

STATISTIČKA ANALIZA SLIKA IZMENJENIH COPY-MOVE METODOM

Aleksandra Pavlović¹, Irini Reljin²

¹Državni univerzitet u Novom Pazaru, apavlovic@np.ac.rs

²Univerzitet u Beogradu –Elektrotehnički fakultet, irini@etf.rs

Sadržaj: Digitalne slike i video predstavljaju moćne medije za komunikaciju. Sa razvojem kamera visoke rezolucije, razvija se i softver pomoću kojih je veoma jednostavno promeniti sadržaj digitalne slike. Stoga je jasno koliko su važne metode za identifikaciju manipulacija na postojećim slikama. Copy-move je jedna od najpopularnijih metoda u falsifikovanju slika. To je proces u kome se deo slike kopira i premešta na neki drugi deo iste slike, kako bi se sakrio određeni sadržaj slike, ili prenela lažna informacija o sadržaju slike. Ovakva kopirana područja je teško detektovati. Cilj ovog istraživanja je da prikaže mogućnost detektovanja slika iz iste grupe nad kojima je vršena ovakva promena, kao i rezultate statističke analize takvih slika i klasterovanja.

Ključne reči: copy-move metoda, detekcija slika, klaster analiza, statistička analiza, korelacija.

1. Uvod

Digitalne slike i video predstavljaju osnovne medije za komunikaciju. Zahvaljujući savremenim i moćnim softverima za obradu i procesiranje digitalnih slika, manipulacije nad slikama su postale veoma jednostavne. Osoba ne mora biti ekspert kako bi u softveru kao što je *Adobe Photoshop* dodala ili uklonila važne karakteristike slike, bez ostavljanja očiglednih tragova o tome. Takođe je vrlo jednostavno od dve ili više slika napraviti jednu sliku. Stoga je jasno koliko je važno razvijati nove metode za detekciju namerno izazvanih promena na digitalnim slikama. Cilj ovog rada jeste da prikaže mogućnost detektovanja slika iz iste grupe nad kojima je vršena određena promena, kao i rezultate statističke analize takvih slika i klasterovanja.

Istraživanje se fokusira na određenoj vrsti promena, tkz. *copy-move* metodi. *Copy-move* je jedna od najpopularnijih metoda u falsifikovanju slika. To je proces u kome se deo slike kopira i premešta na neki drugi deo iste slike, kako bi se sakrio određeni sadržaj slike, ili prenela lažna informacija o sadržaju slike. Ovakva kopirana područja je teško detektovati, samim tim što kopirani i originalni delovi imaju slične ili iste statističke karakteristike.

Ovaj rad se sastoji iz šest poglavlja. Prvo poglavlje jeste uvodno poglavlje. U drugom poglavlju su predstavljene metode i radovi pojedinih autora, njihove prednosti i nedostaci. Treće poglavlje daje detaljan opis *copy-move* metode, kao i primere slika koje su dobijene ili izmenjene *copy-move* metodom. U četvrtom poglavlju dat je opis matematičkog modela koji se koristi za analizu originalnih i izmenjenih slika. Peto

poglavlje predstavlja rezultate istraživanja, kao i diskusiju dobijenih rezultata. U šestom poglavlju su navedeni najvažniji zaključci.

2. Povezani radovi

Metode za detekciju promena na slikama se mogu podeliti u aktivne i pasivne metode, u zavisnosti od prisustva dodatnih informacija na slikama. Aktivni pristupi se zasnivaju na prisustvu dodatne namerno ugrađene informacije u digitalnoj slici, kao što je vodeni žig i digitalni potpis. Takve dodatne informacije se mogu koristiti kako bi se utvrdila originalnost slike. Međutim, takve metode podrazumevaju da se dodatne informacije ugrade u trenutku kada se slika generiše, ili kasnije od strane ovlašćene osobe. Međutim, kada informacije o slici nisu dostupne, na primer, ukoliko je slika preuzeta sa *Interneta*, aktivne metode je nemoguće koristiti.

