

<https://doi.org/10.37528/FTTE/9788673954165/POSTEL.2022.031>

ANALIZA OBJEKTIVNIH PROCENA KVALITETA KOMPRIMOVANIH VIDEO SEKVENCI IZ VIDLJIVOG I INFRACRVENOG DELA ELEKTROMAGNETNOG SPEKTRA

Boban Pavlović, Milica Uzelac, Boban Bondžulić
Univerzitet odbrane u Beogradu – Vojna akademija
bobanpav@yahoo.com, milica.uzelac80@gmail.com, bondzulici@yahoo.com

Rezime: *U radu su analizirane objektivne procene kvaliteta test sekvenci iz vidljivog i infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. Test sekvence su dobijene primenom H.264 i H.265 tipova kompresije, pri čemu je korišćeno po osam izvornih sekvenci iz oba spektralna opsega, trajanja po 20 s. Analiza kvaliteta je sprovedena u funkciji faktora kvaliteta i bitskih protoka. U objektivnoj proceni kvaliteta kao kvantitativni pokazatelji korišćeni su vršni odnos signal/šum i indeks strukturne sličnosti. Primenom objektivnih mera pokazano je da je prednost u kvalitetu na strani H.265 kompresije bez obzira na spektralni opseg iz koga potiču izvorne sekvence. Značajan doprinos rada predstavlja analiza kvaliteta sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra jer je veoma mali broj istraživanja posvećen uticaju kompresije na njihov kvalitet. Kako bi se potvrdili rezultati objektivnih mera u daljem radu će se sprovesti subjektivne evaluacije kvaliteta.*

Ključne reči: *H.264 i H.265 kompresija, indeks strukturne sličnosti (SSIM), vršni odnos signal/šum (PSNR), vidljivi i infracrveni deo elektromagnetnog spektra*

1. Uvod

Kompresijom slika i video signala se smanjuju zahtevi po pitanju kapaciteta kanala za prenos, smanjuje se vreme prenosa, a smanjuju se i zahtevi za memorijske resurse neophodne za arhiviranje komprimovanog sadržaja. Zahtevi krajnjih korisnika (posmatrača) po pitanju kvaliteta vizuelnih sadržaja su uvek visoki, te je iz tog razloga potrebno naći kompromis između zadovoljavajućeg kvaliteta i stepena kompresije [1].

Primena kamera koje rade u infracrvenom (engl. *Infrared*, IR) delu elektromagnetnog spektra je nekada bila rezervisana za vojne i medicinske svrhe. Pad cena ovih sistema doveo je do toga da je danas opseg aplikacija značajno proširen. Danas se IR kamere koriste u inspekciji i održavanju zgrada i energetskih sistema, operacijama traganja i spašavanja, praćenju života divljih životinja, detekciji defekata u materijalima, u borbi sa požarima, detekciji i prepoznavanju lica i sl. [2].

Iako je sadržaj IR slika i slika iz vidljivog opsega talasnih dužina iste scene korelisan kroz oblike objekata i njihove granice, između njih postoje značajne razlike u kontrastu i teksturi. Razlike između slika dolaze zbog korišćenja senzora koji imaju različite principe rada, ali i zbog korišćenja različitih talasnih opsega – vidljivi opseg je od

380 do 780 nm, dok je IR opseg od 0.75 do 15 μm . U poređenju sa slikama iz vidljivog opsega talasnih dužina mogu se naglasiti sledeće karakteristike IR slika: niska rezolucija, slab kontrast, nejasne ivice, slaba oštrina slike, uočljiv šum zbog matrice detektora, kolor paleta ili reprezentacija sivog se razlikuju od onoga što vidi ljudsko oko [3].

Prostorna rezolucija IR senzora je niža od rezolucije senzora koji rade u vidljivom opsegu talasnih dužina, ali iz godine u godinu se njihova rezolucija povećava, a povećava se i broj bita za reprezentaciju jednog piksela (sa 8 na 14 ili 16 bita), tako da je i kod IR sistema bitna kompresija izlaznih slika i videa. Radovi u kojima se analizira kvalitet slika iz IR dela elektromagnetnog spektra su u najvećem broju slučajeva razmatrali potiskivanje šuma, korekciju neuniformnosti, poboljšanje kvaliteta, mapiranje tonaliteta, a veoma mali broj istraživanja je posvećen uticaju kompresije na kvalitet IR slika i videa.

