

Algoritam za utiskivanje binarnog vodenog žiga zasnovan na SVD transformaciji

Zoran Stevanović, *Member, IEEE*, Zoran Milivojević, Vidosav Stojanović

Sadržaj — U ovom radu predložen je algoritam za utiskivanje i izdvajanje robusnog vodenog žiga u monohromatsku sliku, zasnovan na SVD transformaciji. Algoritam se zasniva na podeli slike na nepreklapajuće blokove, primenu SVD transformacije na blok, a zatim utiskivanje jednog bita binarnog žiga u najveći element dijagonalne matrice. Testiranje robusnosti predloženog algoritma izvršeno je za različite deformacije slike a rezultati su analizirani na osnovu objektivnih i subjektivnih parametara. Kao objektivni parametri korišćeni su PSNR (engl. *peak signal-to-noise ratio*) i korelacioni koeficijent r_{cor} , a kao subjektivni parametar vidljivost izdvojenog žiga.

Cljučne reči — Digitalni vodeni žig, SVD transformacija

I. UVOD

SAVREMENE informaciono-komunikacione tehnologije omogućile su jednostavan, brz i pouzdan pristup, korišćenje, i razmenu informacija. Očigledne prednosti, sa jedne strane, donele su zloupotrebu sa druge strane. Nelegalan pristup, korišćenje i distribucija različitih vrsta informacija, nametnula su zaštitu autora i autorskih prava. Predložena su različita rešenja, a jedno od njih jeste i digitalni vodeni žig.

Digitalni vodeni žig predstavlja niz informacija utisnutih u multimedijalni podatak, kojim vlasnik dokazuje svoje autorsko pravo [1]. Multimedijalni podatak može da bude audio, slika ili video. Ovaj rad će se baviti vodenim žigom u monohromatskoj slici. Utiskivanje žiga vrši se određenim algoritmom, i to tako da utisnuti žig bude nevidljiv. Izdvajanjem žiga algoritmom za izdvajanje autor dokazuje autorsko pravo.

Utiskivanje digitalnog vodenog žiga može se realizovati u prostornom i frekventnom domenu. U prostornom domenu utiskivanje se vrši direktnom modifikacijom vrednosti piksela originalne slike, dok se u transformacionom domenu žig utiskuje modulacijom koeficijenata transformacije i u tu svrhu se koriste složene transformacije poput SVD (*Singular Value Decomposition*) transformacije [2]-[4],[7]-[11], diskretne kosinusne transformacije DCT [12],[13], diskretne wavelet transformacije DWT [14],[15].

Prema kriterijumu vidljivosti žigovi se dele na vidljive i nevidljive. Za zaštitu autorskih prava koriste se isključivo nevidljivi žigovi.

Mogućnost neovlašćene eliminacije žiga u slučajevima ataka na sliku deli digitalne vodene žigove na robusne i

slabe (engl. *fragile*). Da bi se postigla veća otpornost žigova na raznovrsne atake primenjuju se složeni algoritmi za utiskivanje i izdvajanje. Robusni žigovi se po pravilu realizuju utiskivanjem u transformacionom domenu.

Prema načinu izdvajanja utisnutog žiga algoritmi se dele na tri klase: a) non-blind metod, koji u procesu detekcije zahteva originalnu sliku i , u nekim slučajevima, originalni žig; b) semi-blind metod, koji u procesu detekcije koristi samo originalni žig ili neku drugu informaciju; i c) blind metod koji u procesu detekcije ne koristi ni originalnu sliku ni originalni žig [5].

Jedna od najvažnijih karakteristika digitalnog vodenog žiga za slučaj kada se on koristi za zaštitu autorskih prava jeste njegova robusnost ili otpornost. Ona podrazumeva da žig u slici bude otporan na namerno ili nenamerno dejstvo na sliku kao što je filtriranje, geometrijske transformacije, superponiranje šuma ili slično. U svim ovim slučajevima žig ne sme da bude eliminisan iz slike bez značajne degradacije originalne slike. Jednostavnije rečeno, sve dok je slika posle gore pomenutih ataka upotrebljiva, žig mora da bude sačuvan i da postoji mogućnost njegovog izdvajanja iz slike [6].