Sa druge strane, korišćenjem pasivnih metoda moguće je otkriti manipulacije na slikama, bez prisustva dodatnih informacija. Pasivne metode detektuju manipulacije na slikama izdvajanjem prirodnih karakteristika slike. Detekcija tih manipulacija se može odnositi na detekciju promena na slikama, ili na detekciju uređaja kojim je slika generisana. Takve tehnike se dalje mogu podeliti na zavisne i nezavisne. Zavisno falsifikovanje jeste akcija kopiranja i nalepljivanja dela slike u istu sliku (*copy-move*) ili u neku drugu sliku (*image splicing*). Druge metode, kao što je kompresija, odabiranje, itd., spadaju u nezavisne metode. Postupak detekcije uređaja kojim je slika generisana se zasniva na regularnostima optike i senzora.

Junliu Zhong i Yanfen Gan u [1] predstavljaju diskretnu analitičku *Fourier-Mellin* transformaciju (DAFMT), i njene performanse za detekciju *copy-move* izmena na slikama. Kako se DAFMT opisuje u polarnim koordinatama, potrebno je konvertovati polarne koordinate u Dekartov koordinatni sistem. Metoda je pogodna za detekciju *copy-move* promena na slikama koje su pretrpele određeni stepen oštećenja (distorzije). Metoda zasnovana na segmentaciji slike i *swarm intelligent* (SI) algoritmu je predstavljena u [2], od strane Zhao Fei i saradnika. Metoda prvo deli sliku na male preklapajuće blokove. Za svaki blok se računa tkz. Stepenn regularnosti, koji se koristi za razlikovanje glatkih i grubih regiona u slici koja se testira. Testirana slika se segmentira u nezavisne slojeve prema vrednostima stepena regularnosti. *Swarm intelligent* (SI) algoritam se primenjuje za pronalaženje optimalnih parametara za detekciju, za svaki sloj. Ovi parametri se dalje koriste za detekciju svakog sloja na osnovu *scale invariant features transform* (SIFT) šeme. U [3], Fan Yang i saradnici predlažu *keypoint* metodu zasnovanu na hibridnim karakteristikama. Ovi autori usvajaju tkz. KAZE algoritam (*kaze* je japanska reč, koja u prevodu znači vetar) za izdvajanje karakteristika piksela, i njega kombinuju sa SIFT, za izdvajanje specifičnih piksela. Metoda se pokazala kao zgodna za otkrivanje *copy-move* promena na slikama koje su pretrpele oštećenja, kao što su rotacija i JPEG kompresija. Metoda sa automatskim određivanjem praga za odlučivanje predstavljena je u [4], od strane Beste Ustubioglu i saradnika. Slika se prvo prevodi u YCbCr sistem boja, a zatim deli na preklapajuće blokove. Iz svakog bloka se izdvajaju karakteristični vektori, korišćenjem DCT i *zigzag* skeniranja. Karakteristični vektori se leksikografski sortiraju i smeštaju u matricu. Za svaki vektor u matrici se traži odgovarajući sličan vektor. Metoda koristi element-element poređenje za testiranje sličnosti. Prag za odlučivanje se određuje u skladu sa karakteristikama slike koja se testira. Metoda je otporna na postprocesirajuće operacije, kao što su JPEG kompresija i

aditivni beli šum. Ashwini V. Malviya i Siddharth A. Ladhake u [5] predstavljaju *block-based* metodu koja se zasniva na sledećim koracima: slika se filtrira radi uklanjanja šuma, a zatim deli na blokove dimenzija $M \times N$. Svaki blok podleže tkz. *8Z affine* transformaciji (transformiše intenzitet piksela ulazne slike u neki novi intenzitet, kombinujući operacije rotacije, skaliranja i transliranja). Karakteristike svakog bloka se izdvajaju pomoću tkz. *Auto Color Correlogram*-a. Korišćenjem merenja poklapanja sličnosti određuju se regioni koji su izmenjeni. Metoda zasnovana na analizi koeficijentata diskretne kosinusne transformacije je predstavljena u [6], od strane Cheng-Shian Lin i Jyh-Jong Tsay. Metoda se pokazala kao zgodna za detekciju izmena na slikama koje su pretrpele JPEG kompresiju i sadrže prateće artefakte. U [7], Mohsen Jenadeleh i Mohsen Ebrahimi Moghaddam predlažu metodu zasnovanu na modifikovanom fraktalnom kodovanju i poklapanju karakterističnih vektora. Slika se prvo deli na preklapajuće blokove. Zatim se vrši fraktalno kodovanje svakog bloka, i računaju karakteristike koje se koriste za preklapanje i detekciju kopiranih regiona. Metoda se pokazala dobra za detekciju regiona koji su pretrpeli *blur*. Rani Susan Oommena, Jayamohan M i Sruthy S u [8] predlažu pristup zasnovan na lokalnoj fraktalnoj dimenziji (LFD) i *singular value decomposition* (SVD). Slika se prvo deli na blokove fiksnih dimenzija i za svaki blok se estimira lokalna fraktalna dimezija. U cilju smanjenja kompleksnosti, blokovi slike se uređuju pomoću tkz. B+ stabla, prema vrednostima LFD. Parovi blokova se porede i traže se regioni sa maksimalnim poklapanjem. Metoda se pokazala kao dobra za detekciju višestruko kopiranih regiona. U radu naše grupe [9], predložena je metoda koja se zasniva na korišćenju i analizi multifraktalnog spektra originalne slike i njenih izmena. Pokazano je da *copy-move* izmene utiču na sjajnost, te stoga i na multifraktalnost originalne slike, ubacujući objekte koji ne odgovaraju prirodnom okruženju slike. Takođe, javljaju se dodatne „neprirodnosti“ u zavisnosti od sadržaja slike, pa se samim tim javljaju neregularnosti u multifraktalnom spektru slike, koje ukazuju na lokalne ili globalne promene u sadržaju originalne slike.

