

РОБУСНОСТ ВОДЕНОГ ЖИГА АУДИО СИГНАЛА НА ЕКВИЛАЈЗИНГ РЕАЛИЗОВАН ШЕЛВИНГ ФИЛТРИРАЊЕМ

Бојан Прлинчевић¹ Зоран Миливојевић²

Резиме: У овом раду извршена је анализа робусности SVD алгоритма за инсертовање воденог жига у аудио сигнал у односу на еквилајзер реализован применом шелвинг филтра. У првом делу рада описан је SVD алгоритам за инсертовање и екстракцију воденог жига у аудио сигнал. У другом делу рада приказан је експеримент у оквиру кога је вршено тестирање робусности SVD алгоритма у односу на утицај шелвинг филтрирања. Добијени резултати су анализирани применом објективних мера квалитета, средње квадратне грешке (MSE), вршног односа сигнал шум (PSNR) и нормализованог корелационог коефицијента (NC).

Кључне речи: аудио сигнал, водени жиг, SVD алгоритам, еквилајзер, шелвинг филтрирање.

ROBUSTNESS THE WATERMARK OF AUDIO SIGNAL ON EQUALIZING REALIZED BY SHELVING FILTRATION

Abstract: In this paper, the robustness analysis of the SVD watermarking algorithm for watermark inserting into audio signal in relation to an equalizer realized using a shelving filter is performed. The first part of the paper describes the SVD algorithm for inserting and extracting the watermark into 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 shelving filtering. The obtained results were analyzed using objective measures of quality, mean square error (MSE), peak signal to noise ratio (PSNR) and normalized correlation coefficient (NC).

Key words: audio signal, watermark, SVD algorithm, equalizer, shelving filtering.

1. УВОД

Заштита ауторских права код музичких сигнала остварује се инсертовањем дигиталних водених жигова [1]. Актуелно је сада да се као заштита у аудио сигнал убацује слика као дигитални водени жиг. Инсертовање воденог жига треба да буде такво да инсертовани жиг не доводи до деградације аудио сигнала. Развијен је већи број алгоритама за инсертовање и екстракцију дигиталног воденог жига у аудио сигнал [2]-[8]. Алгоритам приказан у радовима [2] и [9] као водени жиг у аудио сигнал инсертује слику. Слика димензија $M \times N$, се применом SVD трансформације инсертује у аудио сигнал. У циљу инсертовања аудио дигиталног воденог жига, потребно је да се секвенца (енгл. frame) аудио сигнала дужине $M \cdot N$ трансформише у дводимензионалну матрицу димензија $M \times N$. Након инсертовања жига дводимензионална матрица се поново трансформише у једнодимензионални низ, односно у аудио сигнал са воденим жигом.

Накнадним процесирањем (НФ филтрирање, ВФ филтрирање, филтар пропусник, миксовање са другим сигнаlima, итд....) аудио садржаја заштићеног воденим жигом долази као последица деградације аудио сигнала јавља се и могућа деградација жига. У раду [9-12] анализирана је робусност дигиталног воденог жига на процесирање као последица утицаја вибрата и WAN филтра. Веома често се у музичком свету користи

¹ професор струковних студија, Академија струковних студија косовско метохијска, ул Доситејева бб, Лепосавић, e-mail: bojan.prlincevic@akademijakm.edu.rs

² професор струковних студија, Академија техничко васпитачких студија, ул Београдска 18, Ниш, e-mail: zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs

еквилајзер у циљу добијања одређених ефеката. Постоји више типова еквилајзера, графички еквилајзер, параметраски еквилајзер, динамички еквилајзер и шелвинг [13]. У овом раду анализирана је отпорност воденог жига на процесирање аудио сигнала (филтрирање) шелвинг еквилајзером. Шелвинг еквилајзер ради на принципу високо пропусног или нископропусног филтра. Код шелвинг филтра фреквенције на вишем или нижем нивоу су појачане или ослабљене. Централна фреквенција за анализирани опсег представља фреквенцију око које појачање или смањење енергије утиче на аудио сигнал. Појачање или слабљење фреквенције код шелвинг филтра је независно од централне фреквенције f_c .

