

# Uticaj $\gamma$ -korekcije na digitalni vodeni žig insertovan SD algoritmom

Bojan Prlinčević

Visoka tehnička škola strukovnih studija  
Zvečan  
b.prlincevic@vts-zvecan.edu.rs

Zoran Milivojević

Visoka tehnička škola strukovnih studija  
Niš  
zoran.milivojevic@vtsnis.edu.rs

*Sažetak*—U prvom delu rada opisan je algoritam za  $\gamma$ -korekciju i algoritam za insertovanje žiga baziran na Schur dekompoziciji (SD algoritam). U drugom delu rada opisan je eksperiment u kojem je primenom SD algoritma izvršeno insertovanje i ekstrakcija digitalnog vodenog žiga u slici. Ekstrakcija vodenog žiga je izvršena iz slike sa vodenim žigom koja je deformisana promenom kontrasta primenom algoritma za  $\gamma$ -korekciju ( $\gamma = 0.25 \div 4$ ). Provera kvaliteta ekstrahovanog vodenog žiga obavljena je pomoću objektivnih mera kvaliteta MSE i PSNR, kao i vizuelnom komparacijom ekstrahovanog i originalnog žiga.

*Cljučne riječi*-  $\gamma$ -korekcija; Schur dekompozicija; SD algoritam; vodeni žig.

## I. UVOD

Široko rasprostranjeno korišćenje interneta omogućava intenzivnu razmenu multimedijalnih sadržaja (slika, video zapis, audio sadržaj,...). Samim tim javlja se i mogućnost zloupotrebe, odnosno, neovlašćenog korišćenja sadržaja. U cilju zaštite autorskih prava danas su aktuelne zaštite pomoću digitalnih vodenih žigova (engl. *watermarking*). Vodeni žigovi mogu biti vidljivi i nevidljivi. Nevidljivi vodeni žig je insertovan u sliku tako da ne narušava vizualne karakteristike slike i može kasnije biti izdvojen u svrhu dokazivanja autorskih prava [1], [2]. Nevidljivi žig se može insertovati u sliku korišćenjem transformacija poput DCT [2], [3] (engl. *Discrete Cosinuse Transform*), DWT [4], [5] (engl. *Discrete Wavelet Transform*), SVD transformacija [2], [6], [7] (engl. *Singular Value Decomposition*) i Šurova dekompozicija (engl. *Schur Decomposition*, SD) [8], [9]. Insertovanje žiga u slici neminovno dovodi do određenog stepena degradacije slike. Degradacija slike može biti u tolikoj meri da slika bude sa izuzetno lošim vizuelnim karakteristikama da praktično bude neupotrebljiva.

Iz tog razloga potrebno je izvršiti popravku kvaliteta slike. Autori ovog rada su postavili pitanje: *kako popravka slike, sa insertovanim vodenim žigom, primenom  $\gamma$ -korekcije utiče na kvalitet ekstrahovanog vodenog žiga?* U cilju dobijanja odgovora na postavljeno pitanje autori su sproveli eksperiment u okviru kojeg je: a) formirana GQ (engl. *good quality*) slika dobrog kvaliteta [10], b) insertovan vodeni žig SD algoritmom [9], [11], c) izvršena deformacija slike promenom kontrasta pomoću algoritma za  $\gamma$ -korekciju ( $\gamma = 0.25 \div 4$ ) [12], [13], i d) izdvajanje vodenog žiga i provera njegovog kvaliteta. Provera kvaliteta vodenog žiga obavljena je pomoću objektivnih mera

kvaliteta MSE (engl. *Mean Square Error*) i PSNR (engl. *Peak Signal-to-Noise Ratio*), kao i vizuelnom komparacijom ekstrahovanog i originalnog žiga.

Rad je organizovan na sledeći način. U sekciji II opisani su: a) algoritam za procesiranje slike  $\gamma$ -korekcijom i b) SD algoritam za insertovanje i ekstrakciju vodenog žiga. U sekciji III opisan je eksperiment u kojem je izvršeno korigovanje slike  $\gamma$ -korekcijom, insertovanje i ekstrakcija žiga. U sekciji IV su prikazani rezultati i analiza rezultata. Sekcija V je zaključak.

