

Performanse SD algoritma za insertovanje vodenog žiga u slici baziranog na Šurovoj dekompoziciji

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

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

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

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

Sadržaj—U radu je izvršena analiza efikasnosti insertovanja vodenog žiga u slici baziranog na primeni Šurove dekompozicije i otpornost na prisustvo impulsnog šuma. U prvom delu rada opisana je Šurova dekompozicija kao i SD algoritam za insertovanje vodenog žiga i MDB algoritam za detekciju i otklanjanje impulsnog šuma. Izvršena je modifikacija SD algoritma u delu za ekstrakciju žiga. U drugom delu rada izvršeno je testiranje otpornosti SD algoritma na superponiranje impulsnog šuma i filtriranje MDB algoritmom. Rezultati testiranja prikazani su tabelarno i grafički.

Ključne riječi - Šurova dekompozicija; vodeni žig; impulsna smetnja; detekcija šuma;

I. UVOD

Masovna upotreba kompjuterskih mreža dovodi do intezivne razmene multimedijalnih podataka (slika, video, audio,...). Međutim, zaštita autorskih prava i dokaz o vlasništvu predstavljaju veliki problem kod distribucije digitalnih slika. U cilju rešavanja ovih problema iskorišćen je princip umetanja vidljivih ili nevidljivih informacija u sliku sa ciljem dokazivanja vlasništva autora, odnosno, distributera. Ubacivanje skrivene informacije u digitalnu sliku sa ciljem dokazivanja prava vlasništva naziva se digitalnim vodenim žigom [1], [2]. Osnovna svojstva digitalnog vodenog žiga su neosetljivost, robusnost, kapacitet, neinverzibilnost i sposobnost da obezbedi siguran dokaz o vlasništvu [3]. Vodeni žig može biti: a) vidljiv i b) nevidljiv. Nevidljivi vodeni žig je utisnut nevidljivo u drugu sliku tako da ne narušava vizualne karakteristike slike i može biti izdvojen kasnije u svrhu dokazivanja autorskih prava [1]. Za insertovanje vodenog žiga u sliku koriste se mnoge složene transformacije poput DCT [3], [4] (*engl. Discrete Cosinuse Transform*), DWT [5], [6] (*engl. Discrete Wavelet Transform*), SVD transformacija [2], [7], [8] (*engl. Singular Value Decomposition*) i Šurova dekompozicija (*engl. Schur Decomposition, SD*) [9], [10].

Zadovoljavajući kvalitet slike je izuzetno važan prilikom prepoznavanja finih detalja u slici. U procesu obrade digitalne slike i drugih multimedijalnih materijala neizbežno se superpo-

niraju smetnje i šumovi, koje mogu biti takvog intenziteta da dovode do stepena degradacije u tolikoj meri da slika bude praktično neupotrebljiva. Zadovoljavajući kvalitet slike je vrlo važan kod prepoznavanja sadržaja, objekata, likova i dr. Smanjenje impulsnih šumova je operacija za popravku kvaliteta koja se primenjuje kod algoritama za procesiranje slike. Šumovi mogu da budu opisani različitim modelima. Odlikuje ih vremenska, prostorna i amplitudna neizvesnost. Značajan oblik šumova su impulsne smetnje, koje su vremenski, odnosno, prostorno slučajno raspoređene, dok je amplituda maksimalna ili minimalna. Zbog toga se impulsne smetnje manifestuju u vidu belih i crnih tačaka [12], poznate kao so i biber (*engl. salt and pepper*). Za eliminaciju impulsnog šuma predloženi su mnogi algoritmi [13], [14]. Filteri dizajnirani za obradu slike treba da otklone impulsnii šum bez oštećenja ivica slike. Većina filtra funkcioniše tako što obrađuje celu sliku i na taj način modifikuje i piksele sa šumom i neoštećene piksele. Idealno bi bilo da primenjeni filter obrađuje samo piksele sa šumom.

U ovom radu biće analiziran (primenjen) metod za insertovanje vodenog žiga u sliku baziran na Šurovoj dekompoziciji (SD watermarking algoritam) koji je prikazan u radu [9], nad kojim je za eliminaciju impulsnih smetnji primenjen MDB (Modified Decision Based) algoritam [15]. Izvršeno je insertovanje vodenog žiga u sliku i slici superponiran impulsni šum. Zatim je nad slikom sa superponiranim impulsnim šumom i vodenim žigom primenjen MDB algoritam za eliminaciju impulsnog šuma. Mera efikasnosti MDB algoritma je determinisana pomoću MSE (*engl. Mean-Squar Error*) mera kvaliteta filtrirane slike i žiga. Algoritam je testiran i rezultati su upoređeni sa rezultatima dobijenim u radu [16].

