

Robusnost vodenog žiga audio signala na Wah filtriranje

Bojan Prlinčević

katedra za informacione i komunikacione tehnologije
Akademija kosovsko metohijska
Leposavić, Srbija
bojan.prlincevic@akademijakm.edu.rs

Zoran Milivojević

katedra za informacione i komunikacione tehnologije
Akademija tehničko vaspitačkih studija
Niš, Srbija
zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs

Sažetak—U ovom radu izvršena je analiza robusnosti SVD algoritma za insertovanje vodenog žiga u audio signal, na Wah efekat. U prvom delu rada opisan je SVD algoritam za insertovanje i ekstrakciju vodenog žiga u audio signal. U drugom delu rada prikazan je eksperiment u okviru koga je vršeno testiranje robusnosti SVD algoritma u odnosu na uticaj Wah filtriranje. Dobijeni rezultati su analizirani primenom objektivnih (MSE, PSNR i NC) i subjektivnih (vizuelni kvalitet) mera kvaliteta sadržaja.

Ključne riječi—audio signal; watermark; SVD Algoritam; wah filtriranje;

I. UVOD

Zaštita autorskih prava kod muzičkih signala ostvaruje se insertovanjem digitalnih vodenih žigova [1]. Aktuelno je sada da se kao zaštita u audio signal ubacuje slika kao digitalni vodeni žig. Insertovanje vodenog žiga treba da bude takvo da insertovani žig ne dovodi do degradacije audio signala. Razvijen je veći broj algoritama za insertovanje i ekstrakciju digitalnog vodenog žiga u audio signal [2]-[8]. Algoritam prikazan u radovima [2] i [9] kao vodeni žig u audio signal insertuje sliku. Slika dimenzija $M \times N$, se primenom SVD transformacije insertuje u audio signal. U cilju insertovanja audio watermarka, potrebno je da se sekvenca (engl. frame) audio signala dužine $M \cdot N$ transformiše u dvodimenzionalnu matricu dimenzija $M \times N$. Nakon insertovanja žiga dvodimenzionalna matrica se ponovo transformiše u jednodimenzionalni niz, odnosno u audio signal sa vodenim žigom.

Naknadnim procesiranjem (NF filtriranje, VF filtriranje, filter propusnik, miksovanje sa drugim signalima, itd....) watermarking zaštićenog audio sadržaja dolazi, pored ostalog do degradacije audio signala što dovodi do degradacije žiga. U radu [9] analizirana je robusnost digitalnog vodenog žiga na procesiranje kao posledica uticaja vibrata. Promenu udaljenosti između slušaoca izvora i zvuka kod slušalaca se opaža kao promena visine zvuka. Ova pojava je poznata kao doplerov efekat. Promena udaljenosti dovodi do promene kašnjenja signala. Ovaj efekat se modelira digitalnim filtrima. Vibrato efekat nastaje kada se kašnjenje periodično menja.

U ovom radu analizirana je otpornost vodenog žiga na procesiranje audio signala (filtriranje) vremenski promenljivim filtrom propusnikom opsega-Wah filter. Kreiran

je digitalni wah filter sa vremenski promenljivom centralnom frekvencijom propusnog opsega f_c . Frekvencija f_c se menja u opsegu $f_{min} - f_{max}$ sa periodom, vremenom promene t . Digitalni wah filter formiran je miksovanjem originalnog i signala nakon filtriranja originalnog signala, sa faktorom mešanja mix .

U prvom delu rada je opisan algoritam insertovanja vodenog žiga. U drugom delu rada je prikazan eksperiment koji je realizovan sa ciljem ispitivanja robusnosti audio watermarkinga na wah filtriranje. Analiza je sprovedena u pravcu sagledavanja dejstva faktora insertovanja žiga α i mix -faktora mešanja wah filtra. Analiza je sprovedena nad muzičkim signalima koji su dobijeni reprodukcijom tonova na Stainway B koncertnom klaviru. Rezultati su prikazani tabelarno i grafički. Analizom rezultata određena je robusnost audio digitalnog vodenog žiga komparacijom originalnog i ekstrahovanog žiga iz signala nad kojim je primenjen Wah filter. Analiza se radi upoređivanjem mera sličnosti (MSE, PSNR i NC) i vizuelnom ocenom kvaliteta ekstrahovanog žiga.

