

Utjecaj izvora digitalne slike na uspješnost ocjene kvalitete slike objektivnim metodama

Maričić, Ante

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:696808>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-17**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

Sveučilišni studij

**UTJECAJ IZVORA DIGITALNE SLIKE NA
USPJEŠNOST OCJENE KVALITETE SLIKE
OBJEKTIVNIM METODAMA**

Završni rad

Ante Maričić

Osijek, 2019.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1 Zadatak završnog rada	2
2. METODE ZA OCJENU KVALITETE SLIKE.....	3
2.1 Podjela metoda za obradu kvalitete slike prema izvoru ocjene.....	3
2.2 Subjektivne metode za ocjenu kvalitete slike.....	3
2.3 Podjela objektivnih metoda za obradu kvalitete slike s obzirom na zahtjev za dostupnošću referentne slike	4
2.3.1 Ocjena kvalitete slike koja zahtijeva pristup potpunoj referentnoj slici (engl. <i>Full Reference IQA</i>).....	5
2.3.2 Ocjena kvalitete slike koja zahtijeva pristup dijelu informacija o referentnoj slici (engl. <i>Reduced Reference IQA</i>).....	5
2.3.3 Ocjena kvalitete slike koja ne zahtijeva pristup referentnoj slici (engl. <i>No Reference IQA</i>).....	5
2.4 Najčešće korištene objektivne metode za ocjenu kvalitete slike.....	5
2.4.1 MSE.....	6
2.4.2 PSNR.....	6
2.4.3 SSIM.....	6
2.4.4 MS-SSIM	7
3. FORMATI ZA POHRANU MIRNIH SLIKA	9
3.1 Podjela na bitmap slike i na vektorsku grafiku.....	9
3.2 Najčešće korišteni bitmap formati za pohranu mirnih slika	10
3.2.1 JPEG.....	10
3.2.2 BMP	10
3.2.3 PNG.....	11
3.2.4 TIFF.....	11
3.2.5 GIF	11

3.3	Najčešće korišteni formati vektorske grafike za pohranu mirnih slika	11
3.3.1	PS	12
3.3.2	EPS	12
3.3.3	PDF.....	12
4.	OCJENA KVALITETE DIGITALNIH SLIKA GENERIRANIH IZ RAZLIČITIH IZVORA 13	
4.1	Baza slika.....	13
4.2	Opis načina generiranja izobličenih slika.....	17
4.3	Opis subjektivnih eksperimenata i njihovi rezultati	24
4.4	Usporedba subjektivnih i objektivnih rezultata ocjene kvalitete slike	25
4.4.1	Objektivne metode korištene u eksperimentima	25
4.4.2	Korelacija između rezultata subjektivnog ocjenjivanja i rezultata objektivnih metoda 27	
5.	ZAKLJUČAK	32
6.	LITERATURA	33
	SAŽETAK.....	35
	ABSTRACT	36
	PRILOZI.....	37
	ŽIVOTOPIS	38

1. UVOD

Konstantnim rastom i razvojem video-tehnologije, procesiranja i obrade digitalnih i računalno generiranih slika velika se važnost pridaje se kvaliteti sadržaja, odnosno kvaliteti digitalne slike. Visokokvalitetne slike suvremeno čovječanstvo uvelike koristi u mnogobrojnim društvenim i tehnološkim sferama. Tome je pripomogao strahoviti rast i razvoj Interneta, pametnih telefona, televizijskih uređaja, društvenih mreža itd. Slike se svakodnevno koriste za međusobnu komunikaciju, a sve je značajnija i njihova uloga u marketingu, trgovini i ostalim socio-ekonomskim granama. Znatnu upotrebu primjećujemo i u medicini, gdje slika uvelike pridonosi egzaktnoj dijagnozi, koja na koncu može spasiti život.

Napretkom računala, digitalnih kamera i tehnologija koje obuhvaćaju generiranje i obradu slike, postalo je moguće sliku i računalno generirati. Za ocjenu kvalitete digitalno i računalno generiranih slika primjenjuju se subjektivne i objektivne metode. Najreprezentativnija ocjena digitalne ili računalno generirane slike je dana od strane ljudskog oka, a taj način ocjenjivanja se naziva subjektivno ocjenjivanje. Drugi način validacije kvalitete slike provodi se pomoću računala, uz pomoć određenih algoritama ocjene kvalitete slike – to se naziva objektivna ocjena kvalitete slike.

U ovom radu će se komprimirati pet računalno generiranih slika, te pet slika načinjenih digitalnom kamerom kojima će se unutar programskog sučelja *Matlab* mijenjati format, razinu kompresije i kvalitetu. Rad se sastoji od pet poglavlja. Drugo poglavlje ovog rada će se baviti metodama za ocjenu kvalitete slike, odnosno podjelom na subjektivne i objektivne metode ocjene kvalitete slike, te kasnije podjelom objektivnih metoda ocjene kvalitete slike (engl. *full-reference*, *reduced-reference* i *no-reference*). Zatim se, u trećem poglavlju, opisuju formati za pohranu mirnih slika i njihove daljnje podjele (na bitmap slike i na vektorsku grafiku), te područja gdje se najčešće koriste. Potom se slikama, koje su prethodno odabrane, uz pomoć programskog jezika *Matlab* s raznim algoritmima mijenja format, razina kompresije, a samim time i kvaliteta. Rezultati mjerenja objektivnim metodama se zatim, pomoću Pearsonovog linearnog koeficijenta korelacije, uspoređuju s rezultatima subjektivnih metoda, odnosno subjektivnih eksperimenata, te se u posljednjem, petom poglavlju, donosi zaključak.

1.1 Zadatak završnog rada

U ovom radu će se proučiti pet originalnih (neizobličenih) računalno generiranih slika, te pet slika generiranih digitalnom kamerom. Tih deset slika biti će pohranjeno u različitim formatima (.jpeg, .bmp, .png, .tiff) uz pomoć programskog jezika *Matlab*, a time će se mijenjati i njihova razina kompresije, tj. njihova kvaliteta. Rezultate mjerenja objektivnih metoda (ocjene dane od strane računala, odnosno algoritama) se zatim uspoređuje s rezultatima subjektivnih metoda (ocjene prikupljene eksperimentom od strane pet ljudskih promatrača).

2. METODE ZA OCJENU KVALITETE SLIKE

2.1 Podjela metoda za obradu kvalitete slike prema izvoru ocjene

Ocjena kvalitete slike (engl. *Image quality assessment - IQA*), kao što je ranije navedeno, može se odrediti uz pomoć subjektivnih i objektivnih metoda. Valoriziranje kvalitete kod subjektivnog ocjenjivanja vrše ljudi, dok kod objektivnih metoda računalni algoritmi računaju kvalitetu slike. S obzirom na to da su krajnji korisnici multimedijских sadržaja ljudi, subjektivna metoda je najreprezentativniji i najpouzdaniji način ocjene kvalitete slike. Ovu metodu se sprovodi na eksperimentalan način. Grupi ljudi se prikaže isti sadržaj kojeg, da bi se vjerodostojno ocijenio, svi promatraju u istim uvjetima. Veliku ulogu u ovakvoj vrsti ocjenjivanja slike ima i psihofizičko stanje svakog promatrača. Unatoč tome, ova metoda je spora, nepogodna, a uz to zahtijeva određenu količinu vremena i puno resursa. Također, nije ju moguće ukomponirati u stvarno-vremenske aplikacije i programe, kao što su kompresija slike i prijenosni sustavi.

Stoga se koriste objektivne metode, koje uz pomoć matematičkih modela precizno i automatski evaluiraju kvalitetu slike pokušavajući biti što bliže ocjenama dobivenim subjektivnim metodama. Njima se pokušavaju replicirati ocjene kvalitete slike dobivene od strane grupe ljudskih promatrača.

Ovisno o dostupnosti referentne slike (originala), koja je nekomprimirana i čija je kvaliteta savršena, objektivne metode se mogu podijeliti u tri skupine FR (engl. *Full Reference*), NR (engl. *No Reference*), RR (engl. *Reduced Reference*) koje su detaljnije pojašnjene u nastavku rada [1, 2, 3].

2.2 Subjektivne metode za ocjenu kvalitete slike

Kao što je ranije navedeno u radu, prilikom subjektivnih metoda ocjene kvalitete slike konačnu ocjenu daju ljudski promatrači. Te se metode, u potpunosti, oslanjaju na ljudski vizualni sustav. Kako je za ovu metodu najvažniji čovjek, odnosno performanse njegovog vizualnog sustava, veliku ulogu igraju psihofizičko stanje promatrača i sama mogućnost percepcije slike uz pomoć vizualnog sustava koji je kod čovjeka sklon nedostacima. Zbog ovih čimbenika, a i mnogih drugih faktora (uređaj za prikazivanje, osvjetljenje itd.) koji mogu utjecati na konačnu ocjenu kvalitete slike subjektivnom metodom, slike se promatraju i ocjenjuju u standardiziranim uvjetima. Promatračima je omogućeno sliku promatrati u istim uvjetima, tako da bi ocjena kvalitete slike

bila transparentnija. Kada se prikupi dovoljan uzorak ocjena, zbroje se ocjene za svaku pojedinu sliku, a potom se računa srednja ocjena kvalitete slike, npr. *MOS* (engl. *Mean Opinion Score*). Kao što se da naslutiti, ova metoda ocjene kvalitete slike je izuzetno zahtjevna za provedbu. Iziskuje veliku količinu vremena da bi se prikupio dovoljno veliki uzorak ocjena i troši mnoge resurse (prikupljanje i organizacija promatrača, financijski izdaci). Također, nije ju jednostavno ukomponirati u aplikacije i programe za stvarno-vremensku uporabu. Ovisno o načinu ocjene kvalitete slike, subjektivne metode se dijele na: jedno-podražajne ocjene kvalitete s kontinuiranom skalom (engl. *Single Stimulus Continuous Quality Scale*), jedno-podražajne ocjene kvalitete sa skalom izobličenja (engl. *Single Stimulus Impairment Scale*), dvo-podražajne ocjene kvalitete sa skalom izobličenja (engl. *Double Stimulus Impairment Scale*) i dvo-podražajne ocjene kvalitete slike s kontinuiranom skalom (engl. *Double Stimulus Continuous Quality Scale*). U ovom radu, tijekom eksperimentalnog dijela, slike će biti ocjenjene jedno-podražajnom ocjenom kvalitete s kontinuiranom skalom. Ispitanicima će slike biti pokazivane nasumičnim redoslijedom, uz propisano vrijeme unutar kojeg trebaju dati ocjenu. Njihova ocjena je broj između 0 i 100 (sl.2.1).



