

Robusnost vodenog žiga audio signala na ekvalizaciju realizovanu pojačanjem shelving filtrom

Bojan Prlinčević

Akademija strukovnih studija kosovsko metohijska, Odsek Zvečan
Leposavić, Srbija
bojan.prlincevic@akademijakm.edu.rs

Zoran Milivojević, Nataša Savić

Akademija tehničko-vaspitačkih studija, Odsek Niš
Niš, Srbija
zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs, natasa.savic@akademijanis.edu.rs

Dijana Kostić

Geonais, Srbija
Niš, Srbija
lkoricanac@yahoo.com

Sažetak— U ovom radu izvršena je analiza robusnosti SVD algoritma za insertovanje vodenog žiga u audio signal u odnosu na ekvalizaciju realizovanu shelving filtrom. 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 pojačanja shelvnig filtriranjem. Dobijeni rezultati su analizirani primenom objektivnih mera kvaliteta, srednje kvadratne greške (MSE), vršnog odnosa signal šum (PSNR) i normalizovanog korelacionog koeficijenta (NC).

Ključne riječi- audio signal; vodeni žig; SVD algoritam; ekvalizacija; shelving filtriranje;

I. UVOD

Zaštita autorskih prava kod muzičkih signala ostvaruje se insertovanjem digitalnih vodenih žigova [1]. Aktuelno je 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], [8] 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 digitalnog vodenog žiga, 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, filtar propusnik, miksovanje sa drugim signalima, itd....) audio

sadržaja zaštićenog vodenim žigom dolazi kao posledica degradacije audio signala i moguća degradacija žiga. U radu [9-12] analizirana je robusnost digitalnog vodenog žiga na procesiranje kao posledica uticaja vibrata i WAH filtra. Veoma često se u muzičkom svetu koristi ekvalizacija u cilju dobijanja određenih zvučnih efekata. Postoji više tipova ekvalizera, grafički ekvalizer, parametaraski ekvalizer, dinamički ekvalizer i shelving [13]. U ovom radu analizirana je otpornost vodenog žiga na procesiranje audio signala (filtriranje) shelving ekvalizerom. Shelving ekvalizer radi na principu visoko propusnog ili niskopropusnog filtra. Kod shelving filtra frekvencije na višem ili nižem nivou su pojačane ili oslabljene. Centralna frekvencija za analizirani opseg predstavlja frekvenciju oko koje pojačanje ili smanjenje energije utiče na audio signal. Pojačanje ili slabljenje frekvencije kod shelving filtra je nezavisno od centralne frkvencije f_c .

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 signala sa insertovanim digitalnim žigom na shelving filtriranje. Analiza je sprovedena u pravcu sagledavnja dejstva faktora insertovanja žiga a i G (koeficijent pojačanja ili slabljenja) faktora shelving 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 izvršena je analiza robusnosti audio digitalnog vodenog žiga komparacijom originalnog i ekstrakovanog žiga iz signala nad kojim je primenjen shelving filtar. Analiza je izvršena upoređivanjem mera sličnosti (MSE, PSNR i NC).

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 α . Uticaj shelving filtra je dobijen tako što je promenljiva G kojom je definisano pojačanje varirana u opsegu pojačanja.

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

II. ALGORITMI

A. Algoritam za insertovanje žiga u audio signa

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 signa

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.

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. Algoritam za realizaciju filtra

U matlabu je realizovan digitalni shelving filter sa centralnom frekvencijom f_c i sa faktorom pojačanja signala G .

III. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

A. Eksperiment

U cilju testiranja robusnosti digitalnog vodenog žiga na procesiranje ekvalizacijom korišćen je shelving filter koji je realizovan na sledeći način: koeficijent pojačanja shelving filtra je variran u opsegu $G=\{0:1:6\}$. Koeficijent insertovanja digitalnog vodenog žiga u audio signal variran je u opsegu $\alpha=\{0.01:0.01:0.1\}$.

Za potrebe testiranja uticaja shelving filtra na audio signal i ekstrakciju digitalnog vodenog žiga izvršen je sledeći eksperiment:

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

Korak 2: Primenjen je algoritam za simulaciju efekta ekvalizacije na audio signal, primenom shelving filtra, sa insertovanim vodenim žigom x_w , sa centralnom frekvencijom f_c , čime je dobijen filtrirani signal x_{wm} .

Korak 3: Iz signala x_{wm} procesiranog shelving filtrom, ekstrakovan je digitalni vodeni žig.

