

Poboljšanje performansi SVDU watermarking algoritma primenom MDB filtra

Bojan Prlinčević
Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija
Zvečan, Srbija
b.prlincevic@vts-zvecan.edu.rs

Zoran Milivojević
Visoka Tehnička Škola Strukovnih Studija
Niš, Srbija
zoran.milivojevic@vtsnis.edu.rs

Petar Spalević
Fakultet Tehničkih Nauka, Priština-Kos. Mitrovica
Kosovska Mitrovica, Srbija
petar.spalevic@pr.ac.rs

Darko Brodić
Tehnički Fakultet Bor
Bor, Srbija
d.brodic@tf.bor.ac.rs

Sažetak—U radu je izvršena analiza efikasnosti insertovanja vodenog žiga u sliku baziranog na primeni SVD dekompozicije i otpornost na prisustvo impulsnog šuma. U prvom delu rada opisana je SVD dekompozicija, SVDU algoritam za insertovanje vodenog žiga i MDB algoritam za detekciju i otklanjanje impulsnog šuma. U drugom delu rada izvršeno je testiranje efikasnosti SVDU algoritma za ekstrakciju vodenog žiga, u zavisnosti od koeficijenta insertovanja, na superponiranje impulsnog šuma i filtriranje MDB algoritmom. Rezultati testiranja prikazani su tabelarno i grafički.

Ključne reči—vodeni žig; SVD dekompozicija; koeficijent insertovanja; filtriranje

I. UVOD

U savremenim komunikacijama razmena informacija i multimedijalnih sadržaja je vrlo intenzivna. U takvom okruženju zaštita autorskih prava i dokaz o vlasništvu predstavljaju veliki problem, naročito kod distribucije digitalnih sadržaja (slika, video, zvuk...). U cilju rešavanja problema zaštite autorskih prava digitalnih slika iskorišćen je princip umetanja vidljivih ili nevidljivih informacija u sliku. Ubacivanje skrivenih informacija u digitalnu sliku sa ciljem dokazivanja prava vlasništva naziva se digitalnim vodenim žigom [1]. U procesu distribucije digitalnog sadržaja dolazi do degradacije samog sadržaja kao rezultat uticaja različitih smetnji. U cilju uspešne zaštite autorskih prava korišćenjem digitalnog vodenog žiga potrebno je da digitalni žig bude otporan na potencijalne smetnje. Digitalni vodeni žig može biti insertovan u drugu sliku korišćenjem više različitih tehnika koje u zavisnosti od domena mogu biti podeljene u dve kategorije: a) insertovanje žiga u frekventnom domenu i b) insertovanje žiga u prostornom domenu. Žig insertovan u frekventnom domenu je robusniji i otporniji na smetnje ali je insertovanje kompleksnije. Insertovanje žiga u prostornom domenu je manje složeno i jednostavnije za primenu. Za insertovanje digitalnog vodenog žiga predložene su mnoge metode, koje su zasnovane na DCT [2], [3] transformaciji (*engl. Discrete Cosinuse Transform*), DWT [4],

transformaciji, (*engl. Discrete Wavelet Transform*), SVD dekompoziciji [5]–[8], (*engl. Singular Value Decomposition*), Schur dekompoziciji (*engl. Schur Decomposition*, SD) [9], [10] i kombinacijama navedenih transformacija. Najzastupljeniji algoritmi za insertovanje digitalnog vodenog žiga baziraju se na primeni SVD dekompozicije. SVD dekompozicijom vrši dekompozicija matrice $A_{M \times N}$ na tri matrice $U_{M \times M}$, $D_{N \times N}$ i $V_{N \times N}$ matricu, pri čemu su U i V ortogonalne matrice a D je dijagonalna matrica.