U radu [4] je analizirana kompresija IR slika sa tri kodeka – JPEG 2000, JPEG-XT i H.265/HEVC. Primenom objektivnih mera zaključeno je da JPEG 2000 i H.265 daju bolje rezultate nego JPEG-XT. Pri tome JPEG 2000 daje bolje rezultate za reprezentacije piksela niže od 1.4 bpp, dok H.265 ima bolje performanse za opseg od 1.4 do 6.5 bpp.

Uticaj H.264 kompresije na kvalitet IR video sekvenci je u radu [5] analiziran primenom objektivnih mera procene kvaliteta. U radu je predložena mera bez referenciranja za predikciju objektivnih skorova mera sa potpunim referenciranjem.

U [6] se mogu naći informacije o H.264 i JPEG 2000 sistemima kodovanja IR slika, kao i preporuke o njihovim profilima i konfiguracijama za potrebe daljinskog osmatranja. Po pravilu H.264 je davao bolje rezultate kod kompresije standardnih formata pokretnih slika kao u difuziji, dok su performanse JPEG 2000 formata bile bolje kod kodovanja slika visoke rezolucije i/ili veće dubine. Takođe, autori su sugerisali da se prate preporuke i standardi tela *Motion Imagery Standards Boards* (MISB), a koje je objavilo izveštaje o kompresiji slika i videa 2014. i 2019. godine [7, 8]. Kao održivi standardi kompresije preporučeni su H.265/HEVC, H.264/AVC i H.262/MPEG-2. Predloženo je da H.265/HEVC tehnika kompresije zameni H.264/AVC zbog približno dva puta bolje efikasnosti kodovanja. Pod tim se misli na redukciju količine podataka od 50% za zahtevani kvalitet slike ili bolji kvalitet za istu količinu podataka.

Kvalitet IR slika kroz subjektivne testove je razmatran za različite potrebe (identifikacija požara, nedestruktivno testiranje, poboljšanje kvaliteta, rekonstrukcija, inspekcija rada energetskih sistema, ...), pri čemu je u svega nekoliko radova razmatran kvalitet IR slika sa kompresijom [9, 10]. Rezultati subjektivnih testova iz [9] nisu dostupni, dok su rezultati subjektivnih testova procene kvaliteta JPEG i JPEG 2000 komprimovanih IR slika iz [10] javno dostupni. Umesto subjektivnih procena kvaliteta, na raspolaganju su brojne objektivne mere, kojima se evaluacija kvaliteta može sprovesti u realnom vremenu, bez posmatrača i vremenski dugih i skupih subjektivnih testova [11].

Rad je organizovan na sledeći način. Nakon uvodnog dela, u drugom delu rada opisan je način formiranja baze komprimovanih video sekvenci. U trećem delu rada analizirani su rezultati procene kvaliteta dobijenih sekvenci primenom objektivnih mera. U poslednjem delu rada sumirani su rezultati istraživanja i dati pravci budućeg rada.

2. Opis korišćenih sekvenci

U analizi je korišćeno 16 video sekvenci, od čega je osam iz vidljivog, a osam iz IR dela elektromagnetnog spektra. Trajanje svih sekvenci je po 20 s, a kadrovi unutar

sekvenci su rezolucije 480x640 piksela. Tempo sekvenci iz vidljivog dela spektra je 30 fps, a iz IR 25 fps. Na slici 1 su prikazani odabrani kadrovi svih video sekvenci. Sekvence koje su korišćene prikazuju iste scene snimljene sa kamerama iz vidljivog i IR opsega, pri čemu korišćene sekvence nisu vremenski i prostorno registrovane.



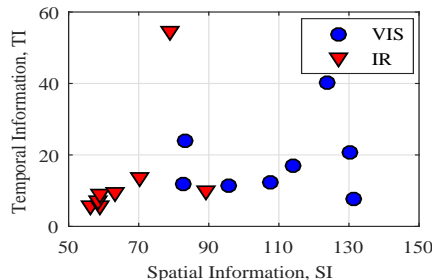
Slika 1. Prikaz odabranih kadrova korišćenih sekvenci

Za analizu kompleksnosti i varijeteta izvornih video sekvenci često se koriste parametri koji su poznati kao prostorna (eng. *Spatial Information*, SI) i vremenska informacija ili aktivnost (engl. *Temporal Information*, TI), a koji se određuju kao:

$$SI = \max_{u \text{ vremenu}} \left\{ std_{u \text{ prostoru}} \left[Sobel \left(F_n(i, j) \right) \right] \right\} \quad (1)$$

$$TI = \max_{u \text{ vremenu}} \left\{ std_{u \text{ prostoru}} \left[M_n(i, j) \right] \right\} \quad (2)$$

gde F_n predstavlja komponentu osvetljaja video sekvence u trenutku n , (i, j) su prostorne koordinate, std predstavlja standardnu devijaciju, a \max je maksimalna vrednost. Sa M_n je označena razlika između dva susedna kadra ($F_n - F_{n+1}$) [12]. Prilikom određivanja prostorne informacije koristi se Sobel prostorna maska dimenzija 3x3 piksela. Na slici 2 su prikazane vrednosti SI i TI svih 16 izvornih sekvenci, gde se može zaključiti da su kod većine IR sekvenci vrednosti ovih parametara niže od vrednosti sekvenci iz vidljivog dela spektra.