## II. ALGORITMI

U ovom radu su korišćena dva algoritma: a) algoritam za procesiranje slike primenom  $\gamma$ -korekcije [12], [13], i b) SD algoritam za insertovanje i ekstrakciju vodenog žiga [9], [11].

### A. Algoritam za popravku slike $\gamma$ -korekcijom

Procesiranje slike vrši se  $\gamma$ -korekcijom tako što se vrši  $\gamma$ -transformacija slike, sa srednjom luminansom  $\mu_A$ , na željenu vrednost srednje luminanse  $\mu$ .

$$A_\gamma = A^\gamma . \quad (1)$$

gde  $A$  predstavlja originalnu sliku a  $A_\gamma$  predstavlja  $\gamma$ -korigovanu sliku.

### B. SD algoritam za insertovanje žiga

Za insertovanje digitalnog vodenog žiga korišćen je SD algoritam koji je baziran na Schur dekompoziciji [9], [11]. Algoritam se izvršava u sledećim koracima:

**Ulaz:** originalna slika  $A_{M \times N}$ , binarni žig  $W_{M_z \times N_z}$ , dimenzija bloka  $M_b \times N_b$ .

**Izlaz:** slika sa žigom  $X_W$ .

**Korak 1:** Vršiti se deljenje originalne matrice  $A$  na  $X \times Y$  blokova  $H_{M_b \times N_b}$ , gde je  $X = \lceil M / M_b \rceil$  i  $Y = \lceil N / N_b \rceil$ .

**Korak 2:** Primena Šurove dekompozicije nad blokovima  $H$ :

$$H_{i,j} = U_{i,j} \times D_{i,j} \times U_{i,j}^T, \quad (2)$$

### III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

#### A. Eksperiment

U cilju testiranja uticaja  $\gamma$ -korekcije na digitalni vodeni žig isertovan SD algoritmom izvršen je sledeći eksperiment:

**Korak 1:** Originalna slika  $A$  je  $\gamma$ -korigovana tako da je dobijena slika: a)  $A_{0.5}$  - GQ slika, sa srednjom vrednošću luminanse  $\mu = 0.5$ ; b)  $A_{0.25}$  - tamna slika, sa srednjom vrednošću luminanse  $\mu = 0.25$ ; i c)  $A_{0.75}$  - svetla slika, sa srednjom vrednošću luminanse  $\mu = 0.75$ .

**Korak 2:** Slika sa žigom  $A_w$  dobijena je tako što je u originalnu sliku  $A_\mu$  koja je podeljena na blokove  $M_b \times N_b = 4 \times 4$ , primenom Šurove dekompozicije isertovan binarni vodeni žig  $W$  dimenzije  $M_w \times N_w = 128 \times 128$  sa koeficijentom insertovanja  $T$ . U svaki blok insertovan jedan bit žiga.

**Korak 2:** Slika sa insertovanim digitalnim vodenim žigom  $A_{\mu W}$  je  $\gamma$ -korigovana  $\gamma$ -koeficijentom koji je variran u opsegu  $0.25 \div 4$ . Dobijena je slika  $A_{\mu W}^\gamma$ .

**Korak 3:** Iz  $\gamma$ -korigovane slike,  $A_{\mu W}^\gamma$ , ekstrahovan je vodeni žig  $W_e$ .

Kao mera kvaliteta filtrirane slike i izdvojenog vodenog žiga primenjuju se vizuelna komparacija ekstrahovanog i originalnog žiga, srednja kvadratna greška MSE i vršni odnos signal-šum PSNR:

$$MSE = \frac{\sum_{ij} (x_{ij} - y_{ij})^2}{M \times N}, \quad (8)$$

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{d^2}{MSE} \quad (9)$$

gde je:  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$  -i-j-ti piksel elementa originalne i procesirane slike,  $M \times N$ -veličina slike,  $d$  - maksimalna moguća vrednost piksela.

U eksperimentu su korišćene slike Lena, Girl i Babon dimenzija  $(512 \times 512)$ , sl. 1-a,b,c. Kao žig korišćena je sl. 1-d dimenzija  $(128 \times 128)$ . U cilju sveobuhvatnog testiranja i provere uticaja strukture žiga na ekstrakciju žiga u eksperimentu je korišćen i inverzni žig. Vrednosti koeficijenta insertovanja žiga su  $T = \{0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03\}$ .



a)



b)

gde je  $U$  unitarna matrica,  $D$  gornja trougaona matrica i  $1 \leq i \leq \lceil M/M_b \rceil$  i  $1 \leq j \leq \lceil N/N_b \rceil$ .

