odnosno ušteda memorijskih i telekomunikacionih resursa, povećava se sa smanjenjem faktora kompresije QF, odnosno veći je za slike nižeg kvaliteta. Pored vrednosti bpp, u poslednjem redu Sl. 5(a) prikazan je i odnos srednjih vrednosti bpp JPEG komprimovanih slika i srednjih vrednosti bpp BPG i VVC komprimovanih slika. Ovaj odnos je približno u rasponu od dva do pet, gde se dodatno može zaključiti i da je VVC tehnika kompresije efikasnija od generacijski ranije tehnike BPG. Efikasnost VVC i BPG je dodatno potvrđena i preko CR. Ovde treba napomenuti da su predstavljene vrednosti



Sl. 3 PSNR RDCs za tri tehnike kompresije.

CR dobijene usrednjavanjem vrednosti CR pojedinačnih slika, a ne na osnovu srednje vrednosti bpp kompletnog skupa.

Zapažanja koja su navedena za ujednačene vrednosti PSNR, važe i ukoliko se kvalitet komprimovanih slika ujednači i prema SSIM, Sl. 5(b). Ukoliko se kvalitet ujednači prema HaarPSI, Sl. 5(c), kvalitet BPG i VVC komprimovanih slika je prema PSNR i SSIM bolji od JPEG slika, što je dodatna potvrda zapažanja da dominantan tip degradacije utiče na odziv objektivne mere. Međutim, sa stanovišta efikasnosti potvrđena su zapažanja koja važe i za ujednačen kvalitet prema SSIM i PSNR – BPG i VVC tehnike kompresije su dva do pet puta efikasnije od JPEG, pri čemu je prednost na strani VVC.

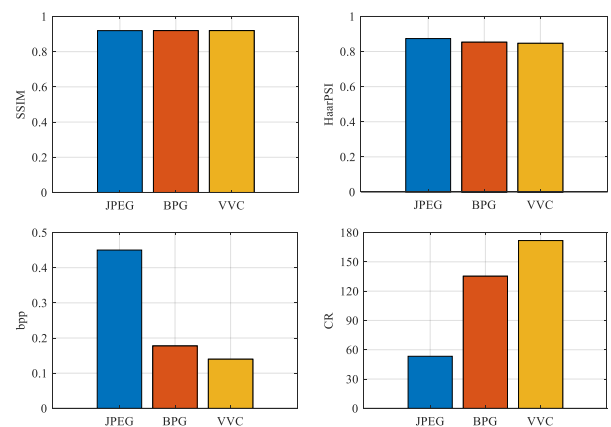
B. Analiza za ujednačene vrednosti bpp

U ovom delu rada ujednačiće se vrednosti bpp komprimovanih slika a poređiće se njihov objektivni kvalitet. Na Sl. 6 prikazani su kvantitativni pokazatelji efikasnosti i kvaliteta komprimovanih slika. Kako su vrednosti bpp ujednačene, to je dovelo i do ujednačenih vrednosti CR. Za isti stepen kompresije uočava se da je prema objektivnim merama procene kvalitet BPG i VVC komprimovanih slika značajno bolji od JPEG slika. Sa povećanjem stepena kompresije (smanjenjem QF) razlika u kvalitetu je sve veća. Ova razlika je predstavljena na Sl. 6(f) kroz razlike vrednosti PSNR, gde se može zaključiti da razlika iznosi približno od četiri do sedam dB. Dodatno, osim za QF=95, može se uočiti da za isti stepen kompresije VVC daje bolji kvalitet komprimovanih slika od BPG.