U ovom radu predložen je algoritam za utiskivanje i izdvajanje vodenog žiga zasnovan na SVD transformaciji. Za demonstraciju metoda korišćena je monohromatska slika 512x512 piksela u koju je utisnut binarni žig dimenzija 64x64 piksela. Predloženi metod deli sliku na nepreklapajuće blokove 8x8 piksela i nad svakim blokom vrši SVD transformaciju. Zatim se jedan bit žiga utiskuje u prvi element $\sigma(1,1)$ dijagonalne matrice D , sa faktorom utiskivanja α . Faktor utiskivanja biran je tako da uticaj žiga kao smetnje bude 50 dB. Slika sa žigom dobija se ponovnim komponovanjem blokova u koje je utisnut po jedan bit žiga. U cilju povećane zaštite može se koristiti permutovanje tačaka žiga po nekom ključu k pre utiskivanja. Izdvajanje žiga vrši se obrnutim postupkom. Algoritam se, prema rezultatima testiranja, može svrstati u grupu robusnih, neinvertibilnih semi-blind metoda. Algoritam je testiran izlaganjem slike sa žigom različitim deformacijama među kojima su: JPEG kompresija, rotacija, superponiranje šuma (salt & pepper i Gausov šum), odsecanje dela slike, promena dimenzija (resize), i nisko-frekventno filtriranje. Pri tome su za ocenu dobijenih rezultata korišćeni objektivni parametri: vršni odnos signal-šum PSNR (engl. *peak signal-to-noise ratio*), korelacioni koeficijenti r_{cor} , i subjektivni: vidljivost izdvojenog žiga.

Ostali deo rada organizovan je na sledeći način. Sekcija II daje kratki opis SVD transformacije. Sekcija III opisuje predloženi algoritam utiskivanja i izdvajanja. U Sekciji IV prikazani su eksperimentalni rezultati i analiza dobijenih rezultata. Zaključak je dat u sekciji V.

II. SVD TRANSFORMACIJA

U linearnoj algebri singularna dekompozicija SVD je poznata tehnika za faktorizaciju matrica, realnih ili

• P. Zoran Stevanović, ETŠ Mija Stanimirović, bul sv. cara Konstantina bb, 18110 Niš, Srbija (tel:381-63-414453; e-mail: szoran@jotel.co.rs)

D. Zoran Milivojević, Visoka Tehnička Škola, Aleksandra Medvedeva 20, 18000 Niš, Srbija, (e-mail: zoran.milivojevic@jotel.co.rs).

T. Vidosav Stojanović, Elektronski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: vitko@elfak.ni.ac.rs)

kompleksnih. Široko je korišćena u procesiranju signala, kao što je kompresija, eliminacija šuma ili za utiskivanje vodenog žiga u sliku. Odnedavno SVD transformacija se koristi za merenje kvaliteta slike posle dejstva različitih deformacija [7]. Sastoji se u sledećem.

Ako je monohromatska slika predstavljena matricom $A_{m \times n}$ primena SVD transformacije na ovu matricu daje tri dekompozicione matrice $U_{m \times m}$, $D_{m \times n}$ i $V_{n \times n}$ tj:

$$SVD(A_{m \times n}) = [U_{m \times m} D_{m \times n} V_{n \times n}^T] \quad (1)$$

Matrica A se dobija množenjem U , D i V^T gde je V^T transponovana matrica od V tj:

$$A_{m \times n} = U_{m \times m} \cdot D_{m \times n} \cdot V_{n \times n}^T \quad (2)$$

Kolone matrice U nazivaju se levi singularni vektori, kolone matrice V nazivaju se desni singularni vektori, a matrica D je dijagonalna sa elementima koji se nazivaju singularne vrednosti, koje su poređane u opadajućem nizu. U i V su unitarne matrice, što znači da je $UU^T = I_{m \times m}$, $VV^T = I_{n \times n}$, gde je I jedinična matrica.

Iako matematička transformacija, gledano sa aspekta slike kao matrice, dijagonalna matrica D nosi karakteristike osvetljaja slike, dok U i V matrice sadrže informacije o horizontalnim i vertikalnim detaljima slike, respektivno [8].

Interesantna karakteristika SVD transformacije jeste stabilnost singularnih vrednosti u slučaju procesiranja slike i geometrijskih transformacija, kao što su rotacija, skaliranje i translacija. Zbog tih karakteristika ova transformacija se koristi za razvoj robusnih algoritama za utiskivanje vodenog žiga.