U radu [5] prikazan je algoritam za insertovanje vodenog žiga, gde je žig insertovan u D matricu. Proces ekstrakcije žiga podrazumevao je, pored slike sa žigom, još i prisustvo originalnog žiga. Na taj način bilo je moguće izdvojiti i lažni žig zavisno od originalnog žiga. Veliki broj autora bavio se ovom problematikom tako da je razvijen veći broj algoritama baziran na SVD transformaciji sa idejom ekstrakcije žiga bez prisustva originalnog žiga [6], [7]. Radilo se sa malim blokovima gde je broj blokova bio jednak broju piksela žiga [8]. Insertovanje je podrazumevalo promenu vrednosti elemenata dijagonalne matrice D u zavisnosti od vrednosti piksela žiga (0, 1) i koeficijenta insertovanja. Po ugledu na algoritam za insertovanje žiga primenom Schur dekompozicije ($A = U \times D \times U'$ gde je U jedinična a D gornja trougaona matrica) gde su promene vršene nad pojedinim elementima matrice U za koje je statističkom analizom pokazano da se međusobno vrlo malo razlikuju [9]. U praktičnoj primeni predloženog algoritma pokazano je da faktor utiskivanja žiga treba da bude veliki da bi se žig mogao uspešno izdvojiti. Međutim povećanjem faktora insertovanja dovodi se do vidljive degradacije slike. Po ugledu na princip umetanja žiga primenom algoritama sa Schur dekompozicijom [10], u radu [11] prikazan je algoritam baziran na SVD transformaciji. Najčešće je u algoritmima, prilikom insertovanja digitalnog žiga, vršena intervencija na singularnim vrednostima dijagonalne matrice što je predstavljalo nedostatak jer je prilikom ekstrakcije digitalnog žiga podmetanjem drugih ortogonalnih matrica moglo doći do lažne pozitivne detekcije žiga. U radu [11] je predložen novi algoritam (SVDU) gde je primenjen dugačiji pristup za insertovanje digitalnog vodenog

žiga u sliku modifikacijom singularnih vrednosti elemenata U , ortogonalne matrice. U radu [11] izvršena je detaljna analiza algoritma kao i njegove robusnosti na neke karakteristične atake (superponirane impulsne i Gausove smetnje, madijan filtriranje, kropovanje, jpeg kompresija i dr...). Rezultati superponiranih impulsnih smetnji odnose se na procenat inficiranih piksela 2 – 10 % i na koeficijent insertovanja koji je fiksiran na $T=0.04$. U ovom radu izvršena je analiza insertovanja i ekstrakcije žiga u zavisnosti od koeficijenta insertovanja i dodavanja šuma slici sa žigom u opsegu $p = 2 – 50 %$ i primene MDB algoritma za filtriranje [12]. Kao mera kvaliteta izdvojenog žiga primenjen je Normalizovani Korelacioni NC (**engl. Normalized Corellation**) koeficijent i Srednja Kvadratna Greška MSE (**engl. Mean-Square Error**). Rezultati su prikazani tabelarno i grafički.

Rad je organizovan na sledeći način: U sekciji 2 opisana je SVD dekompozicija i SVDU algoritam za insertovanje žiga. U sekciji 3 dati su rezultati i analiza rezultata. Zaključak je dat u sekciji 4.

II. ALGORITMI

A. SVDU algoritam

SVD dekompozicija primenjena na sliku $A_{M \times N}$ kao rezultat daje tri matrice:

$$A_{M \times N} = U \times D \times V^T \quad (1)$$

gde je U leva ortogonalna, V desna ortogonalna, D dijagonalna matrica singularnih elemenata a M i N dimezije slike. U radu [2] insertovanje žiga $W_{N \times N}$ obavljalo se dodavanjem žiga D matrici $D' = D + \alpha \times W$, gde je α koeficijent insertovanja. U radu [11] predloženo je da se slika deli na blokove dimenzija $M_b \times N_b$, gde je $M_b = M / M_w$, i $N_b = N / N_w$ gde su M_w i N_w dimezije žiga.

SVD algoritmom se vrši insertovanje jednog bita žiga W_{ij} u blok U_{ij} . Zbog toga je algoritam nazvan SVDU. U analiziranom SVDU algoritmu za insertovanje digitalnog vodenog žiga dve značajne karakteristike jedinične matrice U koje se odnose na elemente prve kolone, su: a) svi elementi su istog znaka i b) njihove vrednosti se malo razlikuju [9]. Činjenica da se vrednosti elemenata $U_{2,1}$ i $U_{3,1}$ malo razlikuju iskorišćena je za insertovanje jednog bita vodenog žiga modifikacijom vrednosti ova dva elementa. Izbor dva elementa (za sliku Lena) čije će vrednosti biti modifikovane baziraju se na statističkim parametrima zavisnosti elemenata prve kolone U matrice prikazanim u tabeli I.