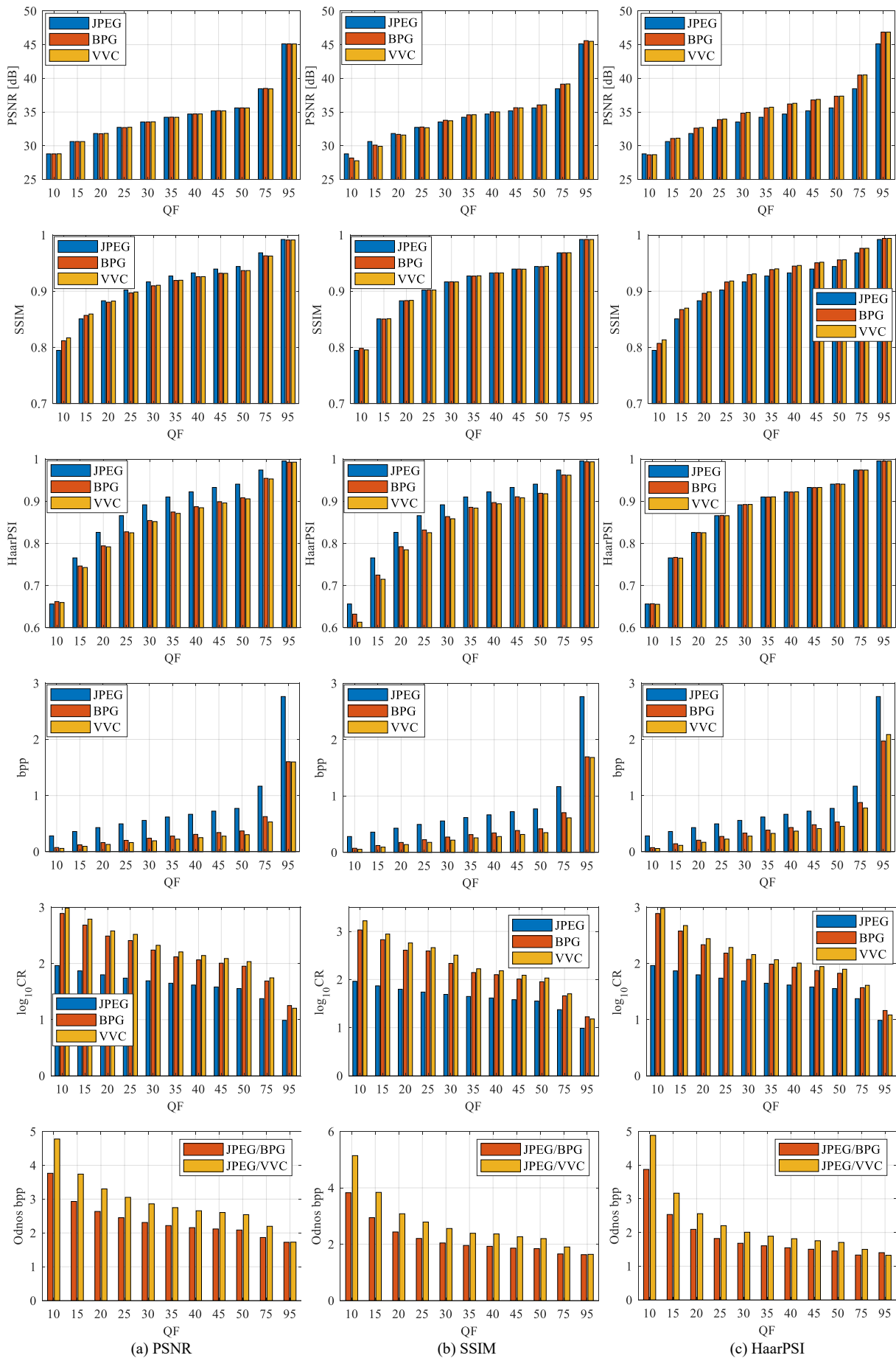
IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu sprovedena je komparativna analiza JPEG, BPG i VVC tehnika kompresije na slikama u boji sistema daljinskog osmatranja. Poređenje je sprovedeno na dva načina: ujednačavanjem objektivnog kvaliteta (PSNR, SSIM i HaarPSI) i ujednačavanjem efikasnosti (bpp/CR).