**Korak 3:** Modifikuju se elemnti  $u_{2,1}$  i  $u_{3,1}$  u matrici  $U$  svakog bloka da bi se dobio modifikovani blok  $U'$  u skladu sa informacijama o utisnutom binarnom vodenom žigu  $W$ .

Insertovanje digitalnog vodenog žiga se vrši u skladu sa pravilom prikazanim u (3) i (4). Binarni vodeni žig  $W$  je utisnut modifikacijom izvršenom izmedju drugog elementa ( $u_{2,1}$ ) i trećeg elementa ( $u_{3,1}$ ) u prvog koloni:

$$\text{if } w_{i,j} = 1, \begin{cases} u'_{2,1} = \text{sign}(u_{2,1}) * (U_{avg} + T/2) \\ u'_{3,1} = \text{sign}(u_{3,1}) * (U_{avg} - T/2) \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{if } w_{i,j} = 0, \begin{cases} u'_{2,1} = \text{sign}(u_{2,1}) * (U_{avg} - T/2) \\ u'_{3,1} = \text{sign}(u_{3,1}) * (U_{avg} + T/2) \end{cases} \quad (4)$$

gde  $\text{sign}(x)$  predstavlja znak od  $x$  i  $U_{avg} = (|u_{2,1}| + |u_{3,1}|)/2$ ,  $|x|$  predstavlja apsolutnu vrednost od  $x$ .

**Korak 4:** Rekonstrukcija bloka sa utisnutim žigom:

$$H'_{i,j} = U_{i,j} \times D'_{i,j} \times U_{i,j}^T, \quad (5)$$

**Korak 5:** Formiranje slike sa žigom  $A_w$  od blokova  $H'$ .

#### C. SD algoritam za ekstrakciju žiga

SD algoritam za ekstrakciju žiga izvršava se u sledećim koracima:

**Ulaz:** slika sa žigom  $A_w$ , dimenzija bloka  $M_b \times N_b$ .

**Izlaz:** Rekonstruisani binarni žig  $W'_{M_z \times N_z}$ .

**Korak 1:** Vršni se deljenje matrice  $A_w$  na  $X \times Y$  blokova  $H'_{M_b \times N_b}$ , gde je  $X = \lceil M/M_b \rceil$  i  $Y = \lceil N/N_b \rceil$ .

**Korak 2:** Primena Šurove dekompozicije nad blokovima  $H'$ :

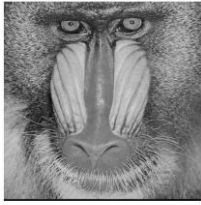
$$H'_{i,j} = U'_{i,j} \times D'_{i,j} \times (U'_{i,j})^T, \quad (6)$$

gde je  $U'$  unitarna matrica,  $D'$  gornja trougaona matrica i  $1 \leq i \leq \lceil M/M_b \rceil$  i  $1 \leq j \leq \lceil N/N_b \rceil$ .

**Korak 3:** Izdvajanje bita žiga  $bw'$  iz matrice  $D'$ :

$$w'_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{if } |u'_{2,1}| < |u'_{3,1}| \\ 1, & \text{if } |u'_{2,1}| \geq |u'_{3,1}| \end{cases} \quad (7)$$

**Korak 4:** Formiranje žiga  $W'$  od ekstrahovanih bitova  $w'_{i,j}$ .



c)



d)

Slika 1. Slike korišćene u radu: a) Lena, b) Girl, c) Baboon i d) Žig

### B. Rezultati

Izgled slika nakon korigovanja, na zadatu vrednost srednje vrednosti luminanse, primenom  $\gamma$ -korekcije kao i njihov izgled nakon insertovanja žiga (pri  $T = 0.01$ ) prikazan je na sl. 2. Na sl. 2.a prikazan je izgled slike sa srednjom luminansom  $\mu = 0.5$  (GQ slika), a na sl. 2.b prikazan je njen izgled nakon insertovanja žiga. Na sl. 2.c prikazan je izgled slike sa srednjom luminansom  $\mu = 0.25$  (tamna slika), a na sl. 2.d prikazan je njen izgled nakon insertovanja žiga. Na sl. 2.e prikazan je izgled slike sa srednjom luminansom  $\mu = 0.75$  (svetla slika), a na sl. 2.f prikazan je njen izgled nakon insertovanja žiga.