Realizovan je eksperiment u kome je primenom SVD algoritma za insertovanje i ekstrakciju vodenog žiga [2] insertovan žig sa koeficijentom insertovanja koji je variran u opsegu $\alpha = \{0.02:0.01:0.1\}$. Wah efekat je dobijen tako što je promenljiva mix kojom je definisan uticaj Wah efekta varirana u opsegu $mix = \{0:0.2:1\}$.

Rad je organizovan na sledeći način: Sekcija 2 opisuje SVD algoritam za insertovanje i ekstrakciju digitalnog vodenog žiga. U sekciji 3 je opisan eksperiment i prikazani su rezultati. Sekcija 4 je zaključak.

II. ALGORITMI

A. Algoritam za insertovanje žiga u audio signal

Za insertovanje i ekstrakciju digitalnog vodenog žiga, u audio signal, korišćen je algoritam baziran na SVD dekompoziciji. Algoritam za insertovanje žiga u audio signal se izvršava u sledećim koracima:

Ulaz: x -audio signal, W -vodeni žig, α -koeficijent insertovanja žiga.

Izlaz: x_w -audio signal sa insertovanim digitalnim vodenim žigom.

Korak 1: Transformacija audio signala, x , u dvodimenzionalnu (2D) matricu A .

Korak 2: Primena SVD dekompozicije na matricu A :

$$A = U \times S \times V^T. \quad (1)$$

Korak 3: Insertovanje digitalnog žiga u matricu S :

$$D = S + \alpha \times W. \quad (2)$$

Korak 4: Primena SVD dekompozicije na matricu D :

$$D = U_W \times S_W \times V_W^T. \quad (3)$$

Korak 5: Audio signal sa insetovanim vodenim žigom dobijen je korišćenjem matrice S_W :

$$A_W = U \times S_W \times V^T. \quad (4)$$

Korak 6: Matrica A_W transformisana je u jednodimenzionalni audio signal, x_w .

B. Algoritam za ekstrakciju žiga iz audio signala

Algoritam za ekstrakciju žiga iz audio signala se izvršava u sledećim koracima:

Ulaz: x_w -audio signal sa insertovanim digitalnim vodenim žigom, α -koeficijent insertovanja žiga, U_W i V_W -ortogonalne matrice.

Izlaz: W_e -ekstrakovan digitalni vodeni žig.

Korak 1: Transformacija audio signala, x_w , u dvodimenzionalnu matricu A_W^* .

Korak 2: Primena SVD dekompozicije na matricu A_W^* :

$$A_W^* = U^* \times S_W^* \times V^{*T}. \quad (5)$$

Korak 3: Matrica koja sadrži žig dobijena je primenom jednačine:

$$D^* = U_W \times S_W^* \times V_W^T \quad (6)$$

Korak 4: Izdvojeni digitalni vodeni žig dobijen je primenom jednačine:

$$W_e = (D^* - S) / \alpha. \quad (7)$$

C. Wah-wah filtriranje

U cilju testiranja robusnosti digitalnog vodenog žiga na procesiranje filtriranjem, korišćen je vremenski promenljivi filter propusnik opsega-Wah filter. Digitalni wah filter je sa vremenski promenljivom centralnom frekvencijom propusnog opsega f_c , vremenom promene periode t i sa *mix*-faktorom mešanja originalnog i signala nakon filtriranja.

III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

A. Eksperiment

U cilju testiranja robusnosti digitalnog vodenog žiga na procesiranje filtriranje korišćen je vremenski promenljiv filter propusnik opsega-Wah filter.

Za potrebe testiranja uticaja Wah filtra na ekstrakciju digitalnog vodenog žiga izvršen je sledeći eksperiment:

Korak 1: Korišćenjem algoritma za insertovanje vodenog žiga, (sekcija 2) dobijen je audio watermarked signal x_w .

Korak 2: Primenjen je algoritam za simulaciju Wah efekta na audio signal sa insertovanim vodenim žigom x_w , sa frekvencijom f_c , dobijen je signal x_{wm} .