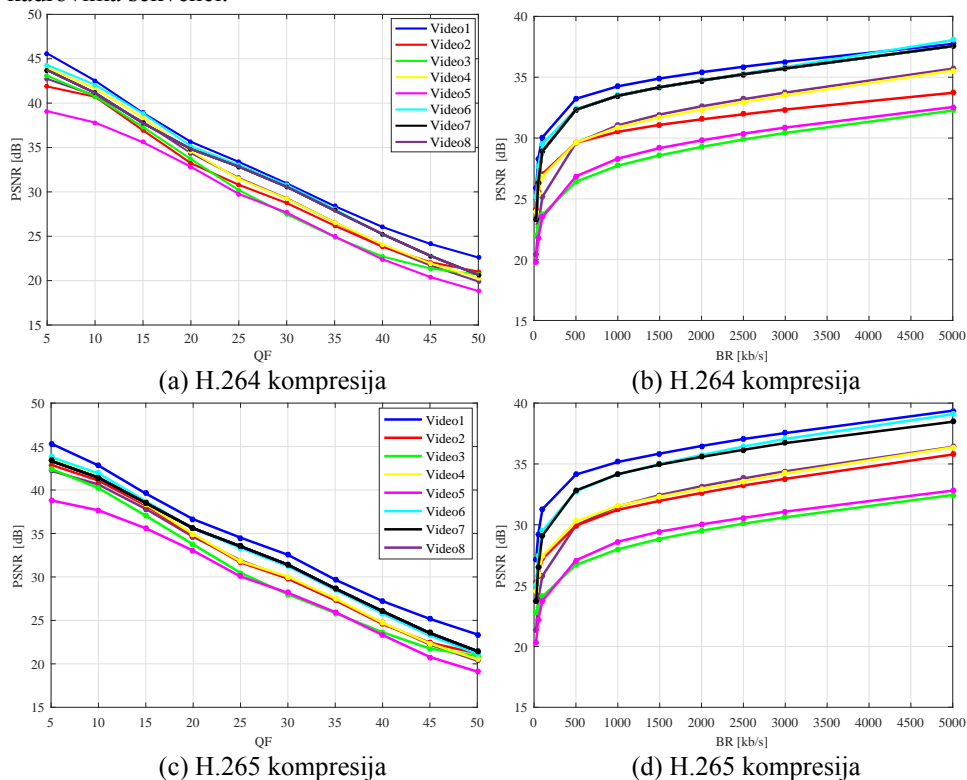


Slika 2. Prostorne i vremenske informacije izvornih video sekvenci

Kompresija izvornih sekvenci sprovedena je korišćenjem softverskog alata *HandBrake* [13], za oba standarda kompresije – H.264/AVC i H.265/HEVC. U prvom ciklusu izvršena je kompresija izvornih sadržaja za različite faktore kvaliteta (engl. *Quality Factor*, QF), gde su usvojene vrednosti QF od 5 do 50, sa korakom od 5. U drugom ciklusu izvršena je kompresija izborom bitskog protoka (eng. *Bit Rate*, BR), za koji su izabrane vrednosti 25, 50, 100, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 i 5000 kb/s. Na ovaj način formirana je baza koja sadrži 640 komprimovanih video sekvenci.

3. Analiza objektivnih procena kvaliteta komprimovanih video sekvenci

Jedna od najčešće korišćenih objektivnih mera je vršni odnos signal/šum (engl. *Peak Signal-to-Noise Ratio*, PSNR) [11]. Na slici 3 je prikazana zavisnost PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam sekvenci iz vidljivog dela spektra. Krajnja vrednost PSNR dobijena je usrednjavanjem po svim kadrovima sekvenci.