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

Za objektivnu ocenu kvaliteta korišćene su srednja kvadratna greška:

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

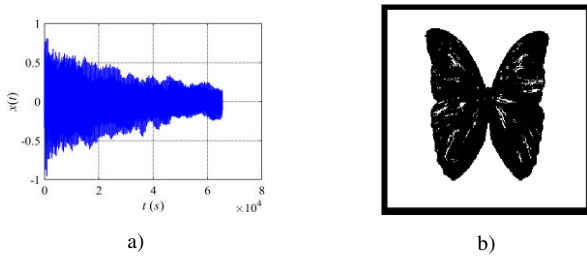
vršni odnos signal šum:

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

i normalizovani korelacioni koeficijent:

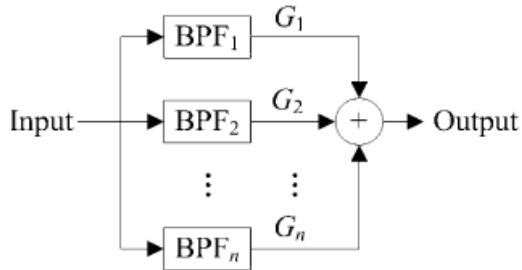
$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W(i, j) \cdot W_e(i, j))}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (W(i, j))^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^N (W_e(i, j))^2}}. \quad (10)$$

U eksperimentu je korišćen audio signal, tonovi G2, G3, G4, G5 i G6 odsvirani na Stainway B koncertnom klaviru. Snimanje tonova 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.

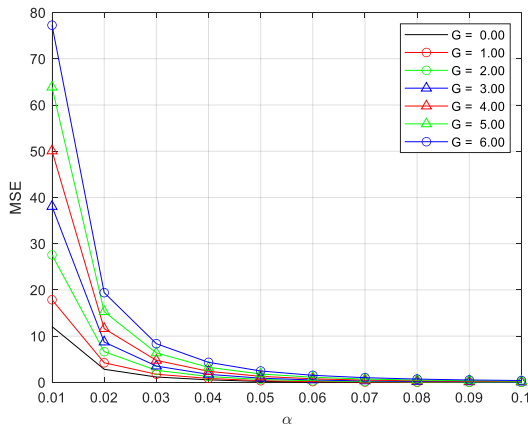


Slika 1. a) Vremenski oblik Test signala, i b) vodeni žig, slika Leptir.

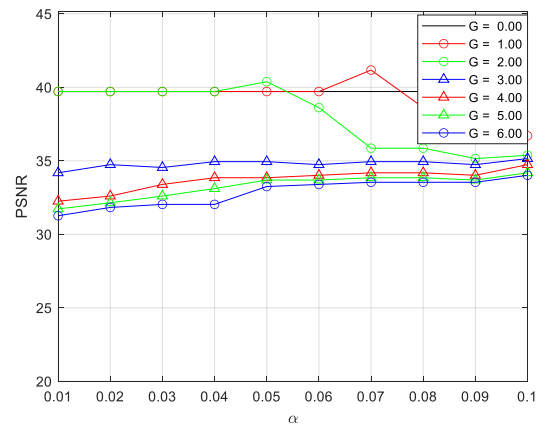
Blok šema ekvalizera prikazana je na slici 2



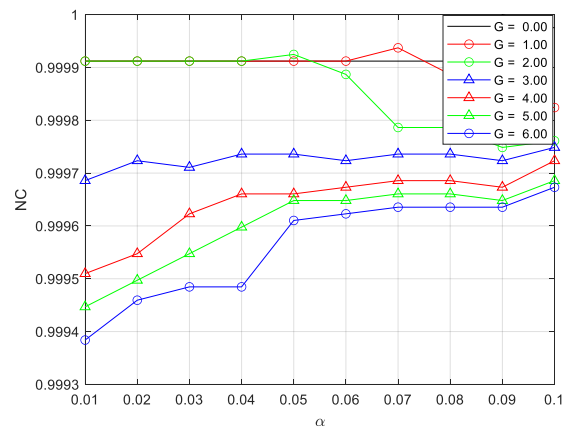
Slika 2. Blok šema ekvalizera.



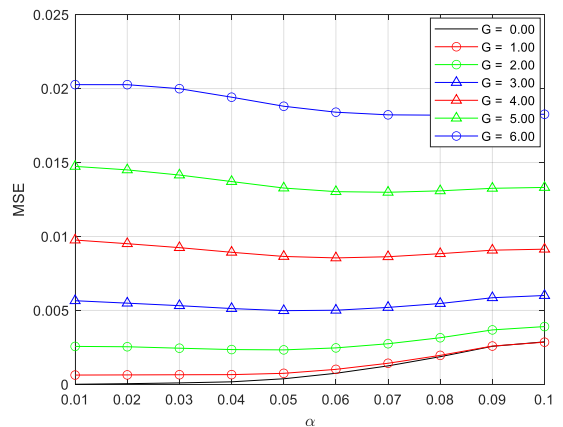
Slika 3. MSE ekstrakovanog digitalnog vodenog žiga za različite koeficijentom slabljenja filtriranog, i koeficijente insertovanja α .



Slika 4. PSNR ekstrakovanog digitalnog vodenog žiga za različite koeficijentom pojačanja filtriranog signala i koeficijente insertovanja α .