Slika 2.1 Kontinuirana skala za jedno-podražajnu metodu

2.3 Podjela objektivnih metoda za obradu kvalitete slike s obzirom na zahtjev za dostupnošću referentne slike

Objektivne metode se, prema zahtjevu za pristupu referentnoj slici za vrijeme ocjenjivanja kvalitete, dijele u tri skupine (*FR*, *RR*, *NR*).

2.3.1 Ocjena kvalitete slike koja zahtijeva pristup potpunoj referentnoj slici (engl. *Full Reference IQA*)

Rad ovih metrika se zasniva na tome da cjelokupna referentna slika maksimalne kvalitete bude dostupna u neoštećenom obliku, te se ona uspoređuje s komprimiranom slikom (dobivenom iz originala). Najčešće korištene FR metrike su srednja kvadratna pogreška (engl. *Mean Square Error – MSE*) i njezina logaritamska inačica, vršni odnos signal-šum (engl. *Peak Signal to Noise Ratio – PSNR*). U FR metrike se ubrajaju i neke metrike koje se temelje na oponašanju ljudskog vida [4, 5].

2.3.2 Ocjena kvalitete slike koja zahtijeva pristup dijelu informacija o referentnoj slici (engl. *Reduced Reference IQA*)

Ovo su metrike koje zahtijevaju dostupnost samo nekih značajki referentne slike. One izdvajaju samo neke značajke referentne slike (npr. prostorni detalji) te uspoređuju referentnu i izobličenu sliku na osnovu tih izdvojenih parametara. Usporedbom statističkih podataka dobivenih iz izdvojenih stavki originalnog i izobličnog sadržaja dolazi se do rezultata kvalitete slike. Nastale su zbog povećane želje za konstantnim praćenjem promjenjivih gubitaka kvalitete slike. One zapravo predstavljaju svojevrsan kompromis između NR i FR metrika [4, 5, 6].

2.3.3 Ocjena kvalitete slike koja ne zahtijeva pristup referentnoj slici (engl. *No Reference IQA*)

Ove metrike ne zahtijevaju nikakve informacije o referentnoj slici, najzahtjevnije su za realizaciju, iako su jednostavno koncipirane. One analiziraju samo izobličenu sliku i za njihov proračun nisu potrebne informacije o referentnoj slici. Rezultat ovisi o stavkama ispitne slike. Pristup koji NR metrike koriste najčešće je procjena artefakta stvaranja blokova, što je i najčešći artefakt metoda kompresije kao što su H26x, MPEG i njihovih inačica [4, 5, 6].

2.4 Najčešće korištene objektivne metode za ocjenu kvalitete slike

Postoji mnoštvo objektivnih metoda za ocjenu kvalitete slike, a slijedi pregled najčešće korištenih.

2.4.1 MSE

Jedna od najčešće korištenih metoda za procjenu kvalitete slike je srednja kvadratna pogreška (engl. *Mean Square Error - MSE*) koja je dana formulom

$$MSE = \frac{\sum_i \sum_j (a_{i,j} - b_{i,j})^2}{x \cdot y} \quad (2-1)$$

gdje je:

- $a_{i,j}$ – element originalne slike na lokaciji (i,j) u slici, $i=1, \dots, x, j=1, \dots, y$
- $b_{i,j}$ – element izobličene slike na lokaciji (i,j) u slici, $i=1, \dots, x, j=1, \dots, y$
- x – visina slike u broju elemenata slike
- y – širina slike u broju elemenata slike

2.4.2 PSNR

Vršni odnos signal – šum (engl. *Peak Signal to Noise Ratio*) je logaritamska verzija *MSE*. On je obrnuto proporcionalan srednjoj kvadratnoj pogrešci. Iskazuje se formulom

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^R - 1)^2}{MSE} \quad (2-2)$$

gdje je:

- $2^R - 1$ maksimalna vrijednost koju element slike poprima za R -bitnu sliku (npr. za 8[bit/element slike] maksimalna vrijednost je 255)

Formule (2-1) i (2-2) su izrazito jednostavne, lako ih je implementirati, pa ih to čini najjednostavnijim i najpopularnijim metrikama za procjenu kvalitete slike. Međutim, *MSE* i *PSNR* ne mogu iskazati objektivnu ocjenu kvalitete slike koja bi trebala emulirati ocjene koje daju subjektivne metode. Razlog tomu leži u činjenici da ove dvije metode ne percipiraju pogreške na slikama na način na koji to radi ljudski mozak zajedno s vizualnim osjetilima [4, 6, 7, 8].

2.4.3 SSIM

Indeks strukturalne sličnosti (engl. *Structural Similarity Index*) novija je metoda koja se bavi proračunom sličnosti među dvjema slikama. Za razliku od *MSE* i *PSNR*, ova se metoda prilikom izračuna bavi promjenom kontrasta, promjenom strukture i promjenom luminacije između referentne i izobličene slike. Rezultat se dobiva pomoću blokova (prozora) veličine 8x8 elemenata slike i elemenata izobličene slike. Tri veličine koje se računaju za lokalne prozore su sličnost kontrasta, sličnost svjetline i sličnost strukture između referente i izobličene slike. One se potom

povezuju u jedan *SSIM* indeks koji odaje ukupnu kvalitetu slike [4, 7, 8]. Dakle, računanjem sličnosti luminacije (između referentne i izobličene slike)

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + c_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1} \quad (2-3)$$

sličnosti kontrasta

$$c(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + c_1}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2} \quad (2-4)$$

i sličnost strukture

$$s(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + c_3}{\sigma_x\sigma_y + c_3} \quad (2-5)$$

možemo izračunati indeks strukturalne sličnosti

$$SSIM(x, y) = l(x, y) \cdot c(x, y) \cdot s(x, y) \quad (2-6)$$

gdje su:

- μ_x i μ_y – srednje vrijednosti originalne slike x i komprimirane slike y
- σ_x i σ_y – varijance referentne i izobličene slike
- σ_{xy} – kovarijanca referentne i izobličene slike
- c_1, c_2, c_3 - konstante koje osiguravaju održivost proračuna

Podrobnije pojašnjen način računanja *SSIM*-a može se pronaći u [7, 8].

2.4.4 MS-SSIM

Jedna od metoda koje potječu iz *SSIM* metode je više-razinski indeks strukturalne sličnosti (engl. *Multiscale Structural Similarity Index*). Njome se vrlo jednostavno mogu objediniti detalji slika na različitim rezolucijama. Ovaj pristup pomaže pri kalibriranju parametara (kao npr. udaljenost od slike) koji su značajni na različitim razinama. *MS-SSIM* mjeri *SSIM* na pet različitim razina. Kontrast i struktura računaju se prema formulama (2-3), (2-5). Na idućoj razini slika se filtrira nisko-propusnim filtrom i pod-uzorkuje s faktorom 2 u oba smjera. Na posljednjoj, petoj razini, računa se luminancija prema (2-3). U konačnici, dobije se izraz

$$MS - SSIM = [l_{iM}]^{\alpha_M} \cdot \prod_{i=1}^M [c_{iq}]^{\beta_q} \cdot [s_{iq}]^{\gamma_q} \quad (2-7)$$

gdje je:

- M – označava razinu, u ovom slučaju, M je 5
- c_{iq} i s_{iq} – mjera razlike kontrasta (2-4) i mjera strukturne razlike (2-5)
- l_{iM} – mjera razlike luminancije na M -toj razini (2-3)
- $\alpha_M, \beta_q, \gamma_q$ – faktori koji predstavljaju važnost različitih komponenata

MS-SSIM metrika detaljnije je pojašnjena u [4, 8].

3. FORMATI ZA POHRANU MIRNIH SLIKA

Svaki podatak koji se sprema na računalo, sprema se u binarnom obliku. Tako se i mirne slike, kada se spremaju u računalo, pretvaraju u niz binarnih brojeva. Način na koji se slika pretvara u binarne brojeve naziva se format za pohranu slika.

Postoji mnogo formata za zapis mirnih slika. Oni se načelno dijele u dvije skupine. Prva skupina je vektorska grafika, a druga skupina je bitmap ili raster (rasterska grafika). Ti formati ili koriste ili ne koriste sažimanje (kompresiju, engl. *compression*) podataka. Prilikom kompresije može i ne mora doći do gubitaka, pa se tako razlikuje sažimanje s gubicima (engl. *lossy*) i sažimanje bez gubitaka (engl. *lossless*).

3.1 Podjela na bitmap slike i na vektorsku grafiku

Iako se krajnjem korisniku golim okom čine jednakima, vektorska grafika i bitmap su neusporedive po svojim osnovama funkcioniranja. Temeljna razlika između bitmap slika i vektorske grafike leži u tome da se vektorska grafika temelji na principima geometrije i ona je beskonačna, dok je rasterska grafika (bitmap) konačna i predstavljena je pravokutnom mrežom elemenata slike, odnosno matricom obojenih elemenata slike na odgovarajućem uređaju za prikaz [9, 10].