Algoritmi koji koriste SVD transformaciju za utiskivanje vodenog žiga mogu se podeliti u četiri grupe i to algoritme koji koriste:

- singularne vrednosti za utiskivanje žiga,
- singularne vektore,
- i singularne vrednosti i singularne vektore
- kombinuju SVD transformaciju sa drugim transformacijama tipa DCT, DFT, DWT i td.

III. PREDLOŽENI ALGORITAM VODENOG ŽIGA

Predloženi algoritam predstavlja varijantu utiskivanja žiga modifikacijom singularnih vrednosti. U dosadašnjim radovima [2]-[4], [9]-[11] predložene su različite varijante utiskivanja žiga modifikacijom singularnih vrednosti, ali po saznanjima autora ovakvo rešenje nije korišćeno.

Predloženi algoritam za utiskivanje i izdvajanje vodenog žiga zasniva se na podeli slike na nepreklapajuće blokove i utiskivanju jednog bita binarne slike u svaki blok. Veličina bloka je 8×8 piksela. Ako je slika A dimenzija $m \times m$, žig W mora da ima dimenzije $i \times i$ gde je $i \leq m/8$, (i je ceo broj) tj broj blokova mora da bude veći ili jednak dimenziji žiga. Algoritam se sastoji iz sledećih koraka:

Korak 1: Slika $A_{m \times m}$ deli se na nepreklapajuće blokove veličine 8×8 piksela $B_{i,j}$; $i=1,2,3,\dots,m/8$; $j=1,2,3,\dots,m/8$ (celobrojni deo $m/8$).

Korak 2: Primeni se SVD transformacija na svaki blok $B_{i,j}$:

$$SVD(B_{i,j}) = [U_{i,j} D_{i,j} V_{i,j}^T] \quad (3)$$

Korak 3: U dijagonalnoj matrici $D_{i,j}$ prvi član $\sigma(1,1)$ se koristi za utiskivanje jednog bita žiga na sledeći način:

$$\sigma_w(1,1) = \sigma(1,1) \cdot (1 + \alpha \cdot W(i,j)) \quad (4)$$

gde je α koeficijent utiskivanja žiga, a $W(i,j)$ jedan bit žiga

Korak 4: Blok $B_{i,j}^w$ u kome je utisnut jedan bit žiga dobija se množenjem matrica:

$$B_{i,j}^w = U_{i,j} \cdot D_{i,j}^w \cdot V_{i,j}^T \quad (4)$$

gde $D_{i,j}^w$ sadrži član $\sigma_w(1,1)$.

Korak 5: Slika sa žigom A^w dobija se ponovnim komponovanjem svih blokova $B_{i,j}^w$.

Algoritam za izdvajanje utisnutog žiga sastoji se iz sledećih koraka:

Korak 1: Slika sa žigom A^w se deli na nepreklapajuće blokove $B_{i,j}^w$.

Korak 2: Primeni se SVD transformacija na blokove $B_{i,j}^w$:

$$SVD(B_{i,j}^w) = [U_{i,j} D_{i,j}^w V_{i,j}^T] \quad (5)$$

Korak 3: Iz dijagonalne matrice $D_{i,j}^w$ izdvaja se član $\sigma_w(1,1)$.

Korak 4: Bit žiga izdvaja se iz $\sigma_w(1,1)$ prema formuli:

$$W(i,j) = (\sigma_w(1,1) / \sigma(1,1)) - 1 / \alpha \quad (6)$$

Korak 5: Izdvojeni žig se dobija komponovanjem svih izdvojenih bitova $W(i,j)$.

Ako su dimenzije žiga jednake broju blokova, onda se u svaki blok utiskuje jedan bit. Ako su dimenzije žiga manje onda se može izvršiti selekcija blokova u kojima će se utisnuti bit žiga. Kriterijum selekcije bi, u tom slučaju, bio broj nenultih elemenata dijagonalne matrice D .

IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Testiranje robusnosti predloženog algoritma obavljeno je korišćenjem slike Lena dimenzija 512×512 piksela (sl.1) i žiga W dimenzija 64×64 (sl.2).