Korak 3: Iz signala nad kojim je primnjen Wah filter x_{wm} , ekstrakovan je digitalni vodeni žig.

Korak 4: Izvršena je komparativna analiza ekstrakovanog digitalnog vodenog žiga W_{em} sa originalnim žigom W primenom objektivnih i subjektivnih mera kvaliteta.

Za objektivnu ocenu kvaliteta primenjena je srednja kvadratna greška:

$$MSE = \frac{1}{M_W * N_W} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W(i, j) - W_e(i, j))^2, \quad (8)$$

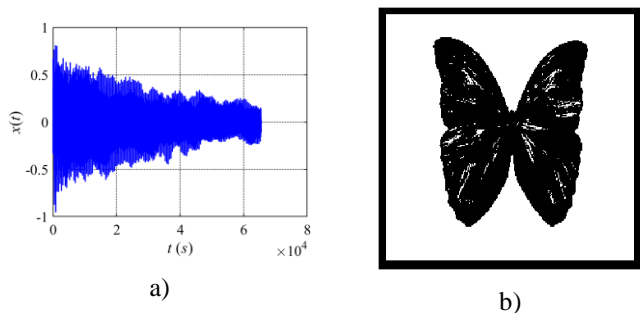
vršni odnos signal šum:

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

i normalizovani korelacioni koeficijent:

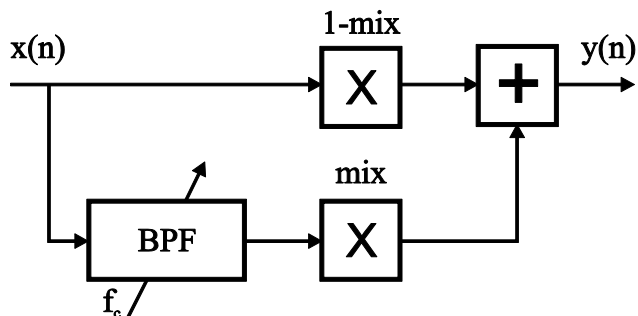
$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W(i, j) \cdot W_e(i, j))}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (W(i, j))^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^N (W_e(i, j))^2}}, \quad (10)$$

U eksperimentu je korišćen audio signal G2 (Slika 1.a), G3, G4, G5 i G6 snimljeni na Stainway B koncertnom klaviru. Snimanje audio signala je obavljeno sa frekvencijom smplovanja $f_s = 44.1$ kHz, 16 bita po semplu i u formi wav fajla arhivirano na hard disku. Kao digitalni vodeni žig korišćena je slika Leptir, dimenzija 256×256 (Slika 1.b).



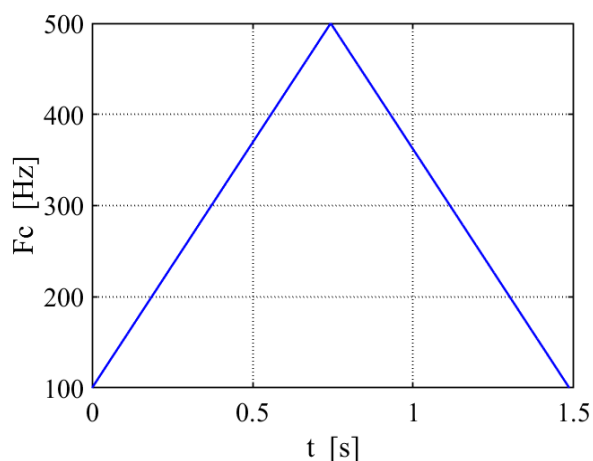
Slika 1. a) Vremenski oblik Test signala (Ton G1, $f_0 = 48.99$ Hz), i b) vodeni žig, slika Leptir

Blok šema Wah filtra prikazana je na slici 2.