Vektorska grafika pohranjuje cijelu sliku (oblike kao što su točke, linije, krivulje i vektori) kao matematički zapis. S obzirom na to da se vektori zasnivaju na matematičkim pravilima, oni nemaju poteškoća sa skaliranjem, tj. sa povećanjem ili smanjenjem rezolucije slike. Program će dakle, proračunati koliku rezoluciju korisnik zahtijeva, te će shodno tome dati sliku koja neće biti niže kvalitete, već će samo biti uvećana ili umanjena za prethodno određen iznos. Slika nastala vektorskom grafikom će izgledati jednako, neovisno o rezoluciji u kojoj je prikazana. Vektorska grafika koristi se za logotipe, ilustracije, tehničke crteže, graviranje itd. Primjenjuju se u CAD programu, inženjerstvu, 3D – grafici [11, 12].

Rasterska grafika (bitmap), ima potpuno drugačiji način računalne obrade. Ona sliku prikazuje u nekoliko stotina (ili tisuća, ili milijuna) elemenata slike koji sadrže informacije o boji. Ti elementi slike se nazivaju pikselima, a mreža piksela definira raster. Mijenjanjem intenziteta i boja elemenata slike dobiju se različiti grafički prikazi. Tijekom uporabe rasterske grafike, računalo će primiti informacije koje će odrediti kako obojiti koji element slike u određenom trenutku. Skaliranjem bitmap slika, tj. povećanjem ili smanjenjem njihove rezolucije, uzrokovat će se

promjene u kvaliteti slike. Razlog tomu je u tome što će pojedini programi ili dodati elemente slike kojih nema (pri povećavanju rezolucije) ili stopiti više elemenata slike (pri smanjenju rezolucije) u jedan. Različiti softverski alati i programi olakšavaju detaljniji prikaz i fine gradijente kod rasterske grafike, pa za njom posežu korisnici koji pripadaju artističkom ili estetskom usmjerenju. [11, 12].

Bitno je naznačiti da je količina informacija koje računalo obrađuje u vektorskoj grafici znatno manja od one količine informacija koju računalo obrađuje u rasterskoj grafici, te zbog toga troši manje memorije.

3.2 Najčešće korišteni bitmap formati za pohranu mirnih slika

Neki od najučestalijih bitmap formata za pohranu mirnih slika su *JPEG*, *BMP*, *PNG*, *TIFF*, *GIF*. Slijedi njihov pregled.

3.2.1 JPEG

JPEG ili *JPG* (engl. *Joint Photographic Experts Group*) je kratica koja opisuje udruhu koja je ovaj format zapisa donijela. *JPEG* format sažima podatke uz prisutan gubitak kvalitete slike („lossy“). Primarno se koristi za pohranu fotografija (u digitalnim fotoaparatom). Najrašireniju primjenu ima prilikom prikaza 8-bitnih slika na webu. Gubitak kvalitete slike određen je stupnjem sažimanja (kompresije) podataka. Stupanj sažimanja i gubitak kvalitete slike su proporcionalni. Što je stupanj kompresije veći, veći je i gubitak kvalitete slike. Prednost ovog formata, u odnosu na druge, je u tome što rezultira bitno manjim zauzećem memorijskog prostora u odnosu na *BMP*, *PNG* i *TIFF* formate [9, 11].

3.2.2 BMP

BMP (engl. *Bitmap Image File*) omogućuje zapis podataka bez gubitaka kvalitete slike („lossless“). Najčešće se koristi nesažeti (postoji i sažeti) zapis podataka bez gubitaka u kvaliteti slike. Ovaj format za pohranu mirnih slika sprema rasteriranu grafiku kao binarnu sliku, pa tako za svaki piksel sprema jedan bit. Omogućuje prikaz slika koje se sastoje od 2 do 16777216 boja (ili nijansi sive boje). Koristi se bilo za pohranu jednostavnih slika ili crteža, ili za pohrane fotografija. Ovaj format je podržan na svim programima za obradu slike koji se nalaze na računalima s Windows operacijskim sustavom. *BMP* format za pohranu mirnih slika često se izbjegava. Razlog leži u tome što nesažeti zapis (kod većih rezolucija i većih brojeva boja) zahtijeva znatniju količinu memorije [9, 11].

3.2.3 PNG

PNG (engl. *Portable Document Format*) je nastao kao dopuna formatu *GIF* za isključivu projekciju na ekranima i drugim uređajima za prikaz slike. Komprimira slike bez gubitaka („*lossless*“), te nudi kompresiju slike za 10 do 30 posto veću od *GIF* formata. Ovaj format prikazuje od 8-bitnih slika s 256 boja, do 24-bitnih slika sa 16 milijuna boja. *PNG* pruža podršku za transparentiju koja je definirana alfa-kanalom (engl. *alpha channel*) u vrijednosti skale od 0 do 100 posto, što omogućava djelomično prozirne slike. Predstavlja dobar izbor za web-projekte, a idealan je za spremanje slika u najboljoj kvaliteti [11].

3.2.4 TIFF

TIFF (engl. *Tagged Image File Format*) predstavlja najfleksibilniji format za pohranu mirnih slika. Njime je moguće pohraniti 8, 16, 24, pa čak i 48 bitne slike, a uz to podržava sve boje. On načelno pruža podršku za sažimanje podataka bez gubitaka, no ipak nudi mogućnost odabira između kompresije s gubitkom i kompresije bez gubitka prilikom spremanja dokumenta. Namijenjen je grafičkom dizajnu i tisku, a pojavljuje se i kao jedan od formata za pohranu slika u digitalnim fotoaparatima. Prednost koju ovaj format ima u odnosu na *BMP* je manje zauzeće memorije, a u odnosu na *JPEG* format, daje veću kvalitetu slike [9, 11].

3.2.5 GIF

GIF (engl. *Graphics Interchange Format*) format sažima podatke uz izražene gubitke sadržaja (stepeničasti prijelaz pri stapanju boja, izraženiji kontrast, gubitak finih detalja itd.) („*lossy*“). Broj boja koji pokriva *GIF* format je 256 (ili nijansi sive boje). Karakteristike koje ovaj format izdvajaju od drugih su prozirnost i animacija. Kada se slika spremi u *GIF* (.gif) format, odabire se jedna i samo jedna boja koja će biti prozirna. Kad se takva slika upotrijebi, ispod prozirnih dijelova će se vidjeti pozadina slike. Uz uporabu animacije, tada se postiže privid pokretne slike koja je predviđena za jednostavne pokrete, nikako za nešto kompleksnije (televizijska slika). Ovaj format se ne koristi za pohranu fotografija ili slika koje sadrže u sebi velik broj boja, već se koristi za pohranu jednostavnih slika i crteža u kojima glavnu ulogu ne igraju prijelazi boja [9, 11].

3.3 Najčešće korišteni formati vektorske grafike za pohranu mirnih slika

Formati vektorske grafike koji se najčešće koriste su *PS*, *EPS*, *PDF*. U nastavku predstoji njihov pregled.

3.3.1 PS

PS (engl. *PostScript*) je objektno-orijentirani računalni jezik razvijen za izradu vektorskih grafika, tj. za vektorski opis stranice. Njegova primjena najuočljivija je u grafičkom dizajnu gdje služi kao završni format dokumenta koji se šalje u tisak. *PS* omogućuje stvaranje visokokvalitetnih komponenti stranica, koje mogu sadržavati tekst i razne oblike slika i geometrijskih likova. Omogućuje kvalitetne visoko-rezolucijske izvedbe u uređajima za prikaz, za razliku od bitmap grafika [11].

3.3.2 EPS

EPS (engl. *Encapsulated PostScript*) je dokument koji se sastoji od dva dijela. Prvi dio je nisko-rezolucijski dokument kojeg rabimo kao predložak (engl. *preview*) drugog dokumenta (engl. *postscript*) koji se šalje u tisak. Najčešće se koristi za pohranu gotove vektorske grafike koja će kasnije biti upotrebljiva u svim vektorsko-grafičkim softverima ili programima. *EPS* se naknadno ne prilagođava, već on služi kao preglednik. Istaknuta je njegova uloga u grafičkom dizajnu za potrebe izrade logo-a ili slika s prozirnom pozadinom [11].

3.3.3 PDF

PDF (engl. *Portable Document Format*) reprezentira dokument otvorenog tipa. Postao je standard za razmjenu elektroničkih dokumenata otvorenog tipa. Upotrebljava se za zapis dvodimenzionalnih dokumenata ne brinući pritom o uređaju i rezoluciji ispisa. Svaki PDF dokument unutar sebe ima rasterirani izgled dokumenta (engl. *preview*), tekstove, fontove, linkove, interaktivne gumbove, audio i video zapise, te mnoge druge informacije koje se koriste za prikaz dokumenta na računalu. Za mogućnost rada s ovakvim dokumentima potrebno je na svom računalu imati instalirane odgovarajuće programe koji su besplatni i dostupni su na Internetu [11].

4. OCJENA KVALITETE DIGITALNIH SLIKA GENERIRANIH IZ RAZLIČITIH IZVORA

Ovo poglavlje opisuje praktični dio završnog rada i bavi se ocjenjivanjem digitalnih i računalno generiranih slika iz baze koja je kreirana. Subjektivne i objektivne metode koje mjere kvalitetu komprimiranih slika biti će prikazani u tablicama.