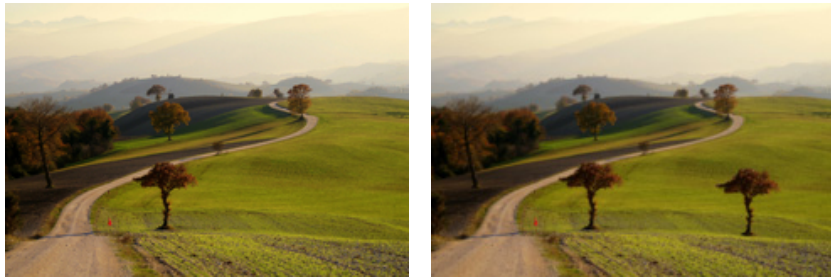
3. Copy-move metoda za izmenu slika

Copy-move forgery detection (CMFD) jeste pasivna metoda za detekciju promena na digitalnim slikama. Slike izmenjene *copy-move* metodom podrazumevaju da se deo slike kopira i premesti na neki drugi deo iste ili druge slike, kako bi se prenela lažna informacija o sadržaju slike, ili sakrila neka informacija. *Copy-move* je veoma jednostavna metoda za potrebe izmene slike i veoma efikasna za manipulaciju nad slikama, posebno što su kopirani i nalepljeni regioni sa iste slike, tako da su im osobine, kao što je osvetljenost, temperatura boje, prisustvo šuma veoma slične ili iste. Tako da se promene takve vrste jako teško mogu detektovati golim okom. Regioni koji se najčešće kopiraju i premeštaju su: trava, lišće, tkanina, regioni karakterističnih tekstura, boja i sličnih obeležja. Detekcija *copy-move* izmena postaje još teža ukoliko se regioni dodatno rotiraju, skaliraju, transliraju, ili kada slika prolazi kroz faze postprocesiranja, kao što je JPEG kompresija, Gausov šum, *blurring*, itd.

Primeri slika izmenjenih *copy-move* metodom dati su na slikama 1 i 2, dok je primer slike dobijene metodom *image splicing* dat na slici 3.



Slika 1. Originalna slika (levo) i njena izmena (desno).



Slika 2. Originalna slika (levo) i njena izmena (desno).



Slika 3. Originalna slika i slika dobijena image splicing metodom.

Na slici 1 možemo videti primer gde je deo šume kopiran i premešten kako bi se prekrrio određeni sadržaj slike (hotel). Na slici 2 originalna slika je izmenjena tako što je drvo kopirano i nalepljeno na drugi deo slike, tako da imamo lažnu informaciju o sadržaju slike. Na slici 3 možemo videti kako je od dve različite slike napravljena falsifikovana slika na kojoj druga osoba prima odlikovanje viteza od strane kraljice Elizabete II.