У првом делу рада је описан алгоритам инсертовања воденог жига. У другом делу рада је приказан експеримент који је реализован са циљем испитивања робусности аудио сигнала са инсертованим дигиталним жигом на шелвинг филтрирање. Анализа је спроведена у правцу сагледавања дејства фактора инсертовања жига α и G (коефицијент појачања или слабљења) фактора шелвинг филтра. Анализа је спроведена над музичким сигнаlima који су добијени репродукцијом тонова на Stainway B концертном клавиру. Резултати су приказани табеларно и графички. Анализом резултата извршена је анализа робусности аудио дигиталног воденог жига компарацијом оригиналног и екстракованог жига из сигнала над којим је примењен шелвинг филтар. Анализа је извршена упоређивањем мера сличности (MSE, PSNR и NC).

Реализован је експеримент у коме је применом SVD алгоритма за инсертовање и екстракцију воденог жига [2] инсертован жиг са коефицијентом инсертовања који је вариран у опсегу α . Утицај шелвинг филтра је добијен тако што је променљива G којом је дефинисано појачање варирана у опсегу.

Рад је организован на следећи начин: Секција 2 описује SVD алгоритам за инсертовање и екстракцију дигиталног воденог жига. У секцији 3 је описан експеримент и приказани су резултати. Секција 4 је закључак.

2. АЛГОРИТМИ

2.1. Алгоритам за инсертовање жига у аудио сигнал

За инсертовање и екстракцију дигиталног воденог жига, у аудио сигнал, коришћен је алгоритам базиран на SVD декомпозицији. Алгоритам за инсертовање жига у аудио сигнал се извршава у следећим корацима:

Улаз: x -аудио сигнал, W -водени жиг, α -коефицијент инсертовања жига.

Излаз: x_w -аудио сигнал са инсертованим дигиталним воденим жигом.

Корак 1: Трансформација аудио сигнала, x , у дводимензионалну (2D) матрицу A .

Корак 2: Примена SVD декомпозиције на матрицу A :

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

Корак 3: Инсертовање дигиталног жига у матрицу S :

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

Корак 4: Примена SVD декомпозиције на матрицу D :

$$D = U_w \times S_w \times V_w^T \quad (3)$$

Корак 5: Аудио сигнал са инсетованим воденим жигом добијен је коришћењем матрице S_w :

$$A_w = U \times S_w \times V^T \quad (4)$$

Корак 6: Матрица A_w трансформисана је у једнодимензионални аудио сигнал, x_w .

2.2. Алгоритам за екстракцију жига из аудио сигнала

Алгоритам за екстракцију жига из аудио сигнала се извршава у следећим корацима:

Улаз: x_w -аудио сигнал са инсетованим дигиталним воденим жигом, α -коэффициент инсертовања жига, U_w и V_w -ортогоналне матрице.

Израз: W_e -екстракован дигитални водени жиг.

Корак 1: Трансформација аудио сигнала, x_w , у дводимензионалну матрицу A_w^* .

Корак 2: Примена SVD декомпозиције на матрицу A_w^* :

$$A_w^* = U^* \times S_w^* \times V^{*T} \quad (5)$$

Корак 3: Матрица која садржи жиг добијена је применом једначине:

$$D^* = U_w \times S_w^* \times V_w^T \quad (6)$$

Корак 4: Издвојени дигитални водени жиг добијен је применом једначине:

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

2.3. Алгоритам за екстракцију жига из аудио сигнала

У циљу тестирања робусности дигиталног воденог жига на процесирање филтрирањем, коришћен је шелвинг филтар. Дигитални шелвинг филтар је са централном фреквенцијом f_c и са G-фактором појачања сигнала.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА

3.1. Експеримент

У циљу тестирања робусности дигиталног воденог жига на процесирање еквилајзингом коришћен је шелвинг филтар. Коэффициент појачања шелвинг филтра је вариран у опсегу $G = \{-6:1:0\}$. Коэффициент инсертовања дигиталног воденог жига у аудио сигнал вариран је у опсегу $\alpha = \{0.01:0.01:0.1\}$.

За потребе тестирања утицаја шелвинг филтра на аудио сигнал и екстракцију дигиталног воденог жига извршен је следећи експеримент:

Корак 1: Коришћењем алгоритма за инсертовање воденог жига, (секција 2) добијен је аудио ватермаркед сигнал x_w .

Корак 2: Примењен је алгоритам за симулацију еквилајзинг ефекта на аудио сигнал, применом шелвинг филтра, са инсетованим воденим жигом x_w , са фреквенцијом f_c , добијен је сигнал x_{wm} .

Корак 3: Из сигнала x_{wm} над којим је примењен шелвинг филтар, екстракован је дигитални водени жиг.

Корак 4: Извршена је компаративна анализа екстракованог дигиталног воденог жига W_{em