TABELA I. STATISTIČKI PARAMETRI MEĐUSOBNE ZAVISNOSTI ELEMENATA PRVE KOLONE U MATRICE

stat. podatak element mat	μ	σ^2	NC
$U_{1,2}$	-0.0016	0.0035	0.9931
$U_{1,3}$	-0.0020	0.008	0.9840
$U_{1,4}$	-8.878e-4	0.0129	0.9734
$U_{2,3}$	-3.384e-4	0.0030	0.9939
$U_{2,4}$	7.488e-4	0.0074	0.9851
$U_{3,4}$	0.0011	0.0031	0.9938

U tabeli I $U_{m,n}$ označava elemente prve kolone, m - tog i n - tog reda matrice U (npr. $U_{1,2}$ označava statističku korelisanost elemenata prve kolone prvog i drugog reda). Analizom je pokazano da je najjača korelisanost između elemenata $U_{2,1}$ i $U_{3,1}$ (NC = 0.9969, $\mu = -3.684 \text{ e } -4$, $\sigma^2 = 0.003$ tabela I). Kao primer vrednosti matrica u jed. 2, prikazan je originalni blok slike (A) i U matrice, SVD dekompozicije, gde se uočavaju nabrojane karakteristike:

$$A = \begin{bmatrix} 87 & 74 & 72 & 73 \\ 88 & 74 & 72 & 73 \\ 88 & 73 & 72 & 74 \\ 87 & 75 & 72 & 73 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$U = \begin{bmatrix} -0.4987 & 0.1709 & -0.2782 & -0.8029 \\ -0.5005 & -0.0618 & -0.8635 & -0.0015 \\ -0.5005 & -0.7473 & -0.3431 & 0.2707 \\ -0.5003 & 0.6392 & -0.2433 & 0.5310 \end{bmatrix}$$

SVDU algoritam za insertovanje vodenog žiga, predložen u radu [11] izvršava se u sledećim koracima:

Korak 1: Izvrši se deljenje slike na blokove $H_{ij} = M_b \times N_b = 4 \times 4$

Korak 2: Izvrši se SVD dekompozicija nad svakim blokom H_{ij} , kao u jed. 3., da bi se dobile jedinične matrice U_{ij} , svakog bloka:

$$H_{i,j} = U_{i,j} \times D_{i,j} \times V_{i,j}^T \quad (3)$$

Korak 3: Modifikuju se elementi $U_{2,1}$ i $U_{3,1}$ u matrici U_{ij} svakog bloka da bi se dobio modifikovani blok U'_{ij} u skladu sa informacijama o utisnutom binarnom vodenom žigu W_{ij} .

Binarni vodeni žig W_{ij} je insertovan modifikacijom izvršenom između drugog elementa ($U_{2,1}$) i trećeg elementa ($U_{3,1}$) u prvoj koloni nakon čega je dobijena modifikovna matrica U'_{ij} . Insertovanje žiga se vrši u skladu sa pravilom prikazanim u jed. 4. i jed. 5. :

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

$$\text{if } w_{i,j} = 0, \begin{cases} u'_{2,1} = \text{sign}(u_{2,1}) * (U_{\text{avg}} - T / 2) \\ u'_{3,1} = \text{sign}(u_{3,1}) * (U_{\text{avg}} + T / 2) \end{cases} \quad (5)$$

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

Korak 4: Dobijamo blokove sa utisnutim vodenim žigom na način prikaza u jed. 6.

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

Korak 5: Ponavljamo korake 2 - 4 dok se svi bitovi digitalnog vodenog žiga ne utisnu i dok ne dobijemo sliku sa žigom A_w .

Izdvajanje vodenog žiga vrši se na sledeći način:

Korak 1: Slika sa vodenim žigom A_w se deli na blokove dimenzija $H_{ij}' = 4 \times 4$,

Korak 2: Na blokove sa utisnutim vodenim žigom H_{ij}' primenjuje se SVD dekompozicija da bi se dobila jedinična matrica U_{ij}' ,

Korak 3: Korišćenjem relacije između drugog ($U_{2,1}$) i trećeg ($U_{3,1}$) elementa prve kolone matrice U_{ij}' , ekstrahuje se vodeni žig $W_e(i,j)$, na način kako je prikazano u jed. 7.:

$$W_e(i,j) = \begin{cases} 0, & \text{if } u'_{2,1} > u'_{3,1} \\ 1, & \text{if } u'_{2,1} \leq u'_{3,1} \end{cases} \quad (7),$$

Korak 4: Ponavljaju se koraci 2 - 3 dok se ne izvrše nad svim dobijenim blokovima,

Korak 5: Izvrši se rekonstrukcija finalnog ekstrahovanog digitalnog vodenog žiga W_e iz ekstrahovanih piksela.