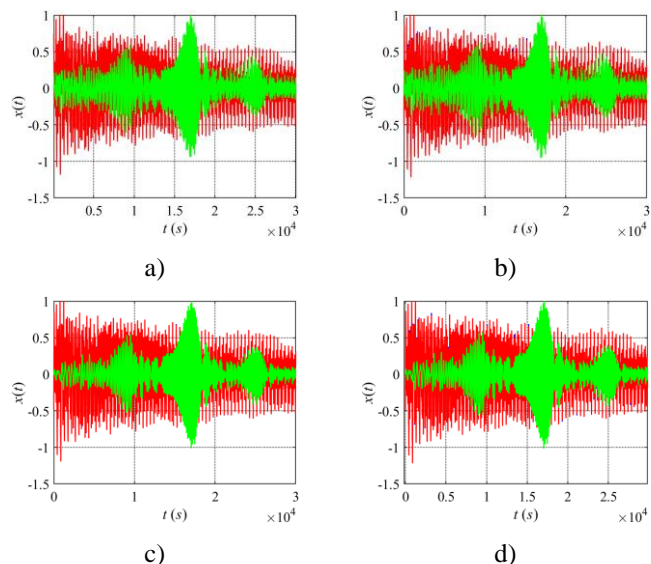


Slika 2. Blok šema vremenski promenljivog BPF filtra (Wah).

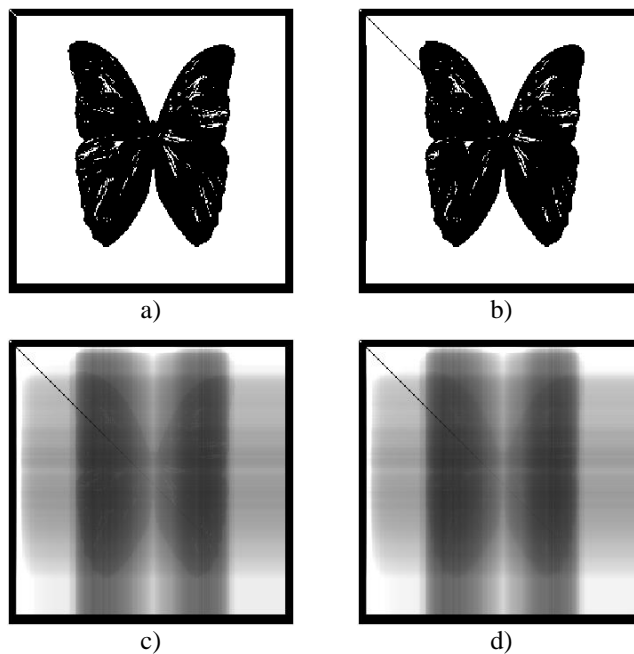
Uticaj Wah filtra je simuliran sa vremenski promenljivom centralnom frekvencijom propusnog opsega f_c , koja je varirana u opsegu od $f_{min} = 100$ Hz do $f_{max} = 500$ Hz, sa periodom promene $t = 1$ s (sl. 3). Wah efekat je dobijen miksovanjem originalnog i signala nakon filtriranja BPF filtrom, sa faktorom mešanja koji je variran $mix = \{0:0.2:1\}$. Kada je $mix=0$ nema filtriranja na izlazu imamo samo originalni nefiltrirani signal, a kada je $mix=1$ onda na izlazu imamo samo BPF filtrirani signal. Koeffcijent insertovanja žiga α je variran u opsegu $\alpha = \{0.02:0.01:0.1\}$.



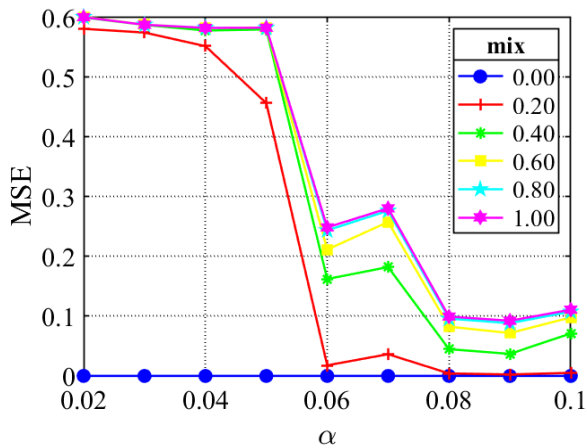
Slika 3. Zakon promene centralne frekvencije f_c Wah filtra.