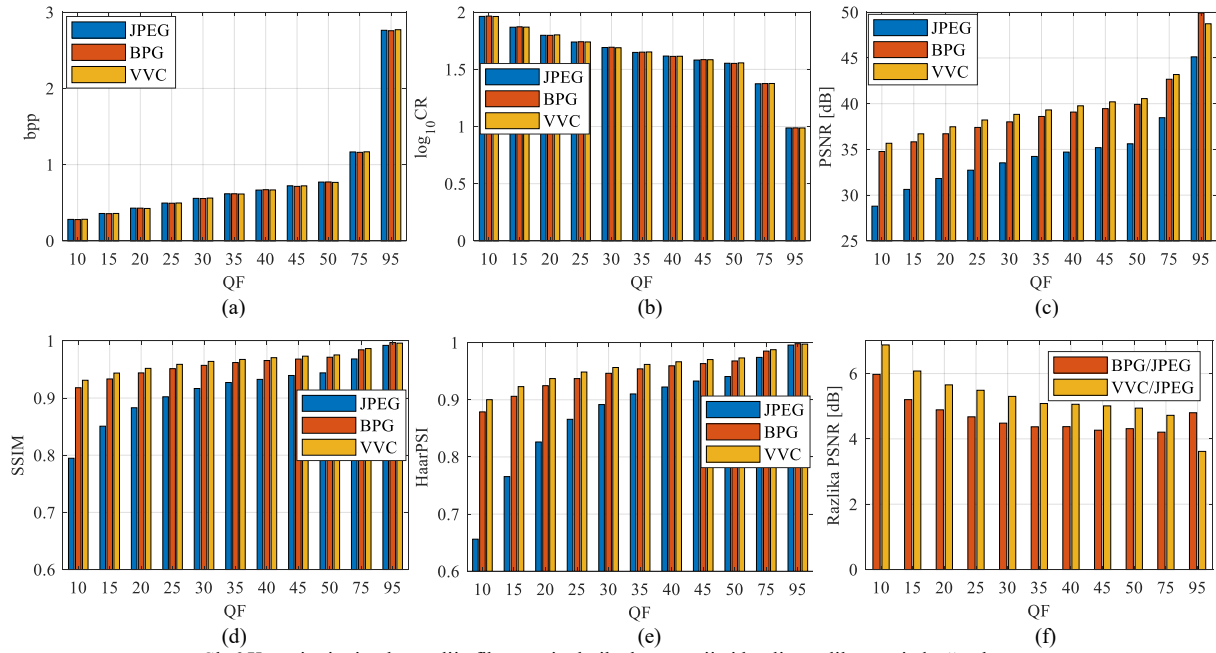
Rezultati analize su pokazali da za isti nivo kvaliteta BPG i VVC ostvaruju dva do pet puta veću uštedu memorijskog prostora u odnosu na JPEG, pri čemu je VVC dosledno efikasniji od BPG. Kada je stepen kompresije ujednačen, BPG i VVC daju značajno bolji objektivni kvalitet – razlike u PSNR dostižu i do 7 dB u korist novijih tehnika. Takođe je uočeno da tip degradacije (blokovski efekat kod JPEG naspram zamućenja kod BPG i VVC) utiče na pojedine objektivne mere, što ukazuje na potrebu opreza pri izboru mere procene kvaliteta slika.



Sl. 4 Objektivni pokazatelji tehnika kompresije za primer sa Sl. 2.



Sl. 5 Kvantitativni pokazatelji kvaliteta slika i efikasnosti tehnika kompresije za ujednačen: (a) PSNR, (b) SSIM i (c) HaarPSI.



Sl. 6 Kvantitativni pokazatelji efikasnosti tehnika kompresije i kvaliteta slika za ujednačen bpp:
(a) bpp, (b) CR, (c) PSNR, (d) SSIM, (e) HaarPSI i (f) razlika PSNR.

Pravci daljih istraživanja prvenstveno se odnose na analizu računarske kompleksnosti razmatranih tehnika, kao i uticaj na rezultate detekcije i prepoznavanja objekata u slici.