4.1 Baza slika

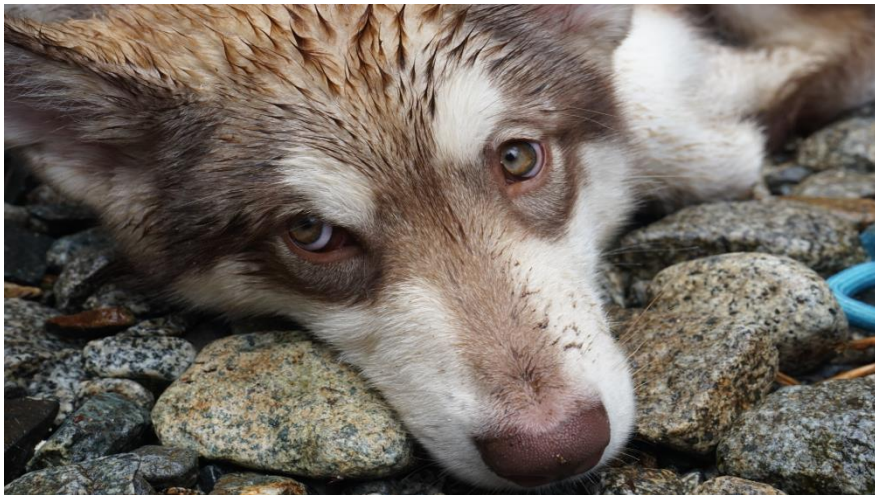
Baza slika koja će se promatrati, generirana je uz pomoć programskog jezika *Matlab*. Odabrano je pet originalnih (nekomprimiranih) slika koje su načinjene digitalnom kamerom, te pet originalnih slika koje su računalno generirane. Slike su inicijalno pohranjene u bitmap (.*bmp*) formatu pri rezoluciji od 1920x1080 piksela. Slike (prikazane na slici 4.1) generirane digitalnom kamerom su *kolodvor*, *leptir*, *pas*, *navijaci*, *planina*. Računalno generirane slike (prikazane na slici 4.2) su *anime*, *crtic*, *patrik*, *pokemon*, *pustinja*. Uporabom *Matlaba* kreirana je baza. Za svaku od deset originalnih slika kreirano je sedam komprimiranih (izobličenih) slika u sljedećim formatima: JPEG10, JPEG40, JPEG80, JPEG100, TIFF, PNG i BMP. Broj koji se nalazi uz „JPEG“ definira odabranu razinu kvalitete prilikom kompresije.



a)



b)



c)



d)



e)

Slika 4.1 Originalne slike generirane digitalnom kamerom pohranjene u bitmap (.bmp) formatu:

a) kolodvor b) leptir c) pas d) navijaci e) planina



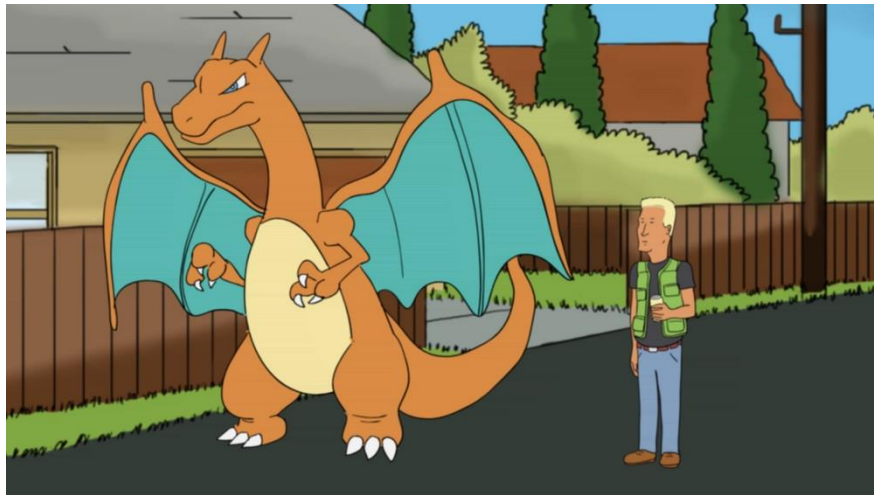
a)



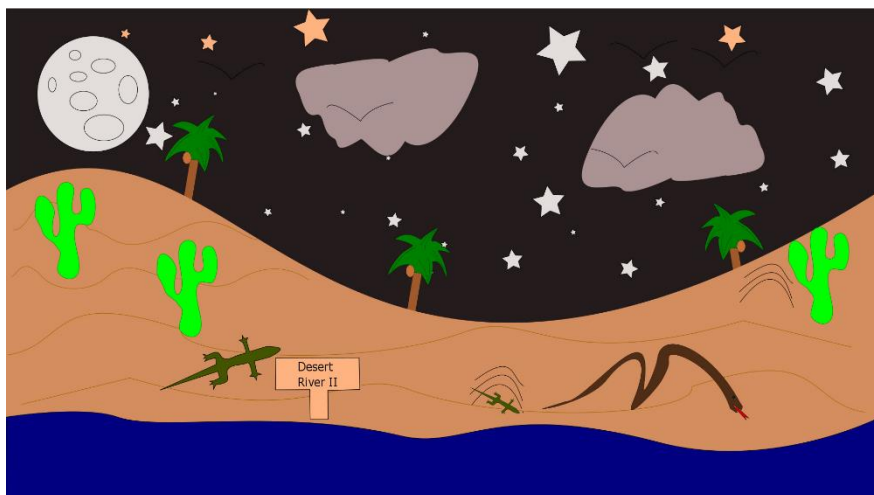
b)



c)



d)



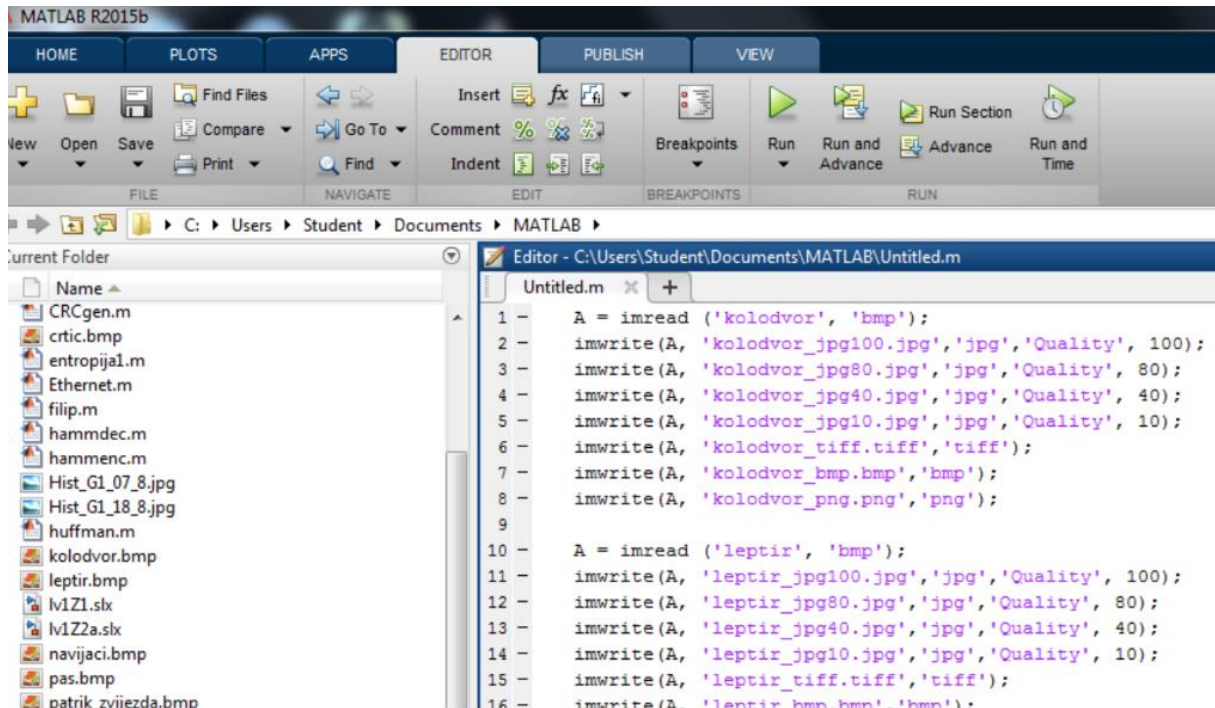
e)

Slika 4.2 Originalne računalo generirane slike pohranjene u bitmap (.bmp) formatu:

a) anime b) crtic c) patrik d) pokemon e) pustinja

4.2 Opis načina generiranja izobličenih slika

Na sljedećoj slici prikazano je kako se unutar programskog jezika *Matlab*, uz pomoć određenih naredbi, originalnim slikama mijenjaju format i kvaliteta.



Slika 4.3 *Matlab* prozor u kojem su prikazane naredbe za promjenu formata slike

Baza izobličenih slika se generira na način da se učita originalna slika (naredba *imread*) i da joj se odredi način pohrane (naredba *imwrite*).

Slika *kolodvor* generirana digitalnom kamerom učitava se naredbom $A = imread('kolodvor', 'bmp');$

Slike 4.4 – 4.9 prikazuju različite formate u koje je pohranjena slika *kolodvor* generirana digitalnom kamerom.

Naredba za pohranu slike u JPEG format, pri kvaliteti 10 glasi: $imwrite(A, 'kolodvor_jpeg10.jpeg', 'jpeg', 'Quality', 10);$



Slika 4.4 Slika *kolodvor* u JPEG formatu, pri kvaliteti 10

Za ostale primjene prikazivanja JPEG formata koriste se druge mjere kvalitete.