Žig predstavlja binarnu sliku sa samo dve vrednosti piksela, 0 i 1. Faktor utiskivanja α je biran tako da uticaj žiga na sliku izražen preko PSNR-a bude 50dB i da vizuelno žig ne degradira sliku (sl.3). Za postavljene uslove dobijena je vrednost faktora utiskivanja $\alpha=0.015$ koja je korišćena nadalje.

Koeficijent korelacije originalnog i izdvojenog žiga izračunat je korišćenjem MATLAB funkcije **corr2**, a **PSNR** je računat prema formuli:

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (7)$$

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |W - W^*|^2 \quad (8)$$

U formuli (8) m i n predstavljaju dimenzije žiga ($m=n=64$), a W i W^* originalni i izdvojeni žig.

Robusnost predloženog algoritma testirana je u uslovima: JPEG kompresije 25%, rotacije originalne i slike sa žigom za 30 stepeni, odsecanja dela slike (crop), promena dimenzija ($512-444-512$), nisko frekventnog filtriranja i dodavanja šuma (Gausov i salt & pepper 10%).



Sl.1. Lena (512x512)



Sl.2. Žig W (64x64)



Sl.3. Lena sa žigom

Kao kriterijum za ocenu robusnosti korišćen je sledeći algoritam. Ako je: a) $r_{cor}=0-0.2$ robusnost je ekstremno loša i žig je nevidljiv; b) $r_{cor}=0.2-0.5$ robusnost je slaba i žig jedva vidljiv; c) $r_{cor}=0.5-1$ robusnost je dobra i žig je vidljiv.

Rezultati testiranja robusnosti na pobrojane atake dati su u Tabeli 1. Svrstavajući rezultate prema navedenom kriterijumu možemo zaključiti sledeće:

- a) robusnost je ekstremno loša i žig nevidljiv u slučaju Gausovog šuma ($r_{cor}=0.1469$).
- b) robusnost je slaba i žig jedva vidljiv u slučaju low pass filtera ($r_{cor}=0.3702$).
- c) robusnost je dobra i žig je vidljiv u slučaju: JPEG kompresije ($r_{cor}=0.9823$), rotacije ($r_{cor}=0.9692$), odsecanja dela slike ($r_{cor}=0.8588$), promena dimenzija ($r_{cor}=0.5936$), i salt & pepper ($r_{cor}=0.6699$).

Dobijeni rezultati pokazuju dobru robusnost predloženog algoritma za veći broj ataka, i samim tim njegovu primenljivost u zaštiti autorskih prava. Još bolji rezultati mogu se postići ako bi broj blokova slike bio veći od dimenzija žiga. Onda bi se utiskivanje vršilo u blokove koji sadrže više detalja, i to sa većim faktorom utiskivanja žiga. Takvi blokovi bi se birali na osnovu broja nenultih elemenata u dijagonalnoj matrici D posle SVD transformacije bloka. Postupak bi bio nešto složeniji jer bi se moralo voditi računa o tome u kojim je blokovima utisnut žig, ali bi se povećao stepen zaštite žiga.

TABELA 1: REZULTATI TESTIRANJA ROBUSNOSTI PREDLOŽENOG ALGORITMA NA POBROJANE ATAKE

ATAK	IZDVOJENI ŽIG	r_{cor}	PSNR [dB]
JPEG kompresija 25%		0.9823	71.876
Rotacija 30 stepeni		0.9692	69.736
Odsecanje dela slike (crop)		0.8588	63.250
Promena dimenzija 512-444-512		0.5936	57.036
Low pass filter [16 16] $\sigma=1$		0.3702	54.635
Salt & pepper 10% i median filter [3 3]		0.6699	58.838
Gausov šum $m=0$ $v=0.005$		0.1469	39.266

Na osnovu dosad izloženog mogu se istaći sledeće karakteristike predloženog algoritma:

- a) jednostavan postupak utiskivanja
- b) dobra robusnost
- c) neinvertibilnost
- d) mogućnost modifikacije u cilju povećanja robusnosti uz povećanje složenosti utiskivanja i izdvajanja.

Dobijeni rezultati preporučuju predloženi algoritam za primenu u zaštiti autorskih prava.