CMFD metode se mogu podeliti na *block-based* i *keypoint-based*. *Block based* metode podrazumevaju da se slika deli na preklapajuće ili nepreklapajuće blokove oblika kvadrata, radi analize u fazi pretprocesiranja. Zatim se izdvajaju karakteristike iz

pojedinih blokova i upoređuju međusobno kako bi se odredila sličnost između blokova u slici. Kada se otkriju blokovi, čije se karakteristike poklapaju, ti blokovi se razmatraju kao oni na kojima je vršena manipulacija [2], [5], [6], [7],[8]. Kada se radi o *block-based* metodama, karakteristike koje se najčešće izdvajaju su frekvencijska transformacija, i njena unapredjenja (*Discrete Cosine Transform* (DCT)) [6], *Fourier transform* (FT), *fast Walsh-Hadamard Transform* (FWHT), *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *Dyadic Wavelet Transform* (DyWT) i *Wiener Filter Wavelet*.

Keypoint-based pristupi nisu zasnovani na blokovima, već izdvajaju različite lokalne karakteristike, kao što su uglovi i ivice iz slike. Svaka karakteristika se predstavlja skupom deskriptora proizvedenih unutar nekog regiona. Deskriptori pomažu da se uveća preciznost poklapanja. Zatim se i pomenute karakteristike i deskriptori klasifikuju i poklapaju jedni sa drugima kako bi se pronašli duplicirani regioni u slici [1], [3], [4], [9].

Tehnike za izdvajanje karakteristika u *keypoint-based* metodama se mogu podeliti u tri kategorije: *Scale Invariant Feature Transform* (SIFT) [2], [3], *Harris Corner Detector* i *Speed Up Robust Features* (SURF) kategoriju.

4. Matematički model

Korelaciona analiza pokazuje stepen zavisnosti između promenljivih, odnosno korelacijom se meri jačina već utvrđene povezanosti između dve promenljive. Stepenn intenziteta povezanosti između promenljivih, koje su u linearnom odnosu meri se:

- kovarijansom kao apsolutnom merom intenziteta korelacije i
- koeficijentom proste linearne korelacije (*Pearson-ov* koeficijent) kao relativnom merom intenziteta korelacione veze.

Kovarijansa predstavlja u suštini zajedničku meru varijabilnosti, jedne i druge promenljive, pa se matematički može predstaviti kao zbir varijansi jedne i druge promenljive:

$$C_{xy} = SD_x^2 + SD_y^2, \quad (1)$$

tj.

$$C_{xy} = \frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n} + \frac{\sum(y-\bar{y})^2}{2} \quad (2)$$

Sređivanjem jednačine (2) dobijamo

$$C_{xy} = \frac{\sum xy}{n} - \bar{x}\bar{y} \quad (3)$$

gde su x i y dve promenljive koje predstavljaju nizove podataka, \bar{x} i \bar{y} njihove srednje vrednosti, odnosno aritmetička sredina niza, a n ukupna dužina niza. Sa C_{xy} je označena kovarijansa, dok su SD_x i SD_y standardne devijacije nizova.

Međutim, kovarijansa kao apsolutna mera stepena povezanosti nije pogodna za procenu, pa se pristupa izračunavanju relativne mere, tj. izračunava se koeficijent proste linearne korelacije.

Koeficijent proste linearne korelacije ili *Pearson-ov* koeficijent predstavlja kovarijansu standardnih devijacija za obe promenljive. Izračunava se kao količnik

između kovarijanse i proizvoda standardnih devijacija jedne i druge promenljive, pa je njegova formula:

$$r_{xy} = \frac{C_{xy}}{SD_x \cdot SD_y} = \frac{\text{kovarijanasa}}{\text{proizvod standardnih devijacija } x \text{ i } y} \quad (4)$$

Koeficijent proste linearne korelacije pokazuje stepen zavisnosti između promenljivih i određuje veličinu disperzije podataka oko regresione linije. Ako promenljive nisu povezane disperzija oko regresione linije je velika. Sa povećanjem stepena povezanosti, disperzija se smanjuje. Ako između dve promenljive postoji apsolutno slaganje svi podaci odgovaraju regresionoj liniji.