B. MDB algoritam

Za dodavanje, pikovanje i eliminisanje smetnji slici sa insertovanim žigom korišćen je MDB algoritam prikazan u radu [12]. Slici sa insertovanim digitalnim vodenim žigom dodaju se impulsne smetnje sa procentom p kako bi se dobila slika sa impulsnim smetnjama A_{ws} . Nad slikom sa impulsnim smetnjama A_{ws} primenjuje se MDB algoritam za eliminaciju impulsnih smetnji kako bi se dobila filtrirana slika A_{wf} .

MDB algoritam za detekciju i eliminaciju impulsnog šuma realizuje se u sledećim koracima:

Korak 1: Formiranje blokova od slike A_{ws}

```
FOR i = 1 : M - Mp
  FOR j = 1 : N - Np
    FOR k = 1 : Mp
      FOR l = 1 : Np
        B(f, g) = Aws(i + k, j + l);
      END
    END
  END
END
```

Korak 2: Sortiranje elemenata

$[P_{\min}, P_{\text{med}}, P_{\max}] = \text{SORT}(B);$

Korak 3: računanje srednje vrednosti P_{sred}

$P_{\text{serd}} = \text{MEAN}(B)$

Korak 4: Detektovanje piksela sa impulsnim šumom

IF($P_{\min} < B(X,Y) \& P_{\min} < 0 \& P_{\max} < 255 \& \dots$
 $\dots B(X,Y) < P_{\max}$);
 /*piksel je bez šuma*/

ELSE

/*piksel je sa smetnjom*/

IF($P_{\min} == B(2,2) \& P_{\min} == 0 \mid B(2,2) == \dots$
 $\dots P_{\max} \& P_{\max} = 255$);
 $B(X,Y) = P_{\text{med}}$;

ELSE

$P_{\text{med}} = P_{\text{sred}};$

END

END

END

END.

Korak 5: Formiranje rekonstruisane slike sa žigom A_{wf} .

U koraku 2. funkcijom SORT vrši se sortiranje svih elemenata bloka u rastućem redosledu po vrstama i u rastućem redosledu po kolonama. Kao rezultat ovih aktivnosti elementi sporedne dijagonale sortirani su u rastućem redosledu ($P_{\min} = B_{3,3}$, $P_{\text{med}} = B_{2,2}$ i $P_{\max} = B_{1,1}$), gde P_{\min} predstavlja najmanju, P_{med} srednju a P_{\max} najveću vrednost elemenata prozora.

III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

A. Eksperiment

U cilju testiranja koeficijenta insertovanja žiga kod SVDU algoritma za insertovanje žiga izvršen je sledeći eksperiment:

Korak 1: Slika sa žigom A_w dobijena je tako što je u originalnu sliku A koja je podeljena na blokove $M_b \times N_b = 4 \times 4$, primenom SVD dekompozicije insertovan binarni vodeni žig W dimenzije $M_w \times N_w = 128 \times 128$ sa koeficijentom insertovanja T koji je variran u opsegu $T = \{0.0001, 0.0004, 0.0008, 0.001, 0.004, 0.008, 0.01, 0.04, 0.08, 0.1\}$, i to tako što je u svaki blok utisnut jedan bit žiga.

Korak 2: Iz slike A_w ekstrahovan je žig W_e .

Korak 3: Slici sa žigom A_w superponiraju se impulsne smetnje sa različitim procentom $p = \{2, 10, 30, 50\} \%$.

Korak 4: Iz slike sa, superponiranim impulsnim šumom, A_{ws} ekstrahovan je vodeni žig W_{es} .

Korak 5: Nad slikom A_{ws} primenjuje se MDB algoritam, dobijena je slika filtrirana slika A_{wf} .

Korak 6: Iz filtrirane slike A_{wf} izdvojen je vodeni žig W_{ef} .