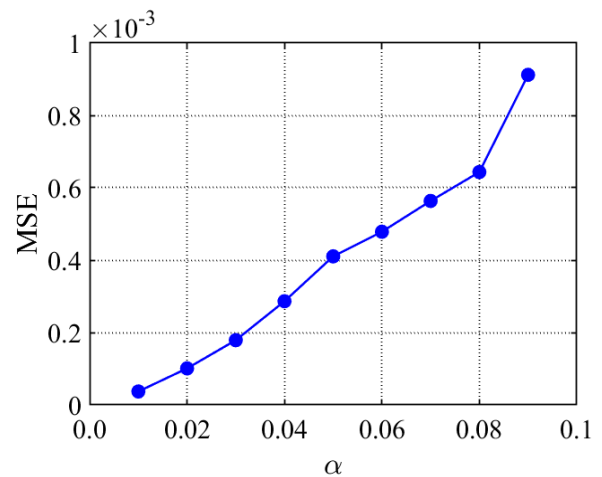
Slika 4. Prikaz uticaja Wah filtra na audio signal za insertovanim žigom: a) $mix=0.2$ i $\alpha=0.02$, b) $mix=0.2$ i $\alpha=0.08$, c) $mix=0.8$ i $\alpha=0.04$, d) $mix=0.8$ i $\alpha=0.08$



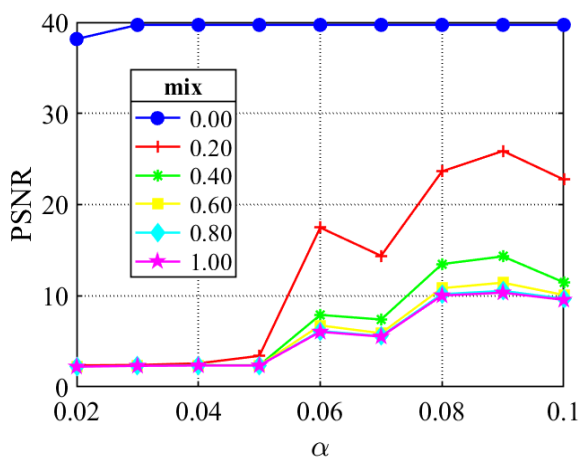
Slika 5. Prikaz izgleda ekstrahovanog žiga iz audio signala nakon primene Wah filtra: a) $mix=0.2$ i $\alpha=0.02$, b) $mix=0.2$ i $\alpha=0.08$, c) $mix=0.8$ i $\alpha=0.04$, d) $mix=0.8$ i $\alpha=0.08$.



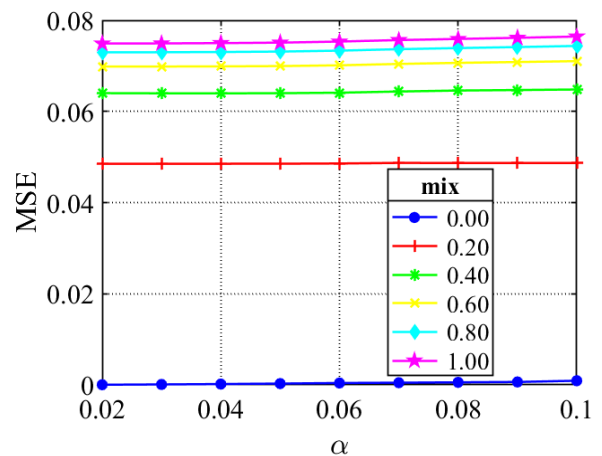
Slika 6. MSE ekstrakovanog digitalnog vpednog žiga za različite faktore mešanja filtriranog i ofiriginalnog signala mix, i koeficijente insertovanja α .