Koeficijent korelacije ima vrednost koja se kreće u rasponu od -1 do +1. Ako promenljive nisu korelisane, r teži nuli. Kada vrednosti nezavisne promenljive x rastu i kada vrednosti odgovarajuće zavisno promenljive y takođe rastu, i obrnuto, kada vrednosti nezavisno promenljive x opadaju i vrednosti odgovarajuće zavisno promenljive y takođe opadaju, onda je radi o pozitivnoj korelaciji ($r > 0$). Obrnuto, kada vrednosti nezavisno promenljive x rastu a vrednosti odgovarajuće zavisno promenljive y opadaju, i obrnuto, kada vrednosti nezavisno promenljive x opadaju a vrednosti odgovarajuće zavisno promenljive y rastu, onda je radi o negativnoj korelaciji ($r < 0$). Važi opšte pravilo: što je vrednost koeficijenta proste linearne korelacije bliža jedinici, to je međuzavisnost među posmatranim pojavama jača. Koeficijent korelacije nikada nema vrednosti 1 ili -1, jer to bi značilo da između pojava postoji matematička, a ne statistička veza.

Kod grupisanja po principu klasterovanja objekti se grupišu u klaster u zavisnosti od više atributa i pritom, za svaki klaster može postojati drugi skup pravila po kome se objekti grupišu. Kod klasterovanja nisu unapred date klase u koje će se objekti grupisati, već je proces otkrivanja klastera takav da su objekti unutar klastera međusobno slični a da su, pritom, različiti od objekata drugih klastera.

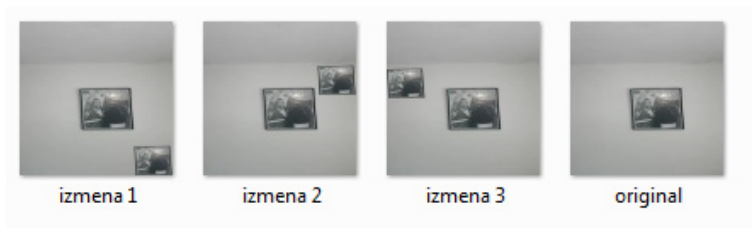
K-means je algoritam koji podatke grupiše u K klastera, gde se broj klastera K određuje na različite načine i u zavisnosti od preferencija donosioca odluke. Pošto je teško odrediti koji je pravi broj klastera u podacima, najčešće se algoritam sprovodi više puta, pa se na osnovu mere kvaliteta klastera ili na osnovu potvrde kvaliteta klasterovanja od strane donosioca odluke, odlučuje da je rezultat zadovoljavajući.

5. Eksperimentalni rezultati

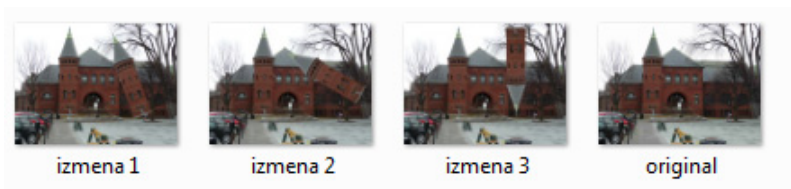
Matematički model predstavljen u četvrtom poglavlju je korišćen za analizu velikog broja originalnih i izmenjenih slika. U ovom poglavlju ćemo opisati primer primene algoritma na dve grupe slika. Prvu grupu predstavljaju slike iz javno dostupne baze (slika 4), dok drugi primer predstavlja primenu algoritma na generisane slike od strane autora (slika 5). Slike 6 i 7 su još neki od primera na kojima je vršeno testiranje.



Slika 4. Prva grupa testiranih slika (slike iz javno dostupne baze).



Slika 5. Druga grupa testiranih slika (slike generisane za eksperiment).



Slika 6. Treća grupa testiranih slika (slike iz javno dostupne baze).



Slika 7. Četvrta grupa testiranih slika (slike generisane za eksperiment).

Sve slike su u JPEG formatu, i mogu biti proizvoljne rezolucije. Na slici 4 možemo videti primer originalne slike i njene tri izmene: deo slike je kopiran i nalepljen na drugi deo iste slike, sa tim da je kod izmena 1 i 2 taj deo i rotiran. Slika 5 predstavlja grupu slika, koja sadrži original i izmene napravljene u *Adobe Photoshop*-u, gde je slika sa zida kopirana i nalepljena na različite delove originalne slike. Slike 6 i 7 su date kao primeri testiranih slika. Kod slike 6 izmene su različiti stepen skaliranja i rotiranja objekta, dok slika 7 predstavlja različite izmene originalne slike.

Parametri slika koji se koriste za analizu jesu nizovi x i y koji predstavljaju nivo sivog piksela originala i izmene (svaka slika je iz RGB sistema pretvorena u intenzitetsku varijantu), dok je n ukupan broj piksela slika koje se analiziraju.