V.ZAKLJUČAK

U ovom radu predložen je algoritam za utiskivanje robusnog vodenog žiga u monohromatsku sliku, zasnovan na SVD transformaciji. Algoritam se odlikuje jednostavnim postupkom utiskivanja, mogućnošću modifikacije u cilju povećane zaštite, a rezultati testiranja pokazuju dobru robusnost na različite atake. Sve pobrojane karakteristike preporučuju ovaj algoritam za primenu u zaštiti autorskih prava.

LITERATURA

- [1] I.J. Cox, J. Kilian, F.T. Leighton, T. Shamoan, *Secure spread spectrum watermarking for multimedia*, IEEE Trans. Image Process. 6 (12) (1997) 1673–1687.
- [2] R. Liu, T. Tan, *A SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership*, IEEE Trans. Multimedia 4 (1) (March 2002) 121–128.
- [3] A. A. Mohammad, A. Alhaj, S. Shaltaf, *An improved SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership*, Signal Processing 88 (2008) 2158–2180.
- [4] C. Chang, P. Tsai, C. Lin, *SVD-based digital image watermarking scheme*, Pattern Recognition Lett. 26 (2005) 1577–1586.
- [5] Kutter M.; Hartung F. Introduction to watermarking techniques, in *Information Hiding Techniques for Steganography and Digital Watermarking*, Stefan Katzenbeisser, F.A.P. Petitcolas Eds.; Artech House: Nordwood, Massachusetts, USA, 2000; pp. 97–120.
- [6] Z. Stevanović, Z. Milivojević, *Otpornost digitalnog vodenog žiga u slici izloženoj dejstvu impulsnog šuma*, Etran 2009, EK2.5
- [7] A. Basso, F. Bergadano, D. Cavagnino, V. Pomponiu, A. Vernone, *A Novel Block-Based Watermarking Scheme Using the SVD Transform*, Algorithms 2009, 2, 46-75.
- [8] Gorodetski, V.I.; Popyack, L.J.; Samoilov, V. *SVD-Based Approach to Transparent Embedding Data into Digital Images*. Proceedings of International Workshop on Mathematical Methods, Models and Architectures for Computer Network Security (MMM- ACNS01), St. Petersburg, Russia, 2001; pp. 263–274
- [9] Ganic, E.; Zubair, N.; Eskicioglu, A. M. *An Optimal Watermarking Scheme Based on Singular Value Decomposition*. Proceedings of the IASTED International Conference on Communication, Network, and Information Security (CNIS 2003), Uniondale, New York, USA, December 10-12, 2003, pp. 85-90.
- [10] Chandra, D. *Digital image watermarking using singular value decomposition*. Proceedings of the IEEE 45th Midwest Symposium on Circuits and Systems, Oklahoma State University, USA, August 4-7, 2002; 3, pp. 264–267.
- [11] Shieh, J.-M.; Lou, D.-C.; Chang, M.-C. *A semi-blind digital watermarking scheme based on singular value decomposition*. Computer Standards & Interfaces, Elsevier, April 2006; 28, pp. 428–440
- [12] J. Hernandez, M. Amado, F. Perez-Gonzalez, *DCT-domain watermarking techniques for still images: detector performance analysis and a new structure*, IEEE Trans. Image Process. 9 (1) (January 2000) 55-67.
- [13] W. Chu, *DCT-based image watermarking using subsampling*, IEEE Trans. Multimedia 5 (1) (March 2003) 34–38.
- [14] A. Reddy, B. Chatterji, *A new wavelet based logo-watermarking scheme*, Pattern Recognition Lett. 26 (May 2005) 1019–1027.
- [15] P. Kumsawat, K. Attakitmongcol, A. Srikaew, *Multiwavelet-based image watermarking using genetic algorithm*, in: Proceedings of the IEEE TENCON Conference, November 2004, pp. 275–278.

ABSTRACT

In this paper SVD based robust watermarking algorithm for monochromatic picture is proposed. Algorithm split the original picture into non-overlapping blocks, then SVD was applied on each block. One bit of binary watermark is embedded in first element of diagonal matrix. The testing of robustness for different picture deformation was done. For evaluation of given results objective and subjective parameters are used. Objective parameters were PSNR (*peak signal-to-noise ratio*) and correlation coefficient r_{cor} , and subjective parameter was visibility of extracted watermark.

A SVD BASED BINARY WATERMARKING ALGORITHM

Zoran Stevanović, Zoran Milivojević, Vidosav Stojanović