Slika 4.5 Slika *kolodvor* u JPEG formatu, pri kvaliteti 40



Slika 4.6 Slika *kolodvor* u JPEG formatu, pri kvaliteti 80



Slika 4.7 Slika *kolodvor* u JPEG formatu, pri kvaliteti 100

Naredba za pohranu slike u PNG formatu glasi:
`imwrite(A, 'kolodvor_png.png', 'png');`



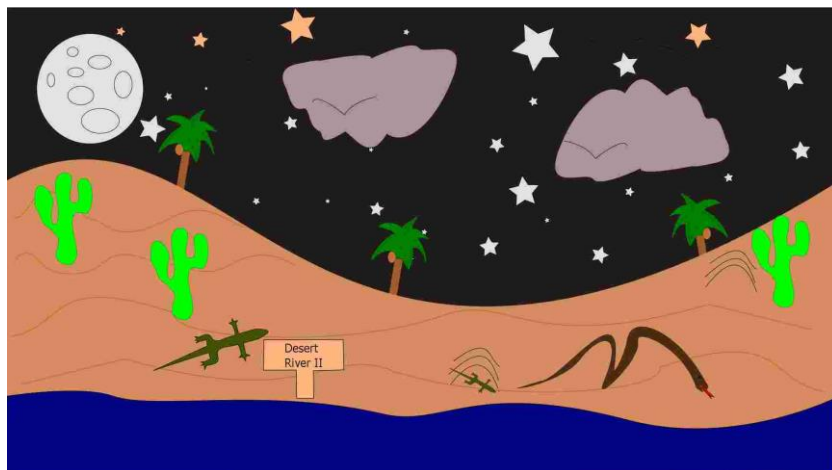
Slika 4.8 Slika *kolodvor* u PNG formatu

Naredba za pohranu slike u TIFF formatu glasi:
`imwrite(A, 'kolodvor_tiff.tiff', 'tiff');`



Slika 4.9 Slika *kolodvor* u TIFF formatu

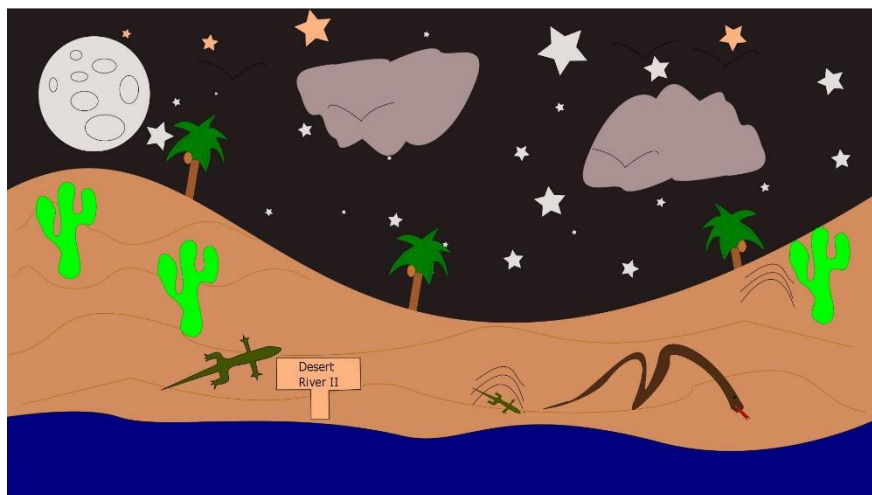
Slike (4.10 – 4.15) prikazuju računalno generiranu sliku *pustinja* pohranjenu u različitim formatima, a pohrana se vršila pomoću istih naredbi kao i za sliku *kolodvor*.



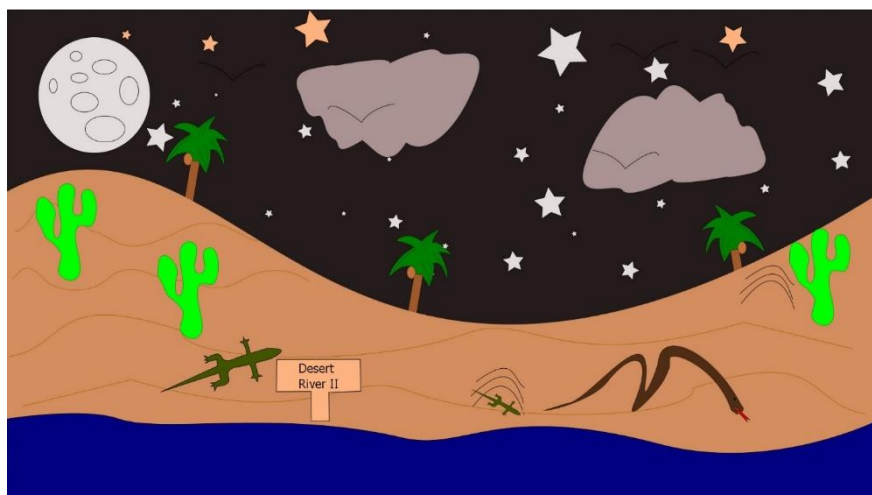
Slika 4.10 Slika *pustinja* u JPEG formatu, pri kvaliteti 10



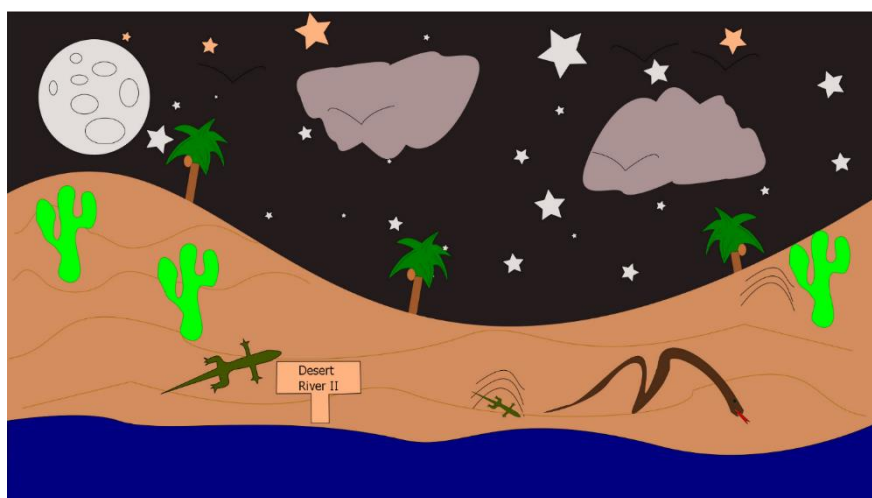
Slika 4.11 Slika *pustinja* u JPEG formatu, pri kvaliteti 40



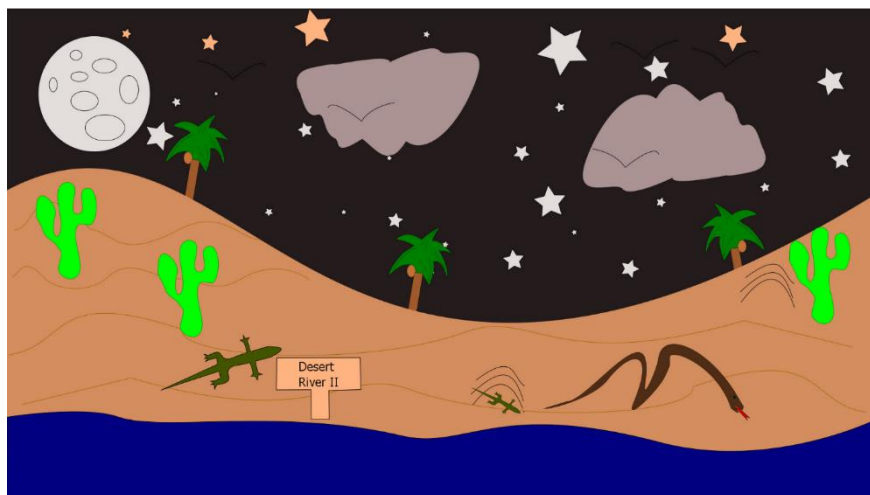
Slika 4.12 Slika *pustinja* u JPEG formatu, pri kvaliteti 80



Slika 4.13 Slika *pustinja* u JPEG formatu, pri kvaliteti 100



Slika 4.14 Slika *pustinja* u PNG formatu



Slika 4.15 Slika *pustinja* u TIFF formatu

Isti postupak ponavlja se za ostalih osam slika koje su priložene uz ovaj rad u prilogu P.4.1. na CD-disku koji je priložen uz ovaj rad.

Obradom slika u Matlabu nastalo je 70 slika. Tablicom 4.1 prikazana je veličina svake od njih.

Tablica 4.1 Formati i veličine komprimiranih slika

Ime slike	Format slike	Veličina slike [kB]
kolodvor_bmp	BMP	6076
kolodvor_jpeg10	JPEG	68
kolodvor_jpeg40	JPEG	157
kolodvor_jpeg80	JPEG	295
kolodvor_jpeg100	JPEG	966
kolodvor_png	PNG	1941
kolodvor_tiff	TIFF	6123
leptir_bmp	BMP	6067
leptir_jpeg10	JPEG	54
leptir_jpeg40	JPEG	100
leptir_jpeg80	JPEG	197
leptir_jpeg100	JPEG	938
leptir_png	PNG	2033
leptir_tiff	TIFF	6123
pas_bmp	BMP	6067
pas_jpeg10	JPEG	79

pas_jpeg40	JPEG	185
pas_jpeg80	JPEG	351
pas_jpeg100	JPEG	1413
pas_png	PNG	3098
pas_tiff	TIFF	6040
navijaci_bmp	BMP	6067
navijaci_jpeg10	JPEG	173
navijaci_jpeg40	JPEG	387
navijaci_jpeg80	JPEG	693
navijaci_jpeg100	JPEG	2216
navijaci_png	PNG	4470
navijaci_tiff	TIFF	6122
planina_bmp	BMP	6067
planina_jpeg10	JPEG	94
planina_jpeg40	JPEG	195
planina_jpeg80	JPEG	368
planina_jpeg100	JPEG	1037
planina_png	PNG	2618
planina_tiff	TIFF	6118
anime_bmp	BMP	6067
anime_jpeg10	JPEG	51
anime_jpeg40	JPEG	98
anime_jpeg80	JPEG	211
anime_jpeg100	JPEG	739
anime_png	PNG	2200
anime_tiff	TIFF	6124
crtic_bmp	BMP	6067
crtic_jpeg10	JPEG	70
crtic_jpeg40	JPEG	125
crtic_jpeg80	JPEG	206
crtic_jpeg100	JPEG	566
crtic_png	PNG	988
crtic_tiff	TIFF	5023
patrik_bmp	BMP	6067

patrik_jpeg10	JPEG	47
patrik_jpeg40	JPEG	88
patrik_jpeg80	JPEG	261
patrik_jpeg100	JPEG	799
patrik_png	PNG	2563
patrik_tiff	TIFF	6122
pokemon_bmp	BMP	6067
pokemon_jpeg10	JPEG	54
pokemon_jpeg40	JPEG	89
pokemon_jpeg80	JPEG	146
pokemon_jpeg100	JPEG	410
pokemon_png	PNG	930
pokemon_tiff	TIFF	6119
pustinja_bmp	BMP	6067
pustinja_jpeg10	JPEG	50
pustinja_jpeg40	JPEG	79
pustinja_jpeg80	JPEG	126
pustinja_jpeg100	JPEG	339
pustinja_png	PNG	559
pustinja_tiff	TIFF	6118