Rad je organizovan na sledeći način: U sekciji 2 opisana je Šurova dekompozicija i algoritam za insertovanje žiga baziran na njoj kao i MDB algoritam za detekciju i eliminaciju impulsnog šuma. U sekciji 3 je opisan algoritam testiranja. U sekciji 4 su prezentovani dobijeni rezultati i izvršena je njihova analiza. Zaključak je dat u sekciji 5.

II. ALGORITMI

A. Šur dekompozicija

Šurova dekompozicija primenjena na matrici A kao rezultat daje dve matrice, matricu U i D :

$$A = U \times D \times U' \quad (1)$$

gde je U unitarna matrica, U' transponovana matrica, a D gornja trougaona matrica. Dve značajne karakteristike unitarne 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 prvoj koloni malo razlikuju iskorišćena je za insertovanje jednog bita vodenog žiga modifikacijom vrednosti dva elementa prve kolone. Izbor dva elementa čije će vrednosti biti modifikovane baziraju se na statističkoj zavisnosti koja je detaljno analizirana u radu [9]. Analizom većeg broja slika i njihovih Šurovih matrica kod transformacije blokova 4×4 pokazano je da je najjača korelisanost između elemenata $u_{2,1}$ i $u_{3,1}$ ($NC=0.9969$ za sliku Lena) [9]. Kao primer vrednosti matrica u (2) je prikazan originalni blok slike (A) i matrice Šurove dekompozicije (U i D), gde se uočavaju nabrojane karakteristike:

$$A = \begin{bmatrix} 134 & 130 & 138 & 139 \\ 134 & 131 & 138 & 140 \\ 135 & 131 & 138 & 139 \\ 134 & 132 & 138 & 138 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

$$U = \begin{bmatrix} 0.4988 & 0.5343 & -0.6813 & -0.0377 \\ 0.5007 & -0.5979 & -0.0678 & -0.6223 \\ 0.5007 & 0.4537 & 0.7268 & -0.1124 \\ 0.4998 & -0.3889 & 0.0181 & 0.7737 \end{bmatrix}$$

$$D = \begin{bmatrix} 542.248 & 3.931 & 5.412 & 10.896 \\ 0 & 0.877 & -0.246 & 0.402 \\ 0 & 0 & -0.552 & -0.542 \\ 0 & 0 & 0 & -1.573 \end{bmatrix}$$

B. SD algoritam

SD algoritam za insertovanje vodenog žiga, predložen u radu [9] izvršava se 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 A_w .

Korak 1: Vršiti se deljenje 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 :

$$H_{i,j} = U_{i,j} \times D_{i,j} \times U_{i,j}'^T, \quad (3)$$

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 elementi $u_{2,1}$ 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 vodenog žiga se vrši u skladu sa pravilom prikazanim u (4) i (5). Binarni vodeni žig W je utisnut modifikacijom izvršenom između drugog elementa ($u_{2,1}$) i trećeg elementa ($u_{3,1}$) u prvoj koloni:

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

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

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:

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

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

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: Vršiti 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' :

$$H'_{i,j} = U'_{i,j} \times D'_{i,j} \times (U'_{i,j})^T, \quad (7)$$

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' :

$$w'_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{if } u'_{2,1} > u'_{3,1} \\ 1, & \text{if } u'_{2,1} \leq u'_{3,1} \end{cases} \quad (8)$$

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

C. MDB algoritam za eliminaciju impulsnog šuma

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

Ulaz: slika sa žigom A_{ws} i impulsnim šumom, dimenzija prozora $M_p \times N_p$.

Izlaz: Rekonstruisana slika sa žigom A'_{ws} .

Korak 1: Formiranje blokova

FOR $i = 1 : M - M_p$

```

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

```

Korak 2: Sortiranje elemenata

```
[Pmin, Pmed, Pmax]=SORT(B);
```

Korak 3: računanje srednje vrednosti P_{sred}

```
Psred=MEAN(B)
```

Korak 4: Detektovanje piksela sa impulsnim šumom

```

IF(Pmin<B(X,Y) & Pmin<0 & Pmax<255 & ...
  ... B(X,Y)<Pmax);
  /*piksel je bez šuma*/

```

```
ELSE
```

```
/*piksel je sa smetnjom*/
```

```

IF(Pmin==B(2,2) & Pmin==0 | B(2,2)== ...
  ...Pmax & Pmax=255);
  B(X,Y)=Pmed;

```

```
ELSE
```

```
Pmed=Psred;
```

```
END
```

```
END
```

```
END
```

END.