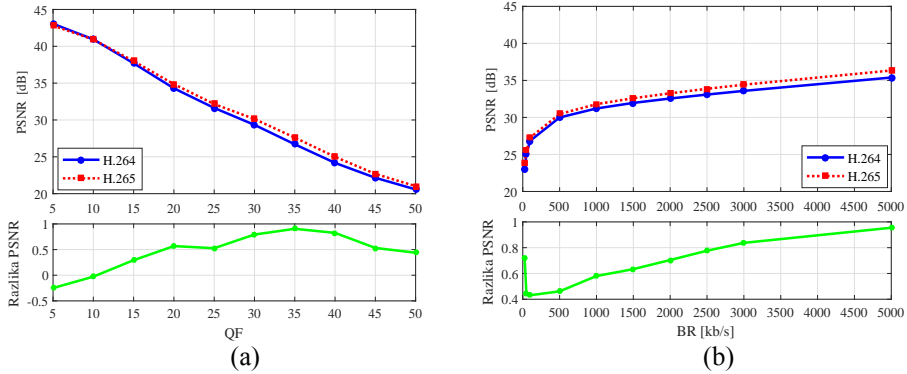


Slika 3. Prikaz zavisnosti PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra

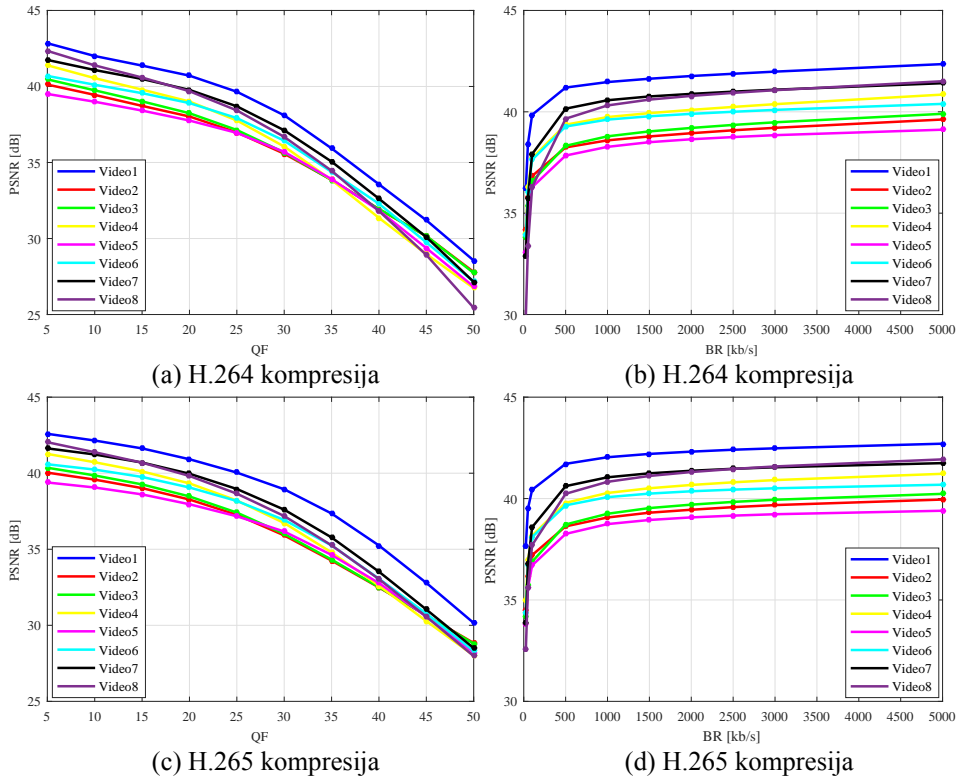
Sa slika 3a i 3c se može uočiti da sa povećanjem faktora kvaliteta dolazi do linearnog pada vrednosti PSNR po oba standarda kompresije. Takođe, sa slika 3b i 3d se može uočiti da sa povećanjem bitskog protoka dolazi do porasta vrednosti PSNR, sa sličnim trendovima po oba standarda kompresije. U ovom slučaju se može uočiti da

promena vrednosti PSNR ima jedan trend do 1000 kb/s, a nakon toga se može govoriti o linearnom porastu PSNR sa povećanjem bitskog protoka.

Na slici 4 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR.