4.3 Opis subjektivnih eksperimenata i njihovi rezultati

Obrada slika u *Matlabu* dala je sedamdeset slika. Slikama je nasumično dodijeljen redni broj koji je predstavljao njihovo ime u subjektivnim eksperimentima, kako se iz imena slike ne bi nazirao format slike niti kvaliteta. Slike su ocjenjene od strane pet promatrača, tri muške osobe u dobi od 23, 21 i 67 godina, te dvije ženske osobe u dobi od 24 i 61 godina, u istim uvjetima gledanja i u istom vremenskom razdoblju ispitivanja. Promatrači slike ocjenjuju na način da svakoj slici dodjeljuju ocjenu iz intervala [0-100]. Konačna subjektivna ocjena svake slike računata je kao srednja iskustvena vrijednost (engl. *Mean Opinion Score - MOS*) ocjena svih promatrača. Računa se prema formuli

$$MOS = \frac{\sum_{n=1}^N R_n}{N} \quad (4-1)$$

gdje je R_n individualna ocjena za pojedinu sliku dana od strane N promatrača. U ovom slučaju N je 5. Rezultati su dani u tablici 4.2.

4.4 Usporedba subjektivnih i objektivnih rezultata ocjene kvalitete slike

U ovom potpoglavlju usporedit će se ocjene subjektivnog ocjenjivanja iz prethodnog potpoglavlja (dane od strane promatrača) i ocjene različitih objektivnih metoda (dane od strane algoritama).

4.4.1 Objektivne metode korištene u eksperimentima

Tri objektivne metode, za mjerenje kvalitete slike, korištene u ovome radu su *PSNR*, *SSIM* i *MSE*. Računaju se prema formulama (2-1), (2-2) i (2-6). Prikaz rezultata objektivnih metoda slijedi u tablici 4.3. *SSIM* i *MSE* su izračunate pomoću programskog jezika *Matlab*. *PSNR* je izračunat uz pomoć softvera koji se zove *PSNR*. Dostupan je na web-stranici [14].

Tablica 4.2. Rezultati subjektivnog ocjenjivanja kvalitete pomoću 5 promatrača

Ime slike	Ime slike pri ocjenjivanju	MOS	Redni br. pri ocjenjivanju
kolodvor_bmp	kol1	78	25
kolodvor_jpeg10	kol2	17	31
kolodvor_jpeg40	kol3	55	6
kolodvor_jpeg80	kol4	68	39
kolodvor_jpeg100	kol5	81	5
kolodvor_png	kol6	78	48
kolodvor_tiff	kol7	78	17
leptir_bmp	lept7	81	36
leptir_jpeg10	lept6	12	13
leptir_jpeg40	lept5	48	50
leptir_jpeg80	lept4	72	24
leptir_jpeg100	lept3	82	35
leptir_png	lept2	80	57
leptir_tiff	lept1	73	12
pas_bmp	pas1	82	34
pas_jpeg10	pas2	15	1
pas_jpeg40	pas3	56	61
pas_jpeg80	pas4	73	67
pas_jpeg100	pas5	80	30
pas_png	pas6	82	65
pas_tiff	pas7	83	70
navijaci_bmp	nav7	82	20
navijaci_jpeg10	nav6	22	44
navijaci_jpeg40	nav5	35	54
navijaci_jpeg80	nav4	69	7
navijaci_jpeg100	nav3	81	64
navijaci_png	nav2	79	28
navijaci_tiff	nav1	80	69
planina_bmp	plan1	80	10
planina_jpeg10	plan2	17	55

Ime slike	Ime slike pri ocjenjivanju	MOS	Redni br. pri ocjenjivanju
anime_bmp	ani7	79	40
anime_jpeg10	ani6	13	47
anime_jpeg40	ani5	43	16
anime_jpeg80	ani4	72	68
anime_jpeg100	ani3	81	4
anime_png	ani2	82	49
anime_tiff	ani1	82	41
crtic_bmp	crt1	85	46
crtic_jpeg10	crt2	17	15
crtic_jpeg40	crt3	39	56
crtic_jpeg80	crt4	77	23
crtic_jpeg100	crt5	84	58
crtic_png	crt6	80	3
crtic_tiff	crt7	82	37
patrik_bmp	pat7	81	11
patrik_jpeg10	pat6	23	45
patrik_jpeg40	pat5	61	29
patrik_jpeg80	pat4	74	60
patrik_jpeg100	pat3	82	42
patrik_png	pat2	77	2
patrik_tiff	pat1	86	63
pokemon_bmp	pok1	86	19
pokemon_jpeg10	pok2	32	59
pokemon_jpeg40	pok3	63	8
pokemon_jpeg80	pok4	70	43
pokemon_jpeg100	pok5	86	32
pokemon_png	pok6	78	18
pokemon_tiff	pok7	76	66
pustinja_bmp	pust7	78	26
pustinja_jpeg10	pust6	13	9

planina_jpeg40	plan3	38	21
planina_jpeg80	plan4	76	27
planina_jpeg100	plan5	81	81
planina_png	plan6	73	53
planina_tiff	plan7	79	51

pustinja_jpeg40	pust5	42	62
pustinja_jpeg80	pust4	67	38
pustinja_jpeg100	pust3	90	33
pustinja_png	pust2	70	22
pustinja_tiff	pust1	81	52

Tablica 4.3 Rezultati objektivnih metoda

Ime slike	PSNR [dB]	SSIM	MSE
kolodvor_bmp	100.0000	1.0000	0
kolodvor_jpeg10	30.5514	0.7979	88.0036
kolodvor_jpeg40	36.1423	0.9557	18.9574
kolodvor_jpeg80	41.9534	0.9882	4.8698
kolodvor_jpeg100	62.8017	0.9997	0.1328
kolodvor_png	100.0000	1.0000	0
kolodvor_tiff	100.0000	1.0000	0
leptir_bmp	100.0000	1.0000	0
leptir_jpeg10	34.5322	0.9704	56.9560
leptir_jpeg40	42.1729	0.9936	9.7431
leptir_jpeg80	47.4859	0.9977	3.0914
leptir_jpeg100	55.0913	0.9994	0.6904
leptir_png	100.0000	1.0000	0
leptir_tiff	100.0000	1.0000	0
pas_bmp	100.0000	1.0000	0
pas_jpeg10	29.9410	0.8206	91.1409
pas_jpeg40	35.9974	0.9493	23.3584
pas_jpeg80	40.5381	0.9790	9.2382
pas_jpeg100	56.0212	0.9973	0.9466
pas_png	100.0000	1.0000	0
pas_tiff	100.0000	1.0000	0
navijaci_bmp	100.0000	1.0000	0
navijaci_jpeg10	25.1122	0.8805	304.4664
navijaci_jpeg40	30.7167	0.9639	81.9608
navijaci_jpeg80	35.9389	0.9871	26.3160
navijaci_jpeg100	56.0312	0.9993	1.7957
navijaci_png	100.0000	1.0000	0
navijaci_tiff	100.0000	1.0000	0
planina_bmp	100.0000	1.0000	0
planina_jpeg10	25.6222	0.8929	214.5155
planina_jpeg40	29.7039	0.9576	77.8966
planina_jpeg80	39.9354	0.9956	7.7905
planina_jpeg100	57.3257	0.9995	0.7551
planina_png	100.0000	1.0000	0
planina_tiff	100.0000	1.0000	0
anime_bmp	100.0000	1.0000	0
anime_jpeg10	34.1902	0.9740	59.1671
anime_jpeg40	40.4713	0.9939	12.1879
anime_jpeg80	55.9644	0.9996	0.7449
anime_jpeg100	62.6021	0.9999	0.2151
anime_png	100.0000	1.0000	0
anime_tiff	100.0000	1.0000	0
crtic_bmp	100.0000	1.0000	0
crtic_jpeg10	29.8016	0.9670	121.9057
crtic_jpeg40	36.0256	0.9874	39.9116
crtic_jpeg80	44.1479	0.9952	14.8186
crtic_jpeg100	57.4522	0.9989	6.0604

crtic_png	100.0000	1.0000	0
crtic_tiff	100.0000	1.0000	0
patrik_bmp	100.0000	1.0000	0
patrik_jpeg10	33.3881	0.9567	60.4698
patrik_jpeg40	36.9262	0.9812	18.0923
patrik_jpeg80	47.3232	0.9987	1.8316
patrik_jpeg100	62.1440	0.9998	0.1831
patrik_png	100.0000	1.0000	0
patrik_tiff	100.0000	1.0000	0
pokemon_bmp	100.0000	1.0000	0
pokemon_jpeg10	35.1386	0.9297	51.2269
pokemon_jpeg40	42.5091	0.9894	9.3975
pokemon_jpeg80	49.5611	0.9979	2.3883
pokemon_jpeg100	65.0249	0.9998	0.2567
pokemon_png	100.0000	1.0000	0
pokemon_tiff	100.0000	1.0000	0
pustinja_bmp	100.0000	1.0000	0
pustinja_jpeg10	32.3642	0.8910	85.3734
pustinja_jpeg40	37.2377	0.9777	30.9185
pustinja_jpeg80	42.5912	0.9912	13.4750
pustinja_jpeg100	61.6155	0.9979	6.4242
pustinja_png	100.0000	1.0000	0
pustinja_tiff	100.0000	1.0000	0

4.4.2 Korelacija između rezultata subjektivnog ocjenjivanja i rezultata objektivnih metoda

Krajnji cilj bio je usporediti rezultate objektivnih metoda s rezultatima subjektivnog ocjenjivanja. Zamisao je bila da se ispita koja od triju objektivnih metoda najbolje korelira s ocjenama ljudi. Nadalje, ideja je bila vidjeti ima li razlike u rezultatima objektivnih metoda između slika snimljenih digitalnom kamerom i računalno generiranih slika. U tablici 4.4 prikazani su rezultati subjektivnih i objektivnih metoda za svaku sliku na kojoj je vršen eksperiment.