a)



b)



c)



d)

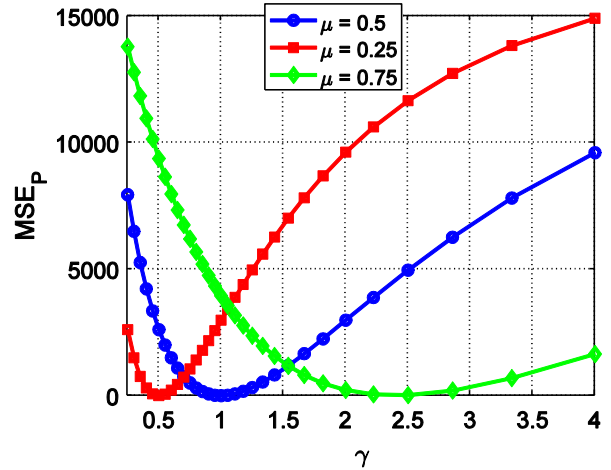


e)



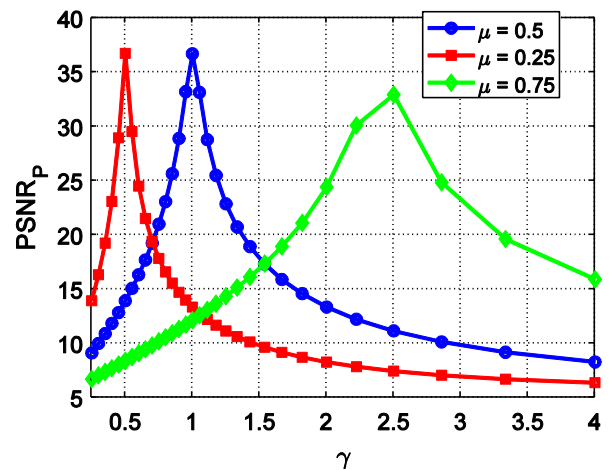
f)

Slika 2. Izgled slika nakon  $\gamma$ -korekcije: a)  $\mu = 0.5$  (GQ slika), b) nakon insertovanja žiga (pri  $T = 0.01$ ), c)  $\mu = 0.25$  (tamna slika), d) nakon insertovanja žiga (pri  $T = 0.01$ ), e)  $\mu = 0.75$  (svetla slika), f) nakon insertovanja žiga (pri  $T = 0.01$ ).

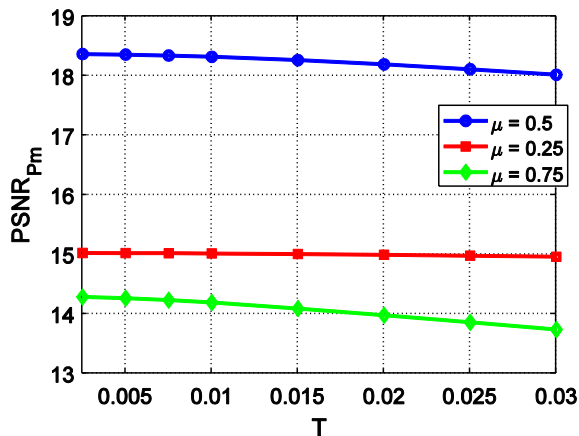


Slika 3. Srednja kvadratna greška MSE slike u zavisnosti od  $\gamma$ -koefficijenta, za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$  (pri  $T = 0.01$ ).