Kao mera kaviteta filtrirane slike i izdvojenog vodenog žiga primenjuju se srednja kvadratna greška MSE i normalizovana korelacija NC:

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

$$NC = \frac{\sum_{ij} (x_{ij} y_{ij})}{\sqrt{\sum_{ij} (x_{ij})^2} \sqrt{\sum_{ij} (y_{ij})^2}} \quad i = 1 \dots M, \quad j = 1 \dots N \quad (9)$$

gde je: $x_{i,j}$ - i,j-ti piksel elementa originalne slike, $y_{i,j}$ - i,j-ti piksel elementa restaurirane slike, $M \times N$ - dimenzije slike.

U eksperimentu je korišćena slika Lena dimenzija (512×512) , slika 1-a, a kao žig korišćena je slika dimenzija (128×128) (slika 1-b). Vrednost faktora utiskivanja žiga varirana je u opsegu $T = \{0.0001, 0.0004, 0.0008, 0.001, 0.004, 0.008, 0.01, 0.04, 0.08, 0.1\}$. Korišćene su impulsne smetnje koje su varirane u opsegu $p = \{2, 10, 30, 50\} \%$.



a)



b)

Slika 1. Slike korišćene u radu: a) Lena, b) žig



a)



b)



c)



d)

Slika 3. Vizuelni prikaz izgleda ekstrakovanog žiga W_e iz slike Lena nakon primene SVDU algoritma sa različitim koeficijentom inserovanja T : a) 0.0001, b) 0.004, c) 0.03 i d) 0.1.

B. Rezultati

Rezultat primene SVDU algoritma za insertovanje digitalnog vodenog žiga i izgled slika sa koeficijentom insertovanja $T = \{0.0001, 0.004, 0.03, 0.1\}$ prikazani je na sl. 2.

Na sl. 3. prikazan je izgled ekstrakovanog vodenog žiga W_e iz slike Lena odmah nakon insertovanja sa koeficijentom insertovanja $T = \{0.0001, 0.004, 0.03, 0.1\}$.

Na sl. 4. prikazan je izgled ekstrakovanog žiga W_{ef} iz slike Lena nakon insertovanja sa koeficijentom insertovanja $T = \{0.0001, 0.004, 0.03, 0.1\}$, dodavanja impulsnog šuma od $p = 50\%$ i primene MDB algoritma za filtriranje.



a)



b)



c)



d)

Slika 2. Vizuelni prikaz izgleda slike Lena nakon primene SVDU algoritma sa različitim koeficijentom inserovanja T : a) 0.0001, b) 0.004, c) 0.03 i d) 0.1.



a)



b)



c)



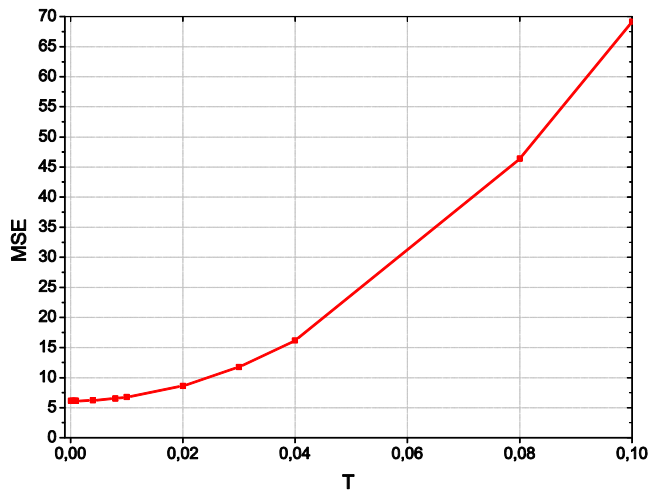
d)

Slika 4. Vizuelni prikaz izgleda ekstrakovanog žiga W_{ef} iz slike Lena nakon primene SVDU algoritma sa različitim koeficijentom inserovanja T , dodavanja šuma od $p = 50\%$ i filtriranja MDB algoritmom: a) 0.0001, b) 0.004, c) 0.03 i d) 0.1.

Na sl. 5. prikazan je dijagram mere kvaliteta MSE za sliku Lena nakon insertovanja žiga sa različitim koeficijentom

insertovanja žiga $T = \{0.0001, 0.0004, 0.0008, 0.001, 0.004, 0.008, 0.01, 0.04, 0.08, 0.1\}$.

U tabelama II i III prikazani su rezultati za MSE, a u tabelama IV i V rezultati za NC, za ekstrakovani žig za različite koeficijente insertovanja pri superponiranom šumu od $p = \{2, 10, 30, 50\}$ (W_{es}) i nakon primene MDB algoritma za filtriranje (W_{ef}).