Korak 4: Formiranje rekonstruisane slike sa žigom A'_{ws}.

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_{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 SD algoritma za utiskivanje vodenog 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×N_b=4×4, primenom Šurove dekompozicije insertovan binarni vodeni žig W dimenzije M_w×N_w=128×128 sa koeficijentom insertovanja T, i to tako što je u svaki blok utisnut jedan bit žiga

Korak 2: Slici sa utisnutim vodenim žigom A_w superponiraju se impulsne smetnje (so i biber) sa različitim procentom p.

Korak 3: Iz slike sa, superponiranim impulsnim šumom, A_{ws} ekstrahovan je vodeni žig W_e.

Korak 4: Nad slikom A_{ws} primenjuje se MDB algoritam za detekciju i eliminaciju impulsnih smetnji.

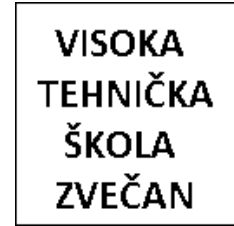
Korak 5: Iz filtrirane slike A_w* izdvojen je vodeni žig W_e'.

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

$$MSE = \frac{\sum_{ij} (x_{ij} - y_{ij})^2}{M \times N}, \quad (9)$$



a)



b)

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

gde je: x_{ij} -i,j-ti piksel elementa originalne slike, y_{ij} -i,j-ti piksel elementa restaurirane slike, M×N-veličina slike.

U eksperimentu je korišćena slika Lena dimenzija (512×512), slika 1-a, a kao žig korišćena je slika 1-b dimenzija (128×128). Vrednosti faktora utiskivanja žiga su T={0.001, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1}. Korišćene su impulsne smetnje koje su varirane p=10-70%.

Za potrebe eksperimenta SD algoritma je modifikovan u delu koji se odnosi na ekstrakciju žiga:

$$w'_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{if } |u'_{2,1}| < |u'_{3,1}| \\ 1, & \text{if } |u'_{2,1}| \geq |u'_{3,1}| \end{cases} \quad (10)$$

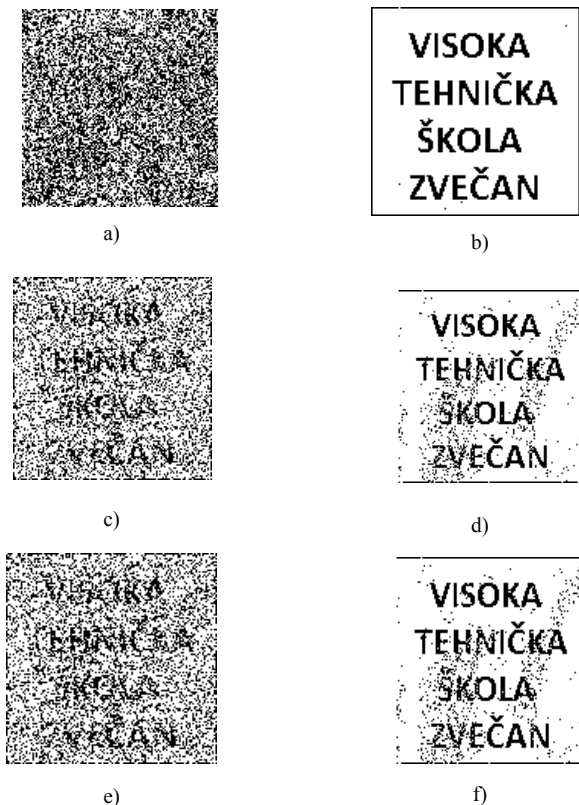
B. Rezultati

Izgled slika nakon primene SD watermarking algoritma pri faktoru utiskivanja T=0.025 i T=0.075 kao i izgled slika nakon dodavanja impulsnog šuma od p=10% i primene MDB algoritma za filtriranje prikazan je na slici 2.

Na slici 3. prikazan je izgled ekstrahovanog vodenog žiga nakon primene SD algoritma (sl.1.a), nakon primene modifikovanog SD algoritma (Sl.1.b), slike ekstrahovanog žiga nakon primene modifikovanog algoritma i dodavanja impulsnog šuma od p=10% i slike ekstrahovanog žiga nakon primene MDB algoritma za filtriranje.