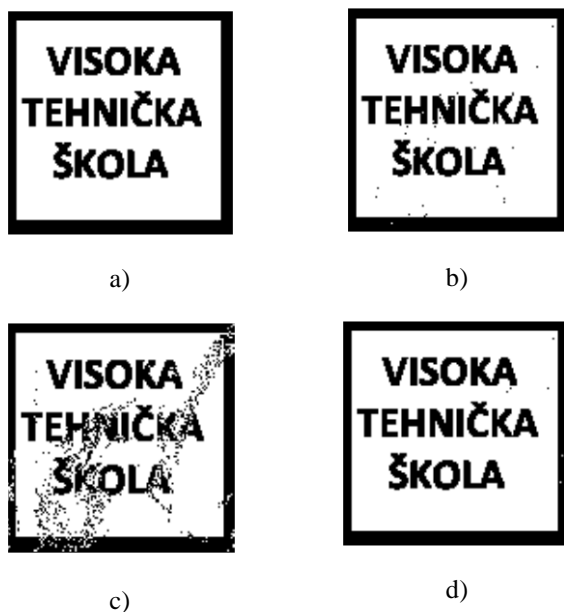
Na sl. 3. i 4. prikazani su dijagrami za MSE i PSNR za slike sa insertovanim žigom (nad kojim je izvršena  $\gamma$ -korekcija) u odnosu na GQ sliku, za vrednosti srednje vrednosti luminanse  $\mu = 0.25$ ,  $\mu = 0.5$  i  $\mu = 0.75$ . Na sl. 5. prikazan je dijagram za PSNR slike sa insertovanim žigom, (usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficijenta) u zavisnosti od koefficijenta insertovanja žiga  $T$ . Na sl. 6. prikazan je izgled ekstrakovanog žiga i na sl. 7. izgled ekstrakovanog inverznog žiga koji je ekstrakovan iz slika sa vrednostima srednje luminanse  $\mu = 0.25$ ,  $\mu = 0.5$  i  $\mu = 0.75$  (pri  $T = 0.01$ ). Sl. 8. i 9. prikazuju dijagrame za MSE i PSNR ekstrakovanog žiga u zavisnosti od  $\gamma$ -koefficijenta, za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$  (pri  $T = 0.01$ ). Na sl. 10. i 11. prikazani su dijagrami za MSE i PSNR ekstrakovanog žiga (usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficijenta) u zavisnosti od koefficijenta insertovanja žiga  $T$ , za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$ .



Slika 4. PSNR slike u zavisnosti od  $\gamma$ -koefficijenta, za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$  (pri  $T = 0.01$ ).



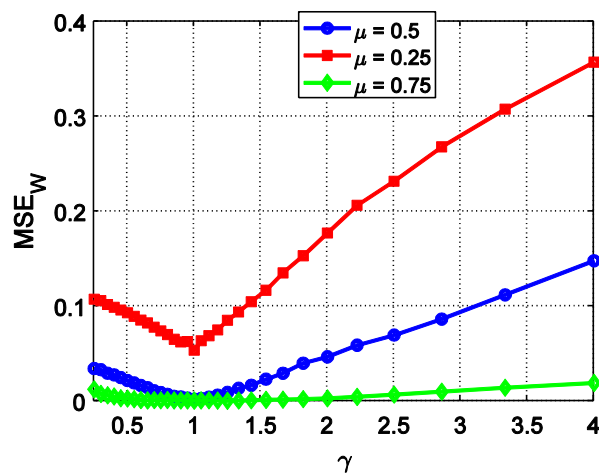
Slika 5. PSNR slike sa žigom (usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koeficijenta) u zavisnosti od koeficijenta insertovanja žiga  $T$ , za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$ .



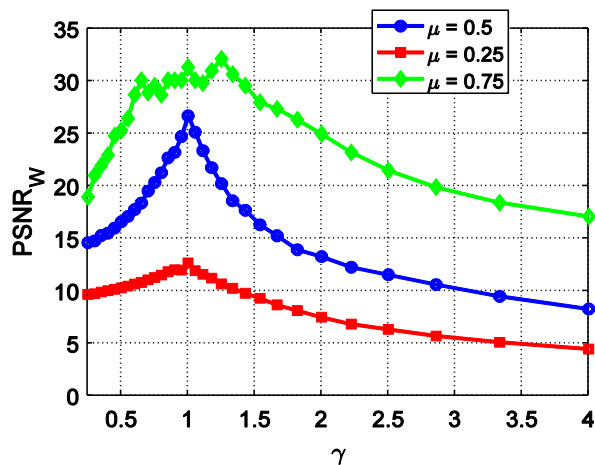
Slika 6. Izgled žiga: a) originalni žig, b) ekstrakovan iz slike sa  $\mu = 0.5$  (pri  $T = 0.01$ ), c) ekstrakovan iz slike sa  $\mu = 0.25$  (pri  $T = 0.01$ ), d) ekstrakovan iz slike sa  $\mu = 0.75$  (pri  $T = 0.01$ ).