Slika 4. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka

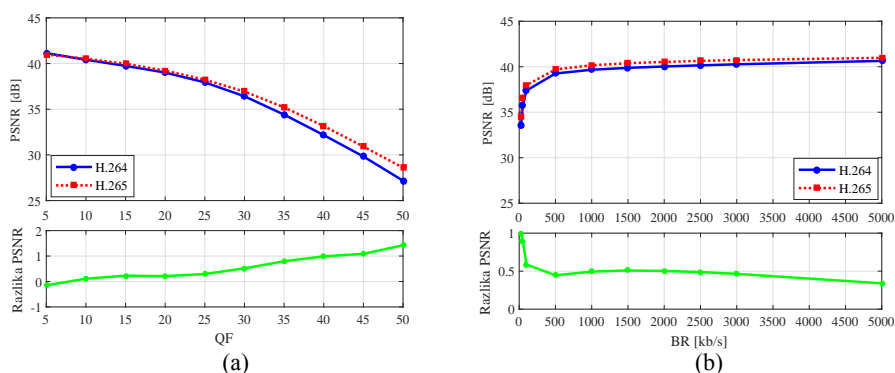


Slika 5. Prikaz zavisnosti PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra

Sa slike 4 se može uočiti prednost u PSNR objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom (jedini izuzetak je slučaj za QF=5, što odgovara izuzetno visokom kvalitetu sa PSNR oko 43 dB). Za izabrane vrednosti QF i bitskog protoka razlika u vrednostima PSNR je do 1 dB. Ako se na slici 4b kao ciljna vrednost PSNR usvoji 32 dB, može se zaključiti da se ona dostiže primenom H.265 kompresije uz bitski protok od 1000 kb/s, odnosno primenom H.264 kompresije uz bitski protok od 1500 kb/s.

Ista analiza vrednosti PSNR urađena je i za osam video sekvenci iz IR dela spektra. Na slici 5 je prikazana zavisnost PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam izabranih sekvenci. Sa slike 5 se mogu uočiti slični trendovi zavisnosti PSNR od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije. Za razliku od slika iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra (slike 3a i 3c), zavisnost PSNR od faktora kvaliteta kod IC slika nije linearna (slike 5a i 5c).

Na slici 6 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz IR dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR.

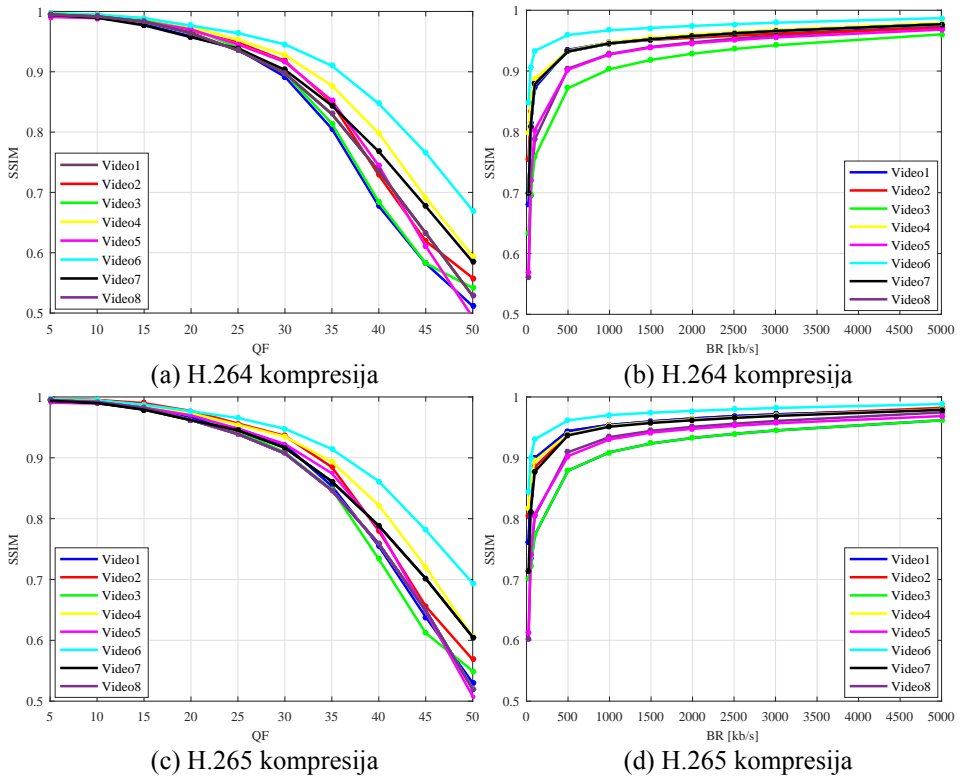


Slika 6. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti PSNR za svih osam sekvenci iz infracrvenog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka

Sa slike 6 se može uočiti prednost u PSNR objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom i kod sekvenci iz infracrvenog dela spektra. Za izabrane vrednosti QF i BR razlika u vrednostima PSNR je do 1.5 dB. Ako se na slici 6b kao ciljna vrednost PSNR usvoji 40 dB, može se zaključiti da se ona dostiže primenom H.265 kompresije uz bitski protok od 800 kb/s, odnosno primenom H.264 kompresije uz bitski protok od 2000 kb/s. Poređenjem zavisnosti PSNR od bitskih protoka sa slika 4b i 6b može se zaključiti da se za isti protok dobijaju sekvence boljeg objektivnog kvaliteta iz IR opsega (sekvence iz vidljivog opsega su u boji, dok su IR sekvence monohromatske).