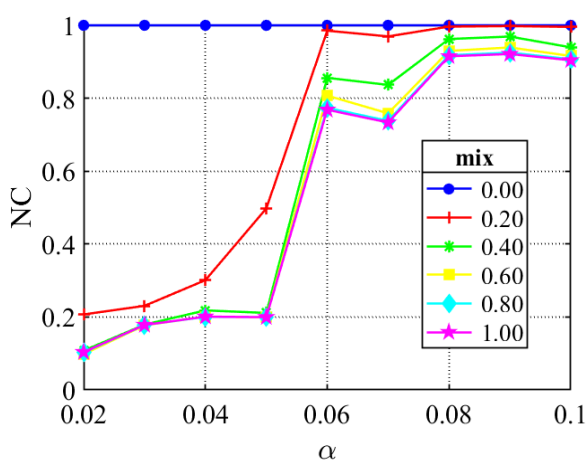
Slika 9. MSE audio signala u zavisnosti od koeficijenta insertovanja žiga α .



Slika 7. PSNR ekstrakovanog digitalnog vodenog žiga za različite faktore mešanja filtriranog i ofiriginalnog signala mix, i koeficijente insertovanja α .



Slika 10. MSE audio signala u zavisnosti od od koeficijenta insertovanja žiga α i faktora mešanja originalnog i filtriranog signala sa koeficijentom miksovanja mix.



Slika 8. NC ekstrakovanog digitalnog vodenog žiga za različite faktore mešanja filtriranog i ofiriginalnog signala mix, i koeficijente insertovanja α .

B. Analiza rezultata

Subjektivnom komparativnom analizom vizuelnog kvaliteta ekstrakovanih žigova prikazanih na slici 5. može se zaključiti da primena Wah efekta na watermarked audio signal (generisan na klaviru) dovodi do značajnih vidljivih degradacija žiga u zavisnosti od faktora mešanja originalnog signala i signala filtriranog BPF filtrom. Što je faktor mešanja mix veći (veći je udeo BPF filtriranja) to je kvalitet ekstrakovanog žiga slabiji. Sa porastom koeficijenta insertovanja žiga α kvalitet ekstrakovanog žiga se popravlja, međutim uticaj BPF filtriranja se ne može znatno korigovati povećanjem koeficijenta insertovanja žiga α .

Objektivna analiza sprovedena je na osnovu rezultata (MSE) prikazanih na slici 6. na osnovu koje se može zaključiti da sa povećanjem faktora mešanja signala greška postaje veća, dok uticaj koeficijenta insertovanja žiga α počinje da ima pozitivan efekat na smanjenje MSE greške ekstrakovanog žiga nakon vrednosti $\alpha > 0.6$. Na osnovu rezultata prikazanih na slici 7. (PSNR) takođe se može zaključiti da faktor mešanja signala znatno utiče na kvalitet ekstrakovanog žiga.

Koeficijent insertovanja α nakon vrednosti $\alpha > 0.6$ daje pozitivne efekte na kvalitet ekstrakovanog žiga. Na osnovu rezultata prikazanih na slici 8. (NC) zaključuje se da faktor mešanja signala intenzivno utiče na kvalitet ekstrakovanog žiga, ekstrakovani žig je sličan tek pri faktoru insertovanja žiga $\alpha > 0.6$.

Na osnovu dijagrama prikazanog na slici 9 može se zaključiti da sa porastom koeficijenta insertovanja žiga MSE audio signala raste. Na osnovu dijagrama na slici 10. može se zaključiti da MSE watermarked audio signala raste sa porastom faktora mešanja originalnog i BPF filtriranog signala. U ovom slučaju uticaj faktora insertovanja žiga α nema veliki značaj.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je robusnost SVD algoritma za insertovanje digitalnog vodenog žiga u audio signal u odnosu na primenu Wah filtra. Insertovanje žiga vršeno je sa koeficijentom insertovanja $\alpha = \{0.02:0.01:0.1\}$. Wah filter je simuliran sa vremenski promenljivom centralnom frekvencijom propusnog opsega f_c , koja je varirana u opsegu od $f_{min} = 100$ Hz do $f_{max} = 500$ Hz, sa periodom, vremenom promene $t = 1$ s. Wah efekat dobijen je miksovanjem originalnog i BPF filtriranog signala sa faktorom mešanja signala $mix = \{0:0.2:1\}$. Nakon detaljne objektivne (MSE, PSNR i NC) i subjektivne (vizuelnog kvaliteta) analize kvaliteta ekstrakovanog vodenog žiga, utvrđeno da je kvalitet ekstrakovanog žiga zavisi od faktora mešanja originalnog i filtriranog signala, kao i od koeficijenta insertovanja žiga α . Sa porastom udela filtriranog signala $mix \rightarrow 1$, kvalitet ekstrakovanog žiga opada. Sa porastom faktora insertovanja žiga popravljaju se i kvalitet ekstrakovanog žiga, žig je vizuelno prepoznatljiv kada je koeficijent insertovanja žiga $\alpha > 0.06$.