5.1. Analiza korelisanosti

U eksperimentu su prvo odrađene statističke analize slika koje predstavljaju izmene, uključujući i original. Ispitivana je korelacija piksela originalne slike i izmena koje su izvršene nad originalom.

Tabela 1: Pearson-ov koeficijent korelacije za skup slika prikazan na Slici 3.

Pearson-ov koeficijent	Original baza	Izmena 1	Izmena 2	Izmena 3
Original	1	0.941**	0.865**	0.950**
Izmena 1	0.941**	1	0.896**	0.911**
Izmena 2	0.865**	0.896**	1	0.834**
Izmena 3	0.950**	0.911**	0.834**	1

Tabela 2: Pearson-ov koeficijent korelacije za skup slika prikazan na Slici 4.

Pearson-ov koeficijent	original	izmena 1	izmena 2	izmena 3
Original	1	0.816**	0.820**	0.873**
Izmena 1	0.816**	1	0.658**	0.705**
Izmena 2	0.820**	0.658**	1	0.708**
Izmena 3	0.873**	0.705**	0.708**	1

Napomena: “**” označavaju značajnu povezanost i pozitivnu korelisanost.

Iz tabela 1 i 2 možemo zaključiti da postoji pozitivna jaka korelisanost između piksela, kako originala i slike gde je vršena izmena, tako i između različitih izmenjenih slika, i to za oba primera koja su analizirana. Jaka korelisanost je verovatno rezultat statistički slične promene, jer je isti deo nalepljen u svim izmenama slike, samo je postavljen pod različitim uglovima.

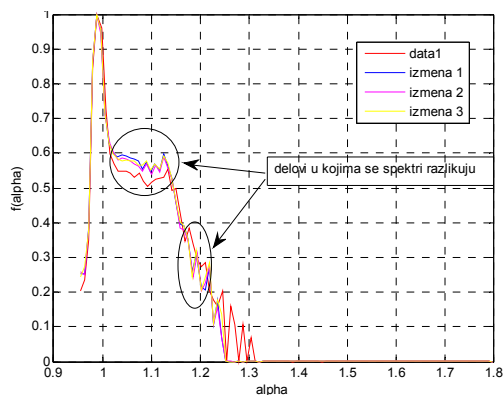
Pearson-ov koeficijent korelacije prikazan u tabelama iznad ukazuje na statistički značajnu vezu između originalne slike i izmena, kao i između svake od izmena.

5.2. K-means klasterizacija

Nakon utvrđivanja jačine veza i korelisanosti originala i izmena, kao i samih izmena, primenom algoritma *K-means*, ustanovljeno je da je najbolje uzeti za $K=2$. Algoritam je primenjen na više različitih slika kod kojih su vršene iste izmene i pokazao svoju uspešnost jer su u klasifikaciji dobijene dve grupe. Naime, jednom klasteru su pripadali izmenjeni pikseli dok su se u drugome našli originali. tj. pikseli nad kojima nije vršena nikakva izmena. Kako su intenziteti piksela poredani u niz x redosledom kojim se nalaze u slici (red po red), možemo tačno znati na kojim pozicijama se nalaze pikseli koji su u prvom klasteru, tj. pikseli koji su pretrpeli promene.

5.3. Multifraktalna obeležja

Umesto koeficijenta korelisanosti, mogu se koristiti druga obeležja slike, kao što su multifraktalni spektar $f(\alpha)$, maksimalne i minimalne vrednosti Hölder-ovog eksponenta α , kao i vrednosti površina P_1 i P_2 za određene intervale $[\alpha_1, \alpha_2]$ u kome se spektri originalne i izmenjene slike razlikuju [9]. Promene u vrednostima $f(\alpha)$ ukazuju na globalne promene na slikama, dok promene u vrednostima Hölder-ovog eksponenta α ukazuju na lokalne neregularnosti u slici [9]. Na slici 8 su prikazani multifraktalni spektri skupa slika sa Slike 3.



Slika 8. Multifraktalni spektri skupa slika sa Slike 3.

Sa slike 8 možemo videti da se multifraktalni spektri originalne slike i njenih izmena razlikuju. Mesta na kojima su najveće razlike su zaokružena i označena na slici. Tabela 3 prikazuje parametar za poređenje multifraktalnih spektara, kao što su maksimalne i minimalne vrednosti Hölder-ovog eksponenta α , kao i vrednosti površina P1 i P2 za određene intervale $[\alpha_1, \alpha_2]$ u kome se spektri originalne i izmenjene slike razlikuju.