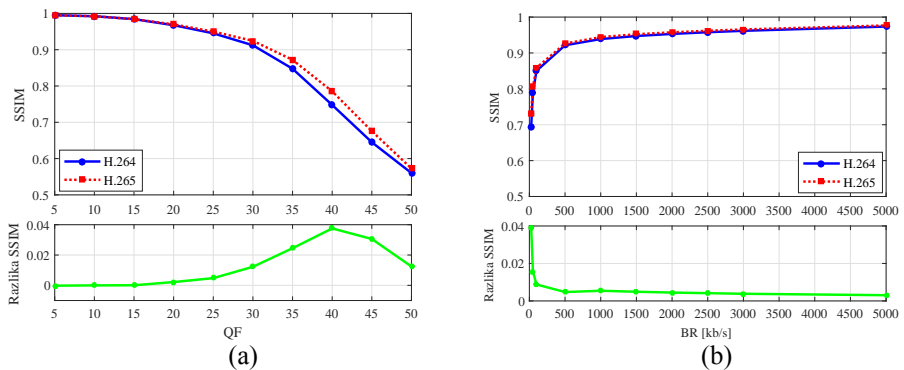
Na slici 7 je prikazana zavisnost indeksa strukturne sličnosti (engl. *Structural Similarity Index*, SSIM) [14] od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam sekvenci iz vidljivog dela spektra. Sa slike 7 se može uočiti da sa povećanjem faktora kvaliteta dolazi do pada vrednosti PSNR, sa sličnim trendovima po oba standarda kompresije. Takođe se može uočiti da sa povećanjem bitskog protoka dolazi do porasta vrednosti PSNR, sa sličnim trendovima po oba standarda kompresije. U ovom slučaju se može uočiti da promena vrednosti PSNR ima jedan trend do 1000 kb/s, a nakon toga se može govoriti o linearnom porastu PSNR sa povećanjem bitskog protoka. Dodatno se može uočiti da su razlike u objektivnom SSIM kvalitetu između sekvenci

manje ukoliko se kompresija sprovodi sa nižim vrednostima QF, odnosno ukoliko se koriste veće vrednosti bitskog protoka (što odgovara boljem vizuelnom kvalitetu).



Slika 7. Prikaz zavisnosti SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz vidljivog dela elektromagnetnog spektra

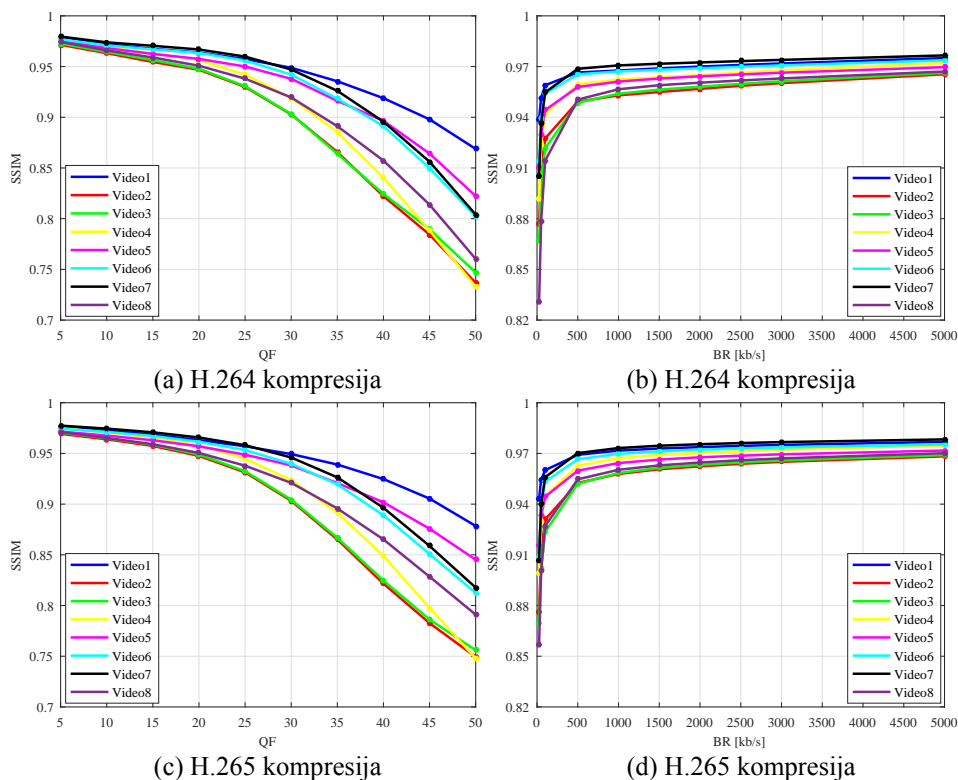
Na slici 8 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR.