Slika 5. Dijagram mere kvaliteta MSE slike Lena nakon insertovanja žiga SVDU algoritmom sa različitim koeficijentom insertovanja $T = \{0.0001, 0.0004, 0.0008, 0.001, 0.004, 0.008, 0.01, 0.04, 0.08, 0.1\}$.

TABELA II. MSE EKSTRAKOVANOG ŽIGA (W_{es} i W_{ef}) ZA RAZLIČITE KOEFICIJENTE INSERTOVANJA I DODATOG ŠUMA OD 2 I 10 %

Koef. Insert.	$p = 2\%$			$p = 10\%$	
	MSE w_c	MSE w_{es}	MSE w_{ef}	MSE w_{es}	MSE w_{ef}
0,0001	0,0892	0,2013	0,1695	0,4246	0,3533
0,0004	0,041	0,1552	0,1209	0,3973	0,3124
0,0008	0,0224	0,1321	0,0981	0,3762	0,2853
0,001	0,0169	0,1238	0,0906	0,3682	0,2752
0,004	0,0016	0,0942	0,0503	0,3235	0,1799
0,008	3,1e-4	0,087	0,0315	0,3073	0,1194
0,01	1,86e-4	0,0853	0,0266	0,3033	0,1009
0,02	1,24e-4	0,0806	0,0132	0,2913	0,0541
0,03	6,2e-5	0,078	0,0064	0,2837	0,0326
0,04	0	0,0756	0,0045	0,2763	0,0216
0,08	0	0,0673	0,0011	0,2472	0,0073
0,1	0	0,0614	7,44e-4	0,2258	0,0044

TABELA III. MSE EKSTRAKOVANOG ŽIGA (W_{es} i W_{ef}) ZA RAZLIČITE KOEFICIJENTE INSERTOVANJA I DODATOG ŠUMA OD 30 I 50 %

Koef. Insert.	$p = 30\%$			$p = 50\%$	
	MSE w_c	MSE w_{es}	MSE w_{ef}	MSE w_{es}	MSE w_{ef}
0,0001	0,0892	0,5131	0,4818	0,51	0,4989
0,0004	0,041	0,5084	0,4648	0,5089	0,4920
0,0008	0,0224	0,5036	0,4469	0,5080	0,4816
0,001	0,0169	0,5018	0,4387	0,5075	0,4760
0,004	0,0016	0,4874	0,3395	0,5041	0,4103
0,008	3,1e-4	0,4780	0,2593	0,4987	0,3393
0,01	1,86e-4	0,4747	0,2303	0,4970	0,3122
0,02	1,24e-4	0,4616	0,1433	0,4898	0,2241
0,03	6,2e-5	0,4527	0,1043	0,4840	0,1772
0,04	0	0,4427	0,0782	0,4791	0,1466
0,08	0	0,4059	0,0337	0,4557	0,0857
0,1	0	0,3860	0,0247	0,4446	0,0701

TABELA IV. NC EKSTRAKOVANOG ŽIGA (W_{es} i W_{ef}) ZA RAZLIČITE KOEFICIJENTE INSERTOVANJA I DODATOG ŠUMA OD 2 I 10 %

Koef. Insert.	$p = 2\%$			$p = 10\%$	
	NC w_c	NC w_{es}	NC w_{ef}	NC w_{es}	NC w_{ef}
0,0001	0,9429	0,8670	0,8895	0,6982	0,7553
0,0004	0,9741	0,8989	0,9222	0,7204	0,7865
0,0008	0,9859	0,9145	0,9373	0,7372	0,8067
0,001	0,9894	0,92	0,9422	0,7434	0,8140
0,004	0,999	0,9397	0,9682	0,7782	0,8820
0,008	0,9998	0,9444	0,9802	0,7904	0,9231
0,01	0,9999	0,9455	0,9833	0,7934	0,9353
0,02	0,9999	0,9486	0,9917	0,8024	0,9658
0,03	1,0	0,9501	0,996	0,8080	0,9795
0,04	1	0,9518	0,9972	0,8134	0,9864
0,08	1	0,9572	0,9993	0,8346	0,9954
0,1	1	0,961	0,9995	0,8499	0,9972