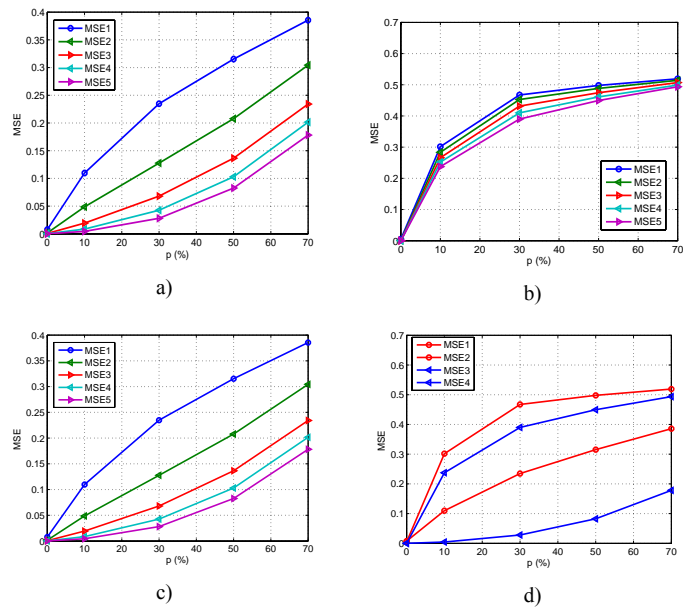
Slika 2. Slika Lena: a) sa utisnutim žigom ($T=0.025$), b) sa utisnutim žigom ($T=0.025$) i superponiranim impulsnim šumom $p=10\%$, c) nakon primene MDB algoritma na sliku sa utisnutim žigom $T=0.025$ i $p=10\%$, d) nakon primene MDB algoritma na sliku sa utisnutim žigom sa $T=0.075$ i superponiranim šumom $p=10\%$



Slika 3. Slike ekstrahovnog žiga: a) nakon utiskivanja ($T=0.025$), b) nakon utiskivanja modifikovanim algoritmom ($T=0.025$), c) nakon dodavanja impulsnog šuma ($p=10\%$ i $T=0.025$), d) nakon filtriranja

MDB algoritmom, e) nakon dodavanja impulsnog šuma ($p=10\%$ i $T=0.075$), f) nakon filtriranja MDB algoritmom

Na slici 4 prikazani su dijagrami MSE za sliku Lena nakon filtriranja, za ekstrahovani žig nakon superponiranja impulsnog šuma i nakon filtriranja MDB algoritmom.



Slika 4. Dijagram MSE: a) Slike Lena sa inetovanim vodenim žigom nakon filtriranja MDB algoritmom, b) ekstrahovnog vodenog žiga nakon superponiranja impulsnog šuma, c) ekstrahovnog vodenog žiga iz slike nakon filtriranja MDB algoritmom, d) ekstrahovnog vodenog žiga za $T=0.01$ i različito p , pre (MSE1) i nakon (MSE2) filtriranja MDB algoritmom i za $T=0.1$ i različito p , pre (MSE3) i nakon (MSE4) filtriranja MDB algoritmom.

U tabeli I prikazani su rezultati MSE za sliku Lena i za ekstrahovani žig, za različiti koeficijent utiskivanja žiga T i za različiti procenat superponiranog impulsnog šuma p .

TABELA I. SREDNJA KVADRATNA GRAŠKA MSE ZA SLIKU LENA ZA RAZLIČIT KOEFICIJENT UTISKIVANJA T I RAZLIČIT PROCENAT ŠUMA p

Koef. Utiskivanja (T)	Proc. Šuma (p)	MSE _x	MSE _{xr}	MSE _{ws} (10^{-3})	MSE _{wr} (10^{-3})
0.01	0	13.1	100.2	5	7.7
	10		104.8	300	110
	30		116.6	470	230
	50		137.1	500	320
	70		186.7	520	390
0.025	0	19.6	106.7	0.5	1.6
	10		110.6	280	50
	30		121.4	450	130
	50		140.8	490	210
	70		189.2	510	310
0.05	0	42.8	129.9	0.18	0.67
	10		131.9	270	20
	30		138.6	430	68
	50		154.1	470	130
	70		198.7	510	230
0.075	0	81.8	168.7	0.18	0.3
	10		167.5	250	8.6
	30		167.7	410	43

	50		176.7	460	100
	70		214.7	500	200
0.1	0	136.6	223.3	0.12	0.18
	10		217.8	240	4.5
	30		209.3	390	28
	50		209.1	450	80
	70		238.2	490	180

C. Analiza

Na osnovu rezultata prikazanih u na slikama 1-4 i u tabeli I zaključuje se da:

a) Primenjeni SD algoritam za ekstrakciju vodenog žiga modifikacijom u delu odlučivanja pokazuje izuzetne rezultate pri ekstrakciji žiga.