Slika 8. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz vidljivog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka

Sa slike 8 se može uočiti prednost u SSIM objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom. Razlika je manja ukoliko je stepen kompresije manji (niže vrednosti QF i veće vrednosti bitskog protoka).

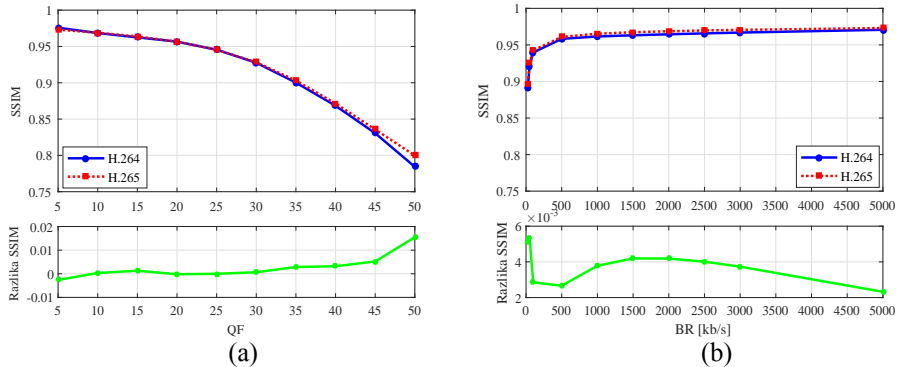
Ista analiza vrednosti SSIM urađena je i za osam video sekvenci iz infracrvenog dela spektra. Na slici 9 je prikazana zavisnost SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije za osam izabranih sekvenci.



Slika 9. Prikaz zavisnosti SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka za osam sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra

Sa slike 9 se mogu uočiti slični trendovi zavisnosti SSIM od faktora kvaliteta i bitskog protoka po oba standarda kompresije. Takođe se može uočiti da su manje razlike SSIM vrednosti između različitih sekvenci za manji stepen kompresije (niže vrednosti faktora kvaliteta i veće vrednosti bitskog protoka).

Na slici 10 je dat uporedni prikaz srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz IR dela spektra za oba standarda kompresije, u zavisnosti od QF i BR. Sa slike 10 se može uočiti prednost u SSIM objektivnom kvalitetu H.265 nad H.264 kompresijom i kod sekvenci iz infracrvenog dela spektra. Poređenjem slika 8b i 10b može se zaključiti da se SSIM vrednost kvaliteta od 0.96 dostiže sa bitskim protokom od 500 kb/s kod IR sekvenci, odnosno sa bitskim protokom od 2500 kb/s kod sekvenci iz vidljivog dela spektra. Za maksimalni bitski protok SSIM objektivni kvalitet je oko 0.97.



Slika 10. Prikaz zavisnosti srednjih vrednosti SSIM za svih osam sekvenci iz infracrvenog dela spektra za oba standarda kompresije od: (a) faktora kvaliteta i (b) bitskog protoka

4. Zaključak

U radu je analiziran kvalitet H.264 i H.265 komprimovanih video sekvenci primenom dve objektivne mere procene kvaliteta. Komprimovane sekvence su dobijene polazeći od osam izvornih sekvenci iz vidljivog i osam izvornih sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra. Analiza kvaliteta je sprovedena u funkciji faktora kvaliteta i bitskih protoka. Analizom rezultata objektivnih mera pokazano je da je prednost u kvalitetu na strani H.265 kompresije bez obzira na spektralni opseg iz koga potiču izvorne sekvence. Razlika u kvalitetu zavisi od faktora kvaliteta i bitskog protoka. Za izabrane vrednosti faktora kvaliteta i bitskih protoka maksimalna razlika je iznosila 1 dB kod komprimovanih sekvenci iz vidljivog, odnosno 1.5 dB kod komprimovanih sekvenci iz infracrvenog dela spektra.

Analizi uticaja kompresije na kvalitetet sekvenci iz infracrvenog dela elektromagnetnog spektra posvećen je veoma mali broj istraživanja. Zbog toga će se u daljem radu sprovesti subjektivne i objektivne evaluacije kvaliteta komprimovanih sadržaja, uz proširenje tehnika kompresije sa H.266/VVC.