LITERATURA

- [1] W. Al-Nuaimy, M. El-Bendary A.M. et al. "An SVD audio watermarking approach using chaotic encrypted images", Digital Signal Processing No 21, p.p 76-779, 2011.
- [2] S. Xiang, J. Huang, "Histogram-based audio watermarking against time-scale modification and cropping attacks", IEEE Trans. Multimedia No. 9, p.p 1357-1372, 2007.
- [3] Z. Liu, A. Inoue, "Audio watermarking techniques using sinusoidal patterns based on pseudorandom sequences", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. No. 13 p.p 801-812, 2003.

- [4] A. N. Lemma, J. Aprea, W. Oomen, L.V. De Kerkhof, "A temporal domain audio watermarking technique", IEEE Trans. Signal Process. No. 51, p.p 1088-1097, 2003.
- [5] W. Li, X. Xue, P. Lu, "Localized audio watermarking technique robust against time-scale modification", IEEE Trans. Multimedia No. 8, p.p 60-69, 2006.
- [6] S. Erköçük, S. Krishnan, M.Z. Glu, "A robust audio watermark representation based on linear chirps", IEEE Trans. Multimedia No. 8, p.p 925-936, 2006.
- [7] K. Brandenburg, G. Stoll, "The ISO/MPEG Audio Codec: A generic Standard for coding of High Quality Digital Audio", 92nd AES-convention, preprint 3336, Viena 1992.
- [8] B. Prlinčević, Z. Milivojević, "Robusnost SVD audio vodenog žiga na MP3 kompresiju", ICT Pulse, INFOFEST PULSE, str. 191 - 198, Budva, Crna Gora 2019.
- [9] B. Prlinčević, Z. Milivojević, "Analiza uticaja vibrata na kvalitet ekstrakovanog vodenog žiga", 6 međunarodna konferencija Upravljanje znanjem i informatika, pp.141-146, Kopaonik 13-14 Januar 2020 ISBN 978-86-6211-123-4.
- [10] B. Balazs, S. Laszlo, "Generation of longitudinal vibrations in piano strings: From physics to sound syn-thesis. Journal Acoustical Society of America", Vol. 117, No. 4., p.p 2268-2278, 2005.
- [11] Z. Milivojević, D. Balanesković, Z. Veličković, D. Brodić, "Primena računara za ocenjivanje kvaliteta vibrata". ICT Pulse, INFOFEST PULSE, str. 146-153, Budva, Crna Gora, 2017.
- [12] Z. Milivojević, D. Balanesković, "Algoritam za objektivnu analizu parametra vibrata", Informacione tehnologije, Infoteh, Jahorina, 2012.
- [13] X. Arrobarren, J. Rodet, and A. Carlosena, "On the Measurement of the Instantaneous Frequency and Amplitude of Partial in Vocal Vibrato", IEEE Transaction on Audio, Speech, and Language Processing Vol. 14, No. 4. p.p 1413-1421, 2006.

ABSTRACT

In this paper, the robustness analysis of the SVD algorithm for inserting a watermark into an audio signal, on the Wah effect, is performed. The first part of the paper describes the SVD algorithm for inserting and extracting the watermark into the audio signal. The second part of the paper presents an experiment in which the robustness of the SVD algorithm was tested in relation to the influence of Wah filtering. The obtained results were analyzed by applying objective (MSE, PSNR and NC) and subjective (visual quality) content quality measures.

ROBUSTNESS OF THE WATERMARKED AUDIO SIGNAL ON THE WAH FILTERING

Bojan Prlinčević, Zoran Milivojević