b) Primenjeni MDB algoritma za detekciju impulsnog šuma pokazuje visoku efikasnost u detekciji tačaka sa impulsnim šumom, detektovano je 100% inficiranih tačaka.

c) Sliku je moguće popraviti i pri veoma visokom procentu šuma $p=70\%$.

d) Iz slike je čak i pri $p=70\%$ superponiranog impulsnog šuma nakon primene MDB algoritma moguće ekstrahovati vidljivo prepoznatljiv žig, dok je pri $p=50\%$ superponiranog impulsnog šuma nakon primene MDB algoritma moguće ekstrahovati vidljivo kvalitetan vodeni žig.

IV. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena analiza SD watermarking algoritma za insertovanje vodenog žiga [9] i MDB algoritma za detekciju i uklanjanje impulsnog šuma. Analiza je urađena za koeficijent utiskivanja vodenog žiga $T=\{0.01, 0.025, 0.05, 0.075, 0.1\}$ i uz variranje superponiranog impulsnog šuma $p=10-70\%$. Mera uspešnosti algoritma prikazana je merom kvaliteta MSE.

Detaljna analiza parametara za meru kvaliteta slike i žiga pokazuje veliku efikasnost MDB algoritma u odnosu na PAV algoritam. Rekonstruisana slika je sa vrlo malim izobličenjima i pri procentu šuma od $p=70\%$ ($MSE=238.2$) pri koeficijentu utiskivanja $T=0.1$. Ekstrahovani žig je vidljiv pri visokom procentu šuma od čak $p=70\%$ ($MSE=180 \times 10^{-3}$) što nam govori da algoritam pokazuje veliku efikasnost u čuvanju finih detalja u slici.

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: detektor performance analysis and new structure", IEEE Trans. Image Process. 9 (January 2000) 55-67.

- [3] R. Liu, T.Tan, "A SVD based watermarking scheme for protecting rightful ownership", IEEE Trans. Multimedia 4 (1) (march 2002) 121-128.
- [4] 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.
- [5] S.Baba, L.Krikor, T.Arif, Z. Shaaban, "Watermarking of digital images in Frequency Domain", International Journal of Automation and Computing, May 2009.
- [6] W.Chu, "DCT-based image watermarking using subsampling", IEEE Trans. Multimedia 5 (1) (March 2003) 34-38.
- [7] A.Reddy, B.Chatterji, "A new wavelet based log-watermarking scheme", Pattern Recognition Lett. 26(may 2005) 1019-1027.
- [8] 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.
- [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] G.H. Golub, C.F. Van Loan, Matrix computations, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1989.
- [11] A. A. Mohamed, "A new digital image watermarking scheme based on Schur decomposition", Multimed tools appl (2012) 59: 851-883.
- [12] R.H.Chan, C-W.Ho and M. Nikolova, "Salt and pepper noise removal by median type noise detectors and detail preserving regularization", IEEE Trans. Image Process, vol.14, no.10, pp. 1479-1485, oct 2005.
- [13] Dung Dang and Wembin Luo, "Impulse noise removal utilising second-order difference analysis", Signal Processing 87 (2007) 2017-2025.
- [14] Shi-Qiang Yuan and Yong-Hong Tan, "Impulsive noise removal by a global-local noise detector and adaptive median filter", Signal Processing 86 (2006) 2023-2028.
- [15] B.Prlincevic, Z.Milivojevic, D.Brodic "Efficiency of MDB Algorithm for filtering watermarked images" IT '14 Zabljak pp.244-247.
- [16] Naif Alailan, Mohamed Kamel, Ed Jernigal, "Detail Preservig impulsive noise removal", Signal Processing: Image comunication 19 (2004) 993-1003.

ABSTRACT

In this paper is performed analysis of efficiency of inserting watermark in the image based on the application of Schur decomposition and its resistance to the presence of impulsive noise. The first part of the paper describes the Schur decomposition and the SD algorithm for inserting a watermark and MDB algorithm for detection and removal of impulse noise. SD algorithm is modified in the part for extracting the watermark. In second part of this paper is tested resistance of SD algorithm for superimposing impulse noise and filtering with MDB algorithm. The test results are presented in the tables and graphics.

PERFORMANCE OF THE SD ALGORITHM FOR INSERTING WATERMARK IN IMAGE BASED ON THE SCHUR DECOMPOSITION

Bojan Prlinčević, Zoran Milivojević, Petar Spalević, Darko Brodić