TABELA V. NC EKSTRAKOVANOG ŽIGA (W_{es} i W_{ef}) ZA RAZLIČITE KOEFICIJENTE INSERTOVANJA I DODATOG ŠUMA OD 30 I 50 %

Koef. Insert.	$p = 30\%$			$p = 50\%$	
	NC w_c	NC w_{es}	NC w_{ef}	NC w_{es}	NC w_{ef}
0,0001	0,9429	0,6231	0,6504	0,6258	0,6365
0,0004	0,9741	0,6271	0,6650	0,6267	0,6425
0,0008	0,9859	0,6314	0,6801	0,6274	0,6515
0,001	0,9894	0,6329	0,6868	0,6279	0,6563
0,004	0,999	0,6457	0,7660	0,6309	0,7110
0,008	0,9998	0,6539	0,8258	0,6356	0,7668
0,01	0,9999	0,6567	0,8467	0,6371	0,7874
0,02	0,9999	0,6679	0,9070	0,6434	0,8512
0,03	1,0	0,6753	0,9330	0,6484	0,8839
0,04	1	0,6836	0,9501	0,6527	0,9048
0,08	1	0,7138	0,9788	0,6725	0,9452
0,1	1	0,7295	0,9844	0,6819	0,9554

C. Analiza rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih na slikama 2, 3 i 4, dijagrama na slici 5. i tabela II, III, IV i V zaključuje se da:

a) Analizirani SVDU algoritam za insertovanje i ekstrakciju žiga pokazuje da se pri insertovanju žiga sa koeficijentom insertovanja $T = 0.0001$ bez prisustva smetnji može uspešno ekstrahovati žig zadovoljavajućeg kvaliteta ($NC = 0.9429$) i sa malim stepenom degradacije slike ($MSE = 6.127$), dok pri koeficijentu insertovanja $T = 0.03$ bez prisustva smetnji može se uspešno ekstrahovati žig sa merom kvaliteta $NC = 1$ (identičan originalnom žigu) i sa malim stepenom degradacije slike ($MSE = 11.077$).

b) Nakon dodavanja impulsnih smetnji od $p = 2\%$ iz slike se može ekstrahovati prepoznatljivi žig pri koeficijentu insertovanja $T = 0.0008$ ($NC = 0.9145$), nakon dodavanja impulsnih smetnji od $p = 10\%$ iz slike se može ekstrahovati teško prepoznatljivi žig i pri koeficijentu insertovanja $T = 0.1$ ($NC = 0.8499$), nakon dodavanja impulsnih smetnji od $p = 30\%$ i $p = 50\%$ iz slike se ne može ekstrahovati prepoznatljivi žig.

c) Nakon primene MDB algoritma za pikovanje i otklanjanje impulsnih smetnji nad slikom sa žigom kojoj je dodat impulsi šum od $p = 2\%$ iz slike se može ekstrahovati prepoznatljivi žig pri veoma niskom koeficijentu insertovanja $T = 0.0004$ ($NC = 0.9222$). Nakon primene MDB algoritma nad slikom kojoj je dodat šum od $p = 10\%$ iz slike se može ekstrahovati žig zadovoljavajućeg kvaliteta pri koeficijentu

insertovanja $T=0.008$ ($NC=0.9231$). Nakon primene MDB algoritma nad slikom kojoj je dodat šum od $p=30\%$ iz slike se može ekstrahovati žig zadovoljavajućeg kvaliteta pri koeficijentu insertovanja $T=0.02$ ($NC=0.9070$) i nakon primene MDB algoritma nad slikom kojoj je dodat impulsni šum od $p=50\%$ iz slike se može ekstrahovati žig zadovoljavajućeg kvaliteta pri koeficijentu insertovanja $T=0.04$ ($NC=0.9048$), pri čemu je stepen degradacije slike relativno nizak ($MSE=16.177$)

IV. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza SVDU algoritma za insertovanje žiga [11] metodom insertovanja žiga u matricu U . Analizirani algoritam je testiran na dodavanje impulsnih smetnji i filtriranje MDB algoritmom za detekciju i uklanjanje impulsnog šuma uz variranje koeficijenta insertovanja žiga u opsegu $T=\{0.0001, 0.0004, 0.0008, 0.001, 0.004, 0.008, 0.01, 0.04, 0.08, 0.1\}$. Analiza je urađena za variranje superponiranog impulsnog šuma $p=\{2, 10, 30, 50\}\%$. Mera uspešnosti algoritma prikazana je merom kvaliteta MSE i NC.