Tablica 4.4 Rezultati subjektivnih i objektivnih metoda za svaku sliku na kojoj je vršen eksperiment

Ime slike	Format	Veličina slike [kB]	MOS	PSNR	SSIM	MSE
kolodvor_bmp	BMP	6.076	78	100	1	0
kolodvor_jpeg10	JPEG	68	17	30.5514	0.7979	88.0036
kolodvor_jpeg40	JPEG	157	55	36.1423	0.9557	18.9574
kolodvor_jpeg80	JPEG	295	68	41.9534	0.9882	4.8698
kolodvor_jpeg100	JPEG	966	81	62.8017	0.9997	0.1328
kolodvor_png	TIFF	1.941	78	100	1	0
kolodvor_tiff	PNG	6.123	78	100	1	0
leptir_bmp	BMP	6.067	81	100	1	0

leptir_jpeg10	JPEG	54	12	34.5322	0.9704	56.9560
leptir_jpeg40	JPEG	100	48	42.1729	0.9936	9.7431
leptir_jpeg80	JPEG	197	72	47.4859	0.9977	3.0914
leptir_jpeg100	JPEG	938	82	55.0913	0.9994	0.6904
leptir_png	TIFF	2.033	80	100	1	0
leptir_tiff	PNG	6.123	73	100	1	0
pas_bmp	BMP	6.067	82	100	1	0
pas_jpeg10	JPEG	79	15	29.9410	0.8206	91.1409
pas_jpeg40	JPEG	185	56	35.9974	0.9493	23.3584
pas_jpeg80	JPEG	351	73	40.5381	0.9790	9.2382
pas_jpeg100	JPEG	1.413	80	56.0212	0.9973	0.9466
pas_png	TIFF	3.098	82	100	1	0
pas_tiff	PNG	6.040	83	100	1	0
navijaci_bmp	BMP	6.067	82	100	1	0
navijaci_jpeg10	JPEG	173	22	25.1122	0.8805	304.4664
navijaci_jpeg40	JPEG	387	35	30.7167	0.9639	81.9608
navijaci_jpeg80	JPEG	693	69	35.9389	0.9871	26.3160
navijaci_jpeg100	JPEG	2.216	81	56.0312	0.9993	1.7957
navijaci_png	TIFF	4.470	79	100	1	0
navijaci_tiff	PNG	6.122	80	100	1	0
planina_bmp	BMP	6.067	80	100	1	0
planina_jpeg10	JPEG	94	17	25.6222	0.8929	214.5155
planina_jpeg40	JPEG	195	38	29.7039	0.9576	77.8966
planina_jpeg80	JPEG	368	76	39.9354	0.9956	7.7905
planina_jpeg100	JPEG	1.037	81	57.3257	0.9995	0.7551
planina_png	TIFF	2.618	73	100	1	0
planina_tiff	PNG	6.118	79	100	1	0
anime_bmp	BMP	6.067	79	100	1	0
anime_jpeg10	JPEG	51	13	34.1902	0.9740	59.1671
anime_jpeg40	JPEG	98	43	40.4713	0.9939	12.1879
anime_jpeg80	JPEG	211	72	55.9644	0.9996	0.7449
anime_jpeg100	JPEG	739	81	62.6021	0.9999	0.2151
anime_png	TIFF	2.200	82	100	1	0
anime_tiff	PNG	6.124	82	100	1	0
crtic_bmp	BMP	6.067	85	100	1	0
crtic_jpeg10	JPEG	70	17	29.8016	0.9670	121.9057
crtic_jpeg40	JPEG	125	39	36.0256	0.9874	39.9116
crtic_jpeg80	JPEG	206	77	44.1479	0.9952	14.8186
crtic_jpeg100	JPEG	566	84	57.4522	0.9989	6.0604

crtic_png	TIFF	988	80	100	1	0
crtic_tiff	PNG	5.023	82	100	1	0
patrik_bmp	BMP	6.067	81	100	1	0
patrik_jpeg10	JPEG	47	23	33.3881	0.9567	60.4698
patrik_jpeg40	JPEG	88	61	36.9262	0.9812	18.0923
patrik_jpeg80	JPEG	261	74	47.3232	0.9987	1.8316
patrik_jpeg100	JPEG	799	82	62.1440	0.9998	0.1831
patrik_png	TIFF	2.563	77	100	1	0
patrik_tiff	PNG	6.122	86	100	1	0
pokemon_bmp	BMP	6.067	86	100	1	0
pokemon_jpeg10	JPEG	54	32	35.1386	0.9297	51.2269
pokemon_jpeg40	JPEG	89	63	42.5091	0.9894	9.3975
pokemon_jpeg80	JPEG	146	70	49.5611	0.9979	2.3883
pokemon_jpeg100	JPEG	410	86	65.0249	0.9998	0.2567
pokemon_png	TIFF	930	78	100	1	0
pokemon_tiff	PNG	6.119	76	100	1	0
pustinja_bmp	BMP	6.067	78	100	1	0
pustinja_jpeg10	JPEG	50	13	32.3642	0.8910	85.3734
pustinja_jpeg40	JPEG	79	42	37.2377	0.9777	30.9185
pustinja_jpeg80	JPEG	126	67	42.5912	0.9912	13.4750
pustinja_jpeg100	JPEG	339	90	61.6155	0.9979	6.4242
pustinja_png	TIFF	559	70	100	1	0
pustinja_tiff	PNG	6.118	81	100	1	0

Mjera kojom je računata sličnost između rezultata subjektivnih i objektivnih metoda naziva se Pearsonov linearni koeficijent korelacije. Računa se na sljedeći način [4]

$$r_p = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}') \cdot (Y_i - \bar{Y}')}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}')^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}')^2}} \quad (4-2)$$

gdje je:

- $\{X_i, \dots, X_n\}$ – skup ocjena dobivenih subjektivnom metodom
- $\{Y_i, \dots, Y_n\}$ – skup ocjena dobivenih objektivnom metodom (PNSR, SSIM ili MSE)
- n – predstavlja broj elemenata u skupu X, Y

- \bar{X}' i \bar{Y}' - srednje vrijednosti pripadnih skupova

Računanjem Pearsonovog linearnog koeficijenta korelacije za obrađene fotografije postignuti su rezultati prikazani u tablici 4.5.

Tablica 4.5 Rezultati Pearsonovog linearnog koeficijenta korelacije između subjektivnih i objektivnih metoda

	Pearsonov linearni koef. korelacije za MSE	Pearsonov linearni koef. korelacije za PSNR	Pearsonov linearni koef. korelacije za SSIM
Slike generirane digitalnom kamerom	-0.771	0.716	0.8284
Računalno generirane slike	-0.8995	0.7181	0.7928
Sve slike zajedno	-0.7534	0.7171	0.7606

Primarno, slike su ocjenjivane od strane promatrača. Primjećuje se da promatrači nisu uočili razliku u kvaliteti sadržaja slike između JPEG100 i BMP, TIFF, PNG formata. Slike koje su komprimirane i pohranjene u JPEG formatu pri kvaliteti 100 (slika *kolodvor* zauzima 966 kB), zauzimaju značajno manju količinu memorije od slika koje su pohranjene u BMP (slika *kolodvor* zauzima 6067kB), PNG (slika *kolodvor* zauzima 1941 kB) i TIFF (slika *kolodvor* zauzima 6123 kB) formatu. Zato je JPEG format, uz GIF format, jedan od najčešće korištenih formata slika na World Wide Web-u.

Iznos *PSNR*-a i *SSIM*-a padom kvalitete slike, za oba načina generiranja slike, opada, dok se kod MSE metode taj iznos, uz pad kvalitete slike, povećava.

Objektivne ocjene dobivene *SSIM* metodom, u usporedbi s objektivnim ocjenama drugih dviju metoda (*PSNR*, *MSE*), imaju najveće podudaranje s ocjenama iz subjektivnih mjerenja za slike generirane digitalnom kamerom i za sve slike zajedno. Razlog tomu je taj što *SSIM* metoda mjeri razliku između kontrasta, svjetline i strukture između originalne i komprimirane slike. Ova metoda u obzir uzima čimbenike ljudskog vizualnog sustava koje preostale dvije metode (*MSE*, *PSNR*) ne uzimaju u obzir. Rezultati korelacije za ocjene subjektivne i ocjene objektivne metode, pri *SSIM*-u, između računalno generiranih slika i slika generiranih digitalnom kamerom, se razlikuje za

svega 3 posto, pa se stoga da zaključiti da ova metoda radi podjednako dobro za oba načina generiranja slika.

Pearsonov linearni koeficijent korelacije između rezultata subjektivnih metoda i *PSNR* rezultata za oba načina generiranja slika nije dao veliku razliku (svega 0,7 posto). Vidljivo je i da nije pružio jednaki stupanj podudaranja kao i *SSIM* metoda. Kod slika generiranih digitalnom kamerom razlika Pearsonovog linearnog koeficijenta korelacije između ocjena *PSNR*-a i *SSIM*-a je preko 10 posto, dok je kod računalno generiranih slika razlika od 8 posto podudaranja.