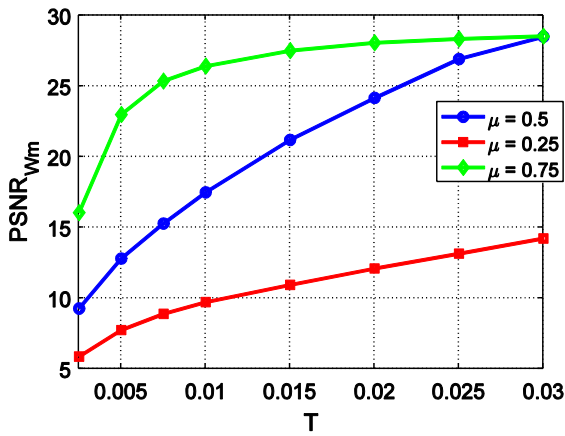
Slika 7. Izgled inverznog žiga: a) originalni žig, b) ekstrakovan iz slike sa  $\mu = 0.5$  (pri  $T = 0.01$ ), c) ekstrakovan iz slike sa  $\mu = 0.25$  (pri  $T = 0.01$ ), d) ekstrakovan iz slike sa  $\mu = 0.75$  (pri  $T = 0.01$ ).



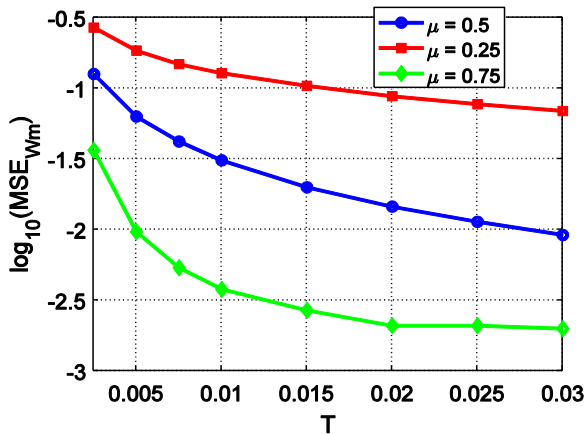
Slika 8. Srednja kvadratna greška MSE ekstrakovanog žiga u zavisnosti od  $\gamma$ -koeficijenta, za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$  (pri  $T = 0.01$ ).



Slika 9. PSNR ekstrakovanog žiga u zavisnosti od  $\gamma$ -koeficijenta, za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$  (pri  $T = 0.01$ ).



Slika 10. PSNR ekstrakovanog žiga (usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta) u zavisnosti od koefficienta insertovanja žiga  $T$ , za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$ .



Slika 11. Srednja kvadratna greška MSE ekstrakovanog žiga (usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta) u zavisnosti od koefficienta insertovanja žiga  $T$ , za različite vrednosti srednje luminanse  $\mu$ .

### C. Analiza

Na osnovu rezultata prikazanih na sl. 2. i dijagrama prikazanih na sl. 3 - 5. može se zaključiti da je:

a) Vizuelni izgled slike nakon insertovanja žiga (pri  $T = 0.01$ ) u sliku čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.5$  (GQ slika) najboljeg izgleda, sa najmanjim vidljivim degradacijama (sl. 2.);

b) MSE slike sa insertovanim žigom (pri  $T = 0.01$ ) ima najmanju vrednost za sliku čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.5$  (GQ slika) (sl. 3.);

c) PSNR slike sa insertovanim žigom (pri  $T = 0.01$ ) ima najveću vrednost za sliku čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.5$  (GQ slika) (sl. 4.);

d) PSNR slike sa insertovanim žigom, usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta, ima najveću vrednost za sliku čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.5$  (GQ slika), za sve vrednosti

koefficienta insertovanja žiga  $T$  (sl. 5.) (za  $T = 0.01$ ,  $\text{PSNR}_{\mu=0.5} \approx 18.5$ ,  $\text{PSNR}_{\mu=0.25} \approx 15$  i  $\text{PSNR}_{\mu=0.75} \approx 14.1$ );