Tabela 3: Minimalne i maksimalne vrednosti α i površine ispod α , za karakteristične α_1 i α_2 .

	α_{min}	α_{max}	P1 za [1.02,1.13]	P2 za [1.17,1.23]
Original	0.956	1.796	0.0623	0.0175
Izmena 1	0.955	1.785	0.0675	0.0175
Izmena 2	0.955	1.785	0.0675	0.0166
Izmena 3	0.955	1.176	0.0672	0.0169

6. Zaključak

Copy-move je jedna od najpopularnijih metoda u falsifikovanju slika. To je proces u kome se deo slike kopira i premešta na neki drugi deo iste slike, kako bi se sakrio određeni sadržaj slike, ili prenela lažna informacija o sadržaju slike. Ovakva kopirana područja je teško detektovati. Analiza dobijenih rezultata je pokazala da se *K-means* algoritam može uspešno primeniti za detektovanje slika iz iste grupe nad kojima je vršena ovakva promena. *Pearson*-ov koeficijent korelacije pokazao je da postoji statistički značajna veza između originalne slike i izmena kao i između svake od izmena.

U budućim istraživanjima treba analizirati druge vrste promena, kao i druge karakteristične parametre slika.

Zahvalnica. Autori se zahvaljuju Nataši Glišović (Državni univerzitet u Novom Pazaru, natasaglisovic@gmail.com) na korisnim sugestijama. Rezultati prikazani u ovom radu su dobijeni u okviru projekta TR32048.

Literatura

- [1] Z. Junliu, G. Yanfen, "Detection of copy–move forgery using discrete analytical Fourier–Mellin transform", *Nonlinear Dynamics*, 84(1), pp. 189-202, 2016.
- [2] Z. Fei., S. Wenchang, Q. Bo, L. Bin, "Image Forgery Detection Using Segmentation and Swarm Intelligent Algorithm", *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, Vol.2, No. 2, pp. 141-148, 2017.
- [3] F. Yang, L. Jingwei, L. Wei, J. Weng, "Copy-move forgery detection based on hybrid features", *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 59, pp. 73–83, Elsevier, 2017.
- [4] B. Ustibioglu, G. Ulutas, M. Ulutas, V. Nabiyev, "A new copy move forgery detection technique with automatic threshold determination", *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, Elsevier, 2016.
- [5] A. Malviya, S. S. Ladhake, "Pixel based Image Forensic Technique for copy-move forgery detection using Auto Color Correlogram", *Procedia Computer Science* 79, 383 – 390, Elsevier, 2016.
- [6] C. Lin, J. Tsay, "Passive forgery detection using discrete cosine transform coefficient analysis in JPEG compressed images", *Journal of Electronic Imaging* 25(3), 2016.
- [7] M. Jenadeleh, M. Moghaddam, "Blind Detection of Region Duplication Forgery Using Fractal Coding and Feature Matching", *J Forensic Sci*, Vol. 61., 2016.
- [8] R. Oommen, M. Jayamohan, S. Sruthy, "Using fractal dimension and Singular Values for image forgery detection and localization", *International Conference on Emerging Trends in Engineering, Science and Technology (ICETEST)*, Elsevier, 2015.
- [9] A. Pavlović, A. Gavrovska, I. Reljin, "Multifractal spectrum of the images obtained by copy move method", *IcETRAN*, 5-8. juna, Kladovo, Srbija, 2017.

Abstract: *Digital images and video represent powerful media for communication. By the development of high resolution cameras, there is also the development of software which makes it easy to change digital image content. Therefore, it is clear how the methods for identifying the manipulations in existing images are important. Copy-move is one of the most popular forgery methods in digital images. It is a process in which a portion of the image is copied and pasted to another part of the same image, in order to hide the specific content of the image, or transmit false information about the content of the image. Such copied regions are difficult to detect. The aim of this research is to show the possibility of detecting images from the same group where the modification is made, as well as to present the results of statistical analysis of such images and their clustering.*

Keywords: *copy-move method, image detection, cluster analysis, statistical analysis, correlation.*

STATISTICAL ANALYSIS OF IMAGES MODIFIED BY COPY-MOVE METHOD

Aleksandra Pavlović, Irini Reljin