Računanjem Pearsonovog linearnog koeficijenta između rezultata subjektivne metode i rezultata *MSE* objektivne metode postignut je negativan rezultat za oba načina generiranja slika. Razlog tomu je taj što su skupovi, odnosno ocjene subjektivne metode i ocjene *MSE* objektivne metode obrnuto-proporcionalni. Idealan slučaj u subjektivnoj metodi bi bila ocjena 100 za neku sliku, dok će *MSE* metoda u idealnom slučaju dati nulu. Primjećuje se znatna razlika vrijednosti Pearsonovog linearnog koeficijenta za *MSE* metodu između računalno generiranih slika (-0.8995) i slika generiranih digitalnom kamerom (-0.771). Ovdje se jasno vidi da je za računalno generirane slike najbolje rezultate dala objektivna metoda *MSE*. Računalno generirane slike su za JPEG format, pri kvaliteti 10, davale manje vrijednosti *MSE* metode, no što su to davale slike generirane digitalnom kamerom.

Sveukupni rezultat Pearsonovog linearnog koeficijenta korelacije za oba načina generiranja slika ukazuje na to da će *SSIM* metoda dati najveći postotak podudaranja sa subjektivnom metodom koja je eksperimentalno sprovedena u ovom radu.

5. ZAKLJUČAK

Zadatak ovog rada bio je načiniti bazu od deset slika (pet računalno generiranih slika i pet slika generiranih digitalnom kamerom). Potom je bilo potrebno usporediti rezultate subjektivne metode (eksperimentalne) s rezultatima prikupljenim objektivnim metodama i vidjeti postoji li utjecaj izvora digitalne slike na uspješnost ocjene kvalitete slike objektivnim metodama.

SSIM metoda dala je najveći stupanj podudaranja između rezultata subjektivnih i rezultata objektivnih metoda za slike generirane digitalnom kamerom prilikom računanja Pearsonovog linearnog koeficijenta korelacije. Razlog tomu je mogućnost *SSIM* metode da u obzir uzme i neke faktore ljudskog vizualnog sustava koje *MSE* i *PSNR* metoda ne uzimaju u obzir. *MSE* metoda je pogodnija za računalno generirane slike, no što je za slike generirane digitalnom kamerom, dok *PSNR* vraća podjednake vrijednosti za oba načina generiranja slike.

Subjektivna metoda može dati loše rezultate u slučaju loših vizualnih sposobnosti promatrača. Veliku ulogu u konačnoj ocjeni prilikom subjektivne metode ima kakvoća vizualne percepcije svakog promatrača ili promatračice, njihovo psihofizičko stanje, a ako nisu omogućeni apsolutno jednaki uvjeti za promatranje sadržaja za svakog od njih, rezultati neće biti ispravni. Subjektivna metoda, ako se sprovede ispravno, ipak daje najreprezentativnije rezultate procjene kvalitete slike, ali zahtijeva veliku količinu vremena za provedbu, znatnu količinu resursa (novac, prostor itd.).

Oprečno njima, razvojem tehnologije, uvedene su objektivne metode, koje uz pomoć računala i matematičkih modela, u znatno manjem vremenskom intervalu pružaju rezultate. One su jeftinije, brže i efikasnije od subjektivnih metoda. Uz to, primjenjive su i u stvarno-vremenskim aplikacijama. Konstantnim napretkom tehnologije, otvara se još puno prostora za doradu objektivnih metoda. Njihovim usavršavanjem i poboljšanjem biti će moguće još zornije prikazati rezultate ocjenjivanja koje će, s vremenom, postajati sve ekvivalentniji rezultatima subjektivnih metoda.

Objektivna metrika koja daje najbolje rezultate za slike generirane digitalnom kamerom je *SSIM*, dok je za računalno generirane slike najbolje objektivna metrika *MSE*. Za sve slike zajedno najbolje rezultate je dala objektivna metrika je *SSIM*.

6. LITERATURA

- [1] K.-H. Thung, P. Raveendran, „A Survey of Image Quality Measures“, International Conference for Technical Postgraduates, 2009, https://www.academia.edu/6911404/A_survey_of_image_quality_measures
- [2] P. Mohammadi, A. Ebrahimi-Moghadam, S. Shirani, „Subjective and Objective Quality Assessment of Image: A Survey“, Department of Electrical Engineering Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Department of Electrical and Computer Engineering McMaster University, Hamilton, ON, Canada, 2014. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1406/1406.7799.pdf>
- [3] S. Maksimović-Moićević, „Predlog nove mere za ocenu kvaliteta slike prilikom interpolacije i njena implementacija u računarskoj obradi signal slike“, doktorska disertacija, Fakultet tehničkih nauka odsek za računarsku tehniku i računarske komunikacije, Novi Sad, 2015. <http://www.ftn.uns.ac.rs/n288484245/disertacija>
- [4] M. Vranješ, „Objektivna metrika kvalitete slike zasnovana na prostorno-vremenskim značajkama videosignala i prostorno ovisnoj percepciji“, doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet Osijek, Osijek, 2012.
- [5] S. A. G. George, A. Kethsy Prabavathy, „A Survey On Different Approaches Used In Image Quality Assessment“, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 3, Issue 2, 2013. https://ijetae.com/files/Volume3Issue2/IJETAE_0213_33.pdf
- [6] D. Matković, „Mjerenja kvalitete slike u multimedijским aplikacijama“, Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, 2009. <https://hrcak.srce.hr/85953>
- [7] S.A. Gandhi, C.V. Kulkhari, „MSE Vs SSIM“, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 7, 2013. <https://www.ijser.org/researchpaper/MSE-Vs-SSIM.pdf>
- [8] A. Zarić, N. Tatalović; N. Brajković; H. Hlevnjak; M. Lončarić; E. Dumić; S. Grgić „VLC@FER Image Quality Assessment Database“, http://www.vcl.fer.hr/papers_pdf/VCL@FER%20Image%20Quality%20Assessment%20Database.pdf

- [9] Tekstilno-tehnološki fakultet u Zagrebu, Formati za pohranu slika na računalo
http://racunala.ttf.unizg.hr/files/Formati_slika.pdf
- [10] Wikipedia, „Rasterska slika“, https://hr.wikipedia.org/wiki/Rasterska_slika
- [11] Hrvatska Udruga Digitalnih Umjetnika, Rasterski i složeni formati grafika,
<https://hudu.hr/formati-digitalnih-grafika/906>
- [12] Vector Conversion, Gomez Graphics,
https://vector-conversions.com/vectorizing/raster_vs_vector.html
- [13] Machina, Game Dev Academy, Novosti,
<http://gamedev.machina.hr/razlika-izmedu-rasterske-vektorske-grafike/>
- [14] <https://www.softpedia.com/get/Multimedia/Graphic/Graphic-Others/PSNR.shtml>

SAŽETAK

U ovom radu opisani su rezultati subjektivnih i objektivnih metoda nad pet slika generiranih digitalnom kamerom i pet računalno generiranih slika. Subjektivna mjera koja se računala u ovom radu je *MOS* ili srednja iskustvena vrijednost. Računata je na način da je pet ljudskih promatrača ocjenama (od nula do sto) ocjenjivalo kvalitetu slike. Korištene su tri objektivne metode za ocjenu kvalitete slike. *MSE* ili srednja kvadratna pogreška, *PSNR* ili vršni odnos signal-šum i *SSIM* ili indeks strukturalne sličnosti. Potom se računao Pearsonov linearni koeficijent korelacije između rezultata subjektivne metode i rezultata svake od objektivnih metoda. Rezultati niti jedne od objektivnih metoda nisu se u potpunosti podudarali sa rezultatom subjektivne metode. Na skupu slika generiranih digitalnom kamerom najbolje rezultate dala je objektivna metoda *SSIM*, dok je na skupu računalno generiranih slika objektivna metoda *MSE* dala najbolje rezultate.

Ključne riječi: kompresija slike, subjektivne i objektivne metode ocjene kvalitete slike, *MOS*, *MSE*, *PSNR*, *SSIM*, Pearsonov linearni koeficijent korelacije.

IMPACT OF DIGITAL IMAGE SOURCE ON SUCCESS OF IMAGE QUALITY ASSESSMENT BY USING OBJECTIVE METHODS

ABSTRACT

This paper describes the results of subjective and objective methods over five images generated by a digital camera and five computer-generated images. The subjective metric that has been computed in this paper is MOS or Mean Opinion Score. It has been calculated by five human observers rating the image quality (from zero to one hundred). Three objective methods were used to evaluate image quality. MSE or Mean Square Error, PSNR or Peak Signal-to-Noise Ratio and SSIM or Structural Similarity Index. The Pearson linear correlation coefficient between the results of subjective method and result of each objective method was then calculated. None of the objective methods results completely matched the result of the subjective method. On the set of images generated by the digital camera the best results were given by the objective method SSIM, while on the set of computer generated images the objective method MSE gave the best results.

Keywords: image compression, subjective and objective image quality assessment methods, *MOS*, *MSE*, *PSNR*, *SSIM*, Pearson linear correlation coefficient.

PRILOZI

P.4.1. Sve slike komprimirane pomoću programskog jezika Matlab

Priložene su na CD-disku uz ovaj rad.

ŽIVOTOPIS

Ante Maričić rođen je u Vinkovcima 18. studenog 1996. godine. Pohađao je osnovnu školu „Bartol Kašić“ u Vinkovcima. Upisuje prirodoslovno-matematički smjer u „Gimnaziji Matije Antuna Reljkovića“ u Vinkovcima 2011. godine. Uz školske obaveze aktivno se bavi rukometom. Nakon završetka srednje škole upisuje preddiplomski smjer elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku 2015. godine.