Na osnovu rezultata prikazanih na sl. 6. i 7. i dijagrama prikazanih na sl. 8 - 11. može se zaključiti da je:

a) Žig ekstrakovan iz slike čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.75$  (svetla slika) vizuelno boljeg izgleda od žiga ekstrakovanog iz ostalih slika. Takođe može se zaključiti da je inverzni žig (žig gde preovlađuju crni pikseli) ekstrakovan iz slike čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.75$  (posvetljena slika), takođe, vizuelno boljeg izgleda od žiga ekstrakovanog iz ostalih slika (sl. 6. i 7.);

b) MSE ekstrakovanog žiga (pri  $T = 0.01$ ) ima najmanju vrednost za žig ekstrakovan iz slike čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.75$ , za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta (sl. 8.);

c) PSNR ekstrakovanog žiga (pri  $T = 0.01$ ) ima najveću vrednost za žig ekstrakovan iz slike čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.75$ , za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta (sl. 9.);

d) PSNR ekstrakovanog žiga, usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta, ima najveću vrednost za žig ekstrakovan iz slike čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.75$ , za sve vrednosti koefficienta insertovanja žiga  $T$  (sl. 10.) (za  $T = 0.01$ ,  $\text{PSNR}_{\mu=0.75} \approx 26$ ,  $\text{PSNR}_{\mu=0.5} \approx 21$  i  $\text{PSNR}_{\mu=0.25} \approx 10$ );

e) MSE ekstrakovanog žiga, usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta, ima najmanju vrednost za žig ekstrakovan iz slike čija je srednja osvetljenost  $\mu = 0.75$ , za sve vrednosti koefficienta insertovanja žiga  $T$  (za  $T = 0.01$ ,  $\log_{10}(\text{MSE}_{\mu=0.75}) \approx -2.4$ ,  $\log_{10}(\text{MSE}_{\mu=0.5}) \approx -1.5$  i  $\log_{10}(\text{MSE}_{\mu=0.25}) \approx -0.9$ ) (sl. 11.).

## IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršeno testiranje uticaja  $\gamma$ -korekcije na digitalni žig insertovan u sliku primenom SD algoritma. Na osnovu detaljne analize rezultata dobijenih u eksperimentu može se zaključiti da insertovanje žiga u sliku koja je u fazi predprocesiranja svedena na GQ sliku ( $\mu = 0.5$ ) dovodi do manjih vizuelnih degradacija slike u odnosu na insertovanje žiga u zatamnjenju sliku ( $\mu = 0.25$ ) i posvetljenu sliku ( $\mu = 0.75$ ). MSE i PSNR slike sa žigom pri  $\mu = 0.5$  imaju bolje vrednosti u odnosu na MSE i PSNR slike sa žigom pri  $\mu = 0.25$  i  $\mu = 0.75$  (za  $T = 0.01$ ,  $\text{PSNR}_{\mu=0.5} \approx 18.5$ ,  $\text{PSNR}_{\mu=0.25} \approx 15$  i  $\text{PSNR}_{\mu=0.75} \approx 14.1$ ). Sa druge strane može se zaključiti da je žig ekstrakovan iz slike koja je u fazi predprocesiranja posvetljena ( $\mu = 0.75$ ) vizuelno znatno boljeg izgleda, za sve vrednosti koefficienta insertovanja, za  $\gamma = 0.25 \div 4$ . Vizuelnom komparacijom žiga ekstrakovanog iz slike ( $\mu = 0.75$ ) i originalnog žiga ne mogu se uočiti nedostaci. MSE i PSNR žiga ekstrakovanog iz slike pri  $\mu = 0.75$  pokazuju da se najmanja greška pri ekstrakciji javlja kod posvetljene slike. Za koefficient insertovanja  $T = 0.01$ , PSNR usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta ima vrednosti  $\text{PSNR}_{\mu=0.75} \approx 26$ ,  $\text{PSNR}_{\mu=0.5} \approx 21$  i  $\text{PSNR}_{\mu=0.25} \approx 10$ , a MSE usrednjen za sve vrednosti  $\gamma$ -koefficienta ima vrednosti  $\log_{10}(\text{MSE}_{\mu=0.75}) \approx -2.4$ ,  $\log_{10}(\text{MSE}_{\mu=0.5}) \approx -1.5$  i  $\log_{10}(\text{MSE}_{\mu=0.25}) \approx -0.9$ . Takođe, može se zaključiti da insertovanje i ekstrakcija žiga ne zavise od strukture žiga. Konačno može se zaključiti da primenom SD algoritma za insertovanje digitalnog vodenog žiga nad slikom