Detaljna analiza parametara za meru kvaliteta slike i ekstrahovanog žiga pokazuje veliku robusnost SVDU algoritma za insertovanje žiga. Iz slike, kojoj nisu superponirane smetnje, može se ekstrahovati žig zadovoljavajućeg kvaliteta i pri veoma niskom koeficijentu insertovanja žiga $T=0.0001$ pri čemu je stepen degradacije slike izuzetno mali ($MSE=6.127$), dok je pri koeficijentu insertovanja $T=0.03$ ekstrahovani žig identičan originalnom. Sa dodavanjem impulsnih smetnji za uspešnu ekstrakciju žiga potrebno je značajno povećati koeficijent insertovanja što dovodi do vidljive degradacije slike. Pri dodavanju impulsnog šuma od $p=30\%$ uopšte nije moguće ekstrahovati žig, bez filtriranja.

Nakon primene MDB algoritma za filtriranje prilikom insertovanja žiga sa znatnom manjim koeficijentom insertovanja moguće je ekstrahovati vodeni žig zadovoljavajućeg kvaliteta i pri veoma visokom procentu dodatog impulsnog šuma. Pri dodatom impulsnom šumu od $p=50\%$ pri koeficijentu insertovanja $T=0.04$, nakon primene MDB algoritma moguće je ekstrahovati žig zadovoljavajućeg kvaliteta ($NC=0.9048$), sa relativno malim stepenom degradacije slike ($MSE=16.177$). Na osnovu navedenih rezultata zaključuje se da je predloženi SVDU algoritam otporan na visok stepen superponiranih impulsnih smetnji i na filtriranje i kao takav pogodan za efikasnu primenu.

LITERATURA

- [1] I.J. Cox, M.L. Miller and J.A. Bloom, "Digital Watermarking", Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [2] J.Hernandez, M. Amado, F. Perez-Gonzalez, "DCT-domain watermarking techniques for still images: detector performance analysis and new structure", IEEE Trans. Image Process. 9 (January 2000) 55-67.
- [3] W.Chu, "DCT-based image watermarking using subsampling", IEEE Trans. Multimedia 5 (1) (March 2003) 34-38.
- [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] R. Liu, T.Tan, "A SVD based watermarking scheme for protecting rightful ownership", IEEE Trans. Multimedia 4 (1) (march 2002) 121-128.
- [6] K.-L. Chung, W.-N. Yang, Y.-H. Huang, S.-T. Wu, Y.-C. Hsu, "On SVD-based water-marking algorithm", Appl. Math. Comput. 188 (2007) 54-57.
- [7] M.-Q. Fan, H.-X. Wang, S.-K. Li, "Restudy on SVD-based watermarking scheme", Appl. Math. Comput. 203 (2008) 926-930.
- [8] C.-C. Chang, P. Tsai, C.-C. Lin, "SVD-based digital image watermarking scheme", Pattern Recogn. Lett. 26 (2005) 1577-1586.
- [9] 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.
- [10] B. Prilincevic, Z. Milivojevic, P. Spalevic, D. Brodic, "Performance of the SD Algorithm for inserting Watermark in Image Based on the Schur Decomposition" International Scientific Conference INFOTEH 2015, 18-20 March 2015, Jahorina, pp. 640-644.
- [11] Shao-li Jia, "A novel blind color images watermarking based on SVD", Optik-International Journal for Light nad Electron Optics, Vol. 125, No. 12, pp. 2868-2874, June 2014.
- [12] B.Prilincevic, Z.Milivojevic, D.Brodic "Efficiency of MDB Algorithm for filtering watermarked images" IT '14 Zabljak pp.244-247.

ABSTRACT

This paper conducts the analysis of the efficiency of image watermarking based on the application of SVD decomposition and resistance to the presence of impulse noise. The first part of the paper describes SVD decomposition, SVDU watermarking algorithm and MDB algorithm for detection and removal of impulse noise. The second part of the paper conducts the testing of the efficiency of the SVDU algorithm for watermark extraction, depending on the insertion coefficient on the superimposed impulse noise and MDB filtering algorithm. The test results are shown graphically and through tables.

The improvement of SVD watermarking algorithm performances by applying MDB filter

Bojan Prilincević, Zoran Milivojević, Petar Spalević, Darko Brodić