Slika 5. NC ekstrakovanog digitalnog vodenog žiga za različite koeficijentom pojačanja filtriranog signala i koeficijente insertovanja α .



Slika 6. MSE audio signala u zavisnosti od koeficijenta insertovanja žiga α i za različite koeficijente pojačanja.

B. Analiza rezultata

Objektivna analiza sprovedena je na osnovu rezultata (MSE) prikazanih na slici 3. na osnovu koje se može zaključiti da sa povećanjem faktora pojačanja (G) signala greška postaje veća, dok uticaj koeficijenta insertovanja žiga α ima pozitivan efekat na smanjenje greške ekstrakovanog žiga MSE. Nakon vrednosti koeficijenta insertovanja žiga $\alpha > 0.06$, greška se ujednačava za sve vrednosti pojačanja i uticaj povećanja koeficijenta insertovanja je manji na MSE ekstrakovanog žiga. Na osnovu rezultata prikazanih na slici 4. za meru kvaliteta izraženu putem PSNR takođe se može zaključiti da koeficijent pojačanja (G) signala utiče na kvalitet ekstrakovanog žiga. Koeficijent insertovanja α nakon vrednosti $\alpha > 0.06$ daje pozitivne efekte na kvalitet ekstrakovanog žiga. Na osnovu rezultata prikazanih na slici 5. za meru kvaliteta izraženu putem normalizovanog korelacionog koeficijenta NC takođe se može zaključiti da koeficijent pojačanja (G) signala utiče na kvalitet ekstrakovanog žiga. Koeficijent insertovanja α nakon vrednosti $\alpha > 0.06$ daje pozitivne efekte na kvalitet ekstrakovanog žiga

Na osnovu dijagrama na slici 6. može se zaključiti da MSE audio signala sa insertovanim digitalnim žigom raste sa porastom koeficijenta pojačanja G . Koeficijent insertovanja žiga α pokazuje svoj uticaj na povećanje greške nakon vrednosti $\alpha > 0.06$.

IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana je robusnost SVD algoritma za insertovanje digitalnog vodenog žiga u audio signal u odnosu na primenu ekvalizera realizovanog shelving filtrom. Insertovanje žiga vršeno je sa koeficijentom insertovanja $\alpha = \{0.01:0.01:0.1\}$. Shelving filter je simuliran sa centralnom frekvencijom f_c , koja je bila vrednosti $f_c = 200$ Hz, sa periodom, vremenom promene $t = 1$ s. Shelving filter je realizovan sa pojačanjima koja su varirana u opsegu $G = \{0:1:6\}$. Nakon detaljne analize objektivnih mera kvaliteta (MSE, PSNR i NC) ekstrakovanog vodenog žiga, utvrđeno je da kvalitet ekstrakovanog žiga zavisi od faktora pojačanja G , filtriranog signala i od koeficijenta insertovanja žiga α . Sa porastom vrednosti pojačanja shelving filtra kvalitet ekstrakovanog žiga opada. Do vrednosti pojačanja $G = 2$, sa porastom koeficijenta insertovanja žiga popravlja se i kvalitet ekstrakovanog žiga dok sa druge strane kvalitet audio signala iskazan preko MSE je manji. Sa porastom koeficijenta pojačanja $G > 2$ sa povećanjem koeficijenta insertovanja do vrednosti $\alpha = 0.06$ MSE opada, greška audio signala je manja. Za vrednosti koeficijenta $\alpha > 0.06$ MSE ponovo raste, odnosno audio signal sa insertovanim vodenim žigom je manjeg kvaliteta.

LITERATURA

[1] W. Al-Nuaimy, M. El-Bendary A.M. et all. "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] B. Prlinčević i Z. Milivojević, "Robusnost vodenog žiga audio signala na WAH filtriranje", Infoteh, Jahorina, 2021.
- [13] Z. Chen, G.S. Geng, F.L. Yin and J. Hao, "A pre-distortion based method for digital audio graphic equalizer", Digital signal processing Vol. 25, p.p 296-302, 2014.

ABSTRACT

In this paper, the robustness analysis of the SVD algorithm for inserted watermark into an audio signal in relation to the equalization amplification realized by a shelving filter is performed. The first part of the paper describes the SVD algorithm for inserting and extracting a watermark in audio signal. In the second part of the paper, an experiment is performed in which the robustness of the SVD algorithm was tested. Tested was performed in relation to the influence of amplification realized using shelving filtering. The obtained results were analyzed using objective quality measurements, mean square error (MSE), peak signal to noise ratio (PSNR), and normalized correlation coefficient (NC).

ROBUSTNESS OF WATERMARK OF AUDIO SIGNAL ON EQUALIZING REALIZED WITH SHELIVING FILTER AMPLIFICATION

Bojan Prlinčević, Zoran Milivojević, Nataša Savić, Dijana Kostić