LITERATURA

- [1] A. J. Hussain, A. Al-Fayadh and N. Radi, "Image compression techniques: A survey in lossless and lossy algorithms," *Neurocomputing*, vol. 300, pp. 44-69, 2018, doi: 10.1016/j.neucom.2018.02.094.
- [2] O. Y. Al-Jarrah, P. D. Yoo, S. Muhaidat, G. K. Karagiannidis, and K. Taha, "Efficient machine learning for big data: A review," *Big Data Res.*, vol. 2, no. 3, pp. 87-93, 2015, doi: 10.1016/j.bdr.2015.04.001.
- [3] G. K. Wallace, "The JPEG still picture compression standard," *Commun. ACM*, vol. 34, no. 4, pp. 30-44, 1991, doi: 10.1145/103085.103089.
- [4] Y. Wang and D. Mukherjee, "The discrete cosine transform and its impact on visual compression: Fifty years from its invention [Perspectives]," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 40, no. 6, pp. 14-17, 2023, doi: 10.1109/MSP.2023.3282775.
- [5] B. P. Bondžulić, N. M. Stojanović, V. V. Lukin and S. S. Kryvenko, "Visually lossless image compression: From JPEG to BPG and vice versa," *IEEE Signal Process. Letters*, vol. 32, pp. 2942-2946, 2025, doi: 10.1109/LSP.2025.3587601.
- [6] Recommendation ITU-T H.266 (V3) (09/2023), "Versatile video coding". International Telecommunication Union, Geneva, Switzerland, 2023.
- [7] Z. Wang and A. C. Bovik, "Mean squared error: Love it or leave it? A new look at signal fidelity measures," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 26, no. 1, pp. 98-117, 2009, doi: 10.1109/MSP.2008.930649.
- [8] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004, doi: 10.1109/TIP.2003.819861.
- [9] R. Reisenhofer, S. Bosse, G. Kutyniok and T. Wiegand, "A Haar wavelet-based perceptual similarity index for image quality assessment," *Signal Process. Image Commun.*, vol. 61, pp. 33-43, 2018, doi: 10.1016/j.image.2017.11.001.
- [10] J. Ding, N. Xue, G. S. Xia, X. Bai, W. Yang, M. Y. Yang, S. Belongie, J. Luo, M. Datcu, M. Pelillo and L. Zhang, "Object detection in aerial images: A large-scale benchmark and challenges," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 44, no. 11, pp. 7778-7796, 2021, doi: 10.1109/TPAMI.2021.3117983.
- [11] T. Adli, D. Bujaković, B. Bondžulić, M. Z. Laidouni and M. Andrić, "Robustness of YOLO models for object detection in remote sensing images," *J. Electr. Eng.*, vol. 76, no. 5, pp. 429-442, 2025, doi: 10.2478/jee-2025-0045.
- [12] H. Yu and S. Winkler, "Image complexity and spatial information," in *Proc. IEEE 5th Int. Workshop Qual. Multimed. Exp. (QoMEX)*, pp. 12-17, Klagenfurt, Austria, July 03-05, 2013, doi: 10.1109/QoMEX.2013.6603194.
- [13] D. Hasler and S. E. Suesstrunk, "Measuring colourfulness in natural images," in *Proc. Hum. Vis. Electronic Imaging VIII*, vol. 5007, SPIE, pp. 87-95, Santa Clara, CA, USA, June 17, 2003, doi: 10.1117/12.477378.
- [14] F. Bellard, "BPG image format." Accessed: Apr. 01, 2026. [Online]. Available: <https://bellard.org/bpg/>
- [15] BPGconv 2.5, Accessed: Apr. 01, 2026. [Online]. Available: <https://bpgconv.software.informer.com/>
- [16] VTM Reference Software for VVC, Accessed: Apr. 01, 2026. [Online]. Available: https://vcgit.hhi.fraunhofer.de/jvet/VVCSoftware_VTM

ABSTRACT

In this paper, a comparative analysis of JPEG, BPG and VVC compression techniques on remote sensing system images is performed. The DOTA v1.0 image database is used, containing images from GF-2 and JL-1 satellites, as well as from the Google Earth platform. After dividing the original images into blocks of dimensions 1024×1024 pixels, a set of 15749 images is created, out of which 90 are randomly selected for testing. The quality of compressed images is assessed using three objective quality metrics, while compression efficiency is expressed in terms of bits per pixel and compression ratio. The comparison is performed by aligning the objective quality and by aligning the compression ratio. The results show that, for the same level of quality, BPG and VVC achieve two to five times greater memory savings compared to JPEG. At the same compression ratio, BPG and VVC provide better objective quality, with differences in peak signal-to-noise ratio of up to 7 dB. It was also observed that the type of degradation affects quality metrics in varying ways.

Comparative analysis of JPEG, BPG and VVC compression techniques on remote sensing system images

Nikola Bukvić, Boban Bondžulić,
Milenko Andrić and Dimitrije Bujaković