Literatura

- [1] G. Lu, X. Zhang, W. Ouyang, L. Chen, Z. Gao, and G. Xu, "An end-to-end learning framework for video compression", *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 43, no. 10, pp. 3292-3308, 2021. DOI: 10.1109/TPAMI.2020.2988453
- [2] R. Gade, and T. B. Moeslund, "Thermal cameras and applications: a survey", *Mach. Vis. Appl.*, vol. 25, pp. 245–262, 2014. DOI: 10.1007/s00138-013-0570-5
- [3] R. Dulski, P. Powalisz, M. Kastek, and P. Trzaskawka, "Enhancing image quality produced by IR cameras", in *Proc. SPIE 7834, Electro-Optical and Infrared Systems: Technology and Applications VII*, article No. 783415, 2010. DOI: 10.1117/12.864979
- [4] C. Mantel, and S. Forchhammer, "Compression of infrared images", *Visual Information Processing and Communication VIII*, vol. 6, pp. 21-26, 2017. DOI: 10.2352/ISSN.2470-1173.2017.2.VIPC-401
- [5] K. Hossain, C. Mantel, and S. Forchhammer, "No-reference prediction of quality metrics for H.264-compressed infrared sequences for unmanned aerial vehicle

- applications”, *Journal of Electronic Imaging*, vol. 28, no. 4, article No. 043012, Jul/Aug 2019. DOI: 10.1117/1.JEI.28.4.043012
- [6] *Digital Motion Imagery Compression Best Practices Guide – A Motion Imagery Standards Profile (MISP) Compliant Architecture*, Published by Secretariat, Range Commanders Council, U.S. Army White Sands Missile Range, June 2012.
- [7] *Compression for infrared motion imagery*, Motion Imagery Standards Board, MISB ST 0404.1, February 2014.
- [8] *Motion imagery standards profile*, Motion Imagery Standards Board, MISP-2020.1, October 2019.
- [9] H. Chen, J. M. Irvine, Z. Wang, G. Chen, E. Blasch, and J. Nagy, “Predicting interpretability loss in thermal IR imagery due to compression”, in *Proc. IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR)*, pp. 1-6, 2018. DOI: 10.1109/AIPR.2018.8707416
- [10] O. Zelmati, B. Bondžulić, B. Pavlović, I. Tot, and S. Merrouche, “Study of subjective and objective quality assessment of infrared compressed images”, *Journal of Electrical Engineering*, vol. 73, no. 2, pp. 73-87, 2022. DOI: 10.2478/jee-2022-0011
- [11] N. Tošić, N. Stojković, A. Samčović, S. Mladenović, S. Janković, “Komparativna analiza video kompresije MPEG-4, H.264/AVC i H.265/HEVC standarda”, *XVI međunarodni naučno-stručni simpozijum INFOTEH-JAHORINA 2017*, Zbornik radova, str. 603-608, mart 2017.
- [12] *Methodologies for the subjective assessment of the quality of television images*, Recommendation ITU-R BT.500-14, 10/2019.
- [13] HandBrake: The open source video transcoder, Available at: <https://handbrake.fr/>
- [14] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, “Image quality assessment: from error visibility to structural similarity”, *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, 2004. DOI: 10.1109/TIP.2003.819861

Abstract: *The paper analyzed objective quality assessments of test sequences from the visible and infrared parts of the electromagnetic spectrum. The test sequences were obtained using H.264 and H.265 compression types, where eight source sequences from both spectral ranges of 20 s duration were used. The quality analysis was carried out in terms of quality factors and bit rates. In the objective assessment of quality, the peak signal-to-noise ratio and the structural similarity index were used as quantitative indicators. Using objective measures, it was shown that the advantage in quality is on the side of H.265 compression, regardless of the spectral range from which the source sequences originate. A significant contribution of the paper is the analysis of the quality of sequences from the infrared part of the electromagnetic spectrum, because very little research is devoted to the impact of compression on their quality. In order to confirm the results of objective measures, subjective quality evaluations will be carried out in further work.*

Keywords: *H.264 and H.265 compression, structural similarity index, peak signal-to-noise ratio, visible and infrared parts of the electromagnetic spectrum*

ANALYSIS OF OBJECTIVE ASSESSMENTS OF THE QUALITY OF COMPRESSED VIDEO SEQUENCES FROM THE VISIBLE AND INFRARED PARTS OF THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM

Boban Pavlović, Milica Uzelac, Boban Bondžulić