koja je u fazi predprocesiranja posvetljena, ekstrakovani žig je boljeg kvaliteta.

#### LITERATURA

- [1] I.J. Cox, M.L. Miller and J.A. Bloom, "Digital Watermarking", Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [2] R. Liu, T.Tan, "A SVD based watermarking scheme for protecting rightful ownership", IEEE Trans. Multimedia 4 (1) (march 2002) 121-128.
- [3] B.Verma, S.Jain, D.P. Agarwal "Spatial Domain Robust Blind Watermarking Scheme for Color Image" Asian Journal of Information Technology 6(4):430-435, 2007.
- [4] S.Baba, L.Krikor, T.Arif, Z. Shaaban, "Watermarking of digital images in Frequency Domain", International Journal of Automation and Computing, May 2009.
- [5] W.Chu, "DCT-based image watermarking using subsampling", IEEE Trans. Multimedia 5 (1) (March 2003) 34-38.
- [6] A.Reddy, B.Chatterji, "A new wavelet based log-watermarking scheme", Pattern Recognition Lett. 26(may 2005) 1019-1027.
- [7] P.Kumsawat, K.Attakitmongcol, A.Srikaew, "Multi wavelet-based image watermarking using genetic algorithm", Proceednigs of the IEEE TENCON Conference, november 2004, pp.275-278.
- [8] Q.Su, Y.Niu, X.Liu, Y.Zhu, "Embedding color watermarks in color images based on Schur decomposition", Optics Communications, 285 (2012) p.p. 1792-1802.
- [9] G.H. Golub, C.F. Van Loan, Matrix computations, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1989.
- [10] Z. Milivojević, N. Savić, B. Prlinčević, "Parametri slike dobrog kvaliteta pogodnih za digitalnu obradu", 5. Međunarodno savetovanje Upravljanje znanjem i informatika, Kopaonik, 8-9. Janura 2019, pp. 129 -137, ISBN: 978-86-6211-115-9.
- [11] B. Prlinčević, Z. Milivojević, P. Spalević, D. Brodić, "Performanse SD algoritma za insertovanje vodenog žiga u slici baziranog na Šurovoj dekompoziciji", International Scientific Conference INFOTEH 2015, pp. 640-644, 18-20 March 2015, Jahorina, Bosnia nad Hecegovina, ISBN:978-99955-763-6-3.
- [12] M. Meriama, B. Mohamed, "New Mean-Variance Gamma Method for Automatic Gamma Correction", I.J. Image, Graphics and Signal Processing, , Vol. 3, pp. 41-54, 2017.
- [13] P Babakhani, P Zarei, "Automatic gamma correction based on average of brightness", ACSIJ Advances in Computer Science: an International Journal, Vol. 4, Issue 6, No.18, pp. 156-159, November 2015.

#### ABSTRACT

The first part of the paper describes an algorithm for  $\gamma$ -correction and an algorithm for inserting a watermark based on Schur decomposition (SD algorithm). In the second part of the paper, an experiment was described in which the insertion and extraction of the digital watermark in the image was performed using the SD algorithm. The watermark extraction was performed from a watermarked image that was deformed changing the contrast using an  $\gamma$ -correction algorithm ( $\gamma = 0.25 \div 4$ ). The quality of the extracted watermark was performed using objective measurements of the quality MSE and PSNR, as well as visual comparison of the extracted and original watermark.

#### **THE INFLUENCE OF $\gamma$ -CORRECTION ON THE DIGITAL WATERMARK INSERTED WITH SD ALGORITHM**

Bojan Prlinčević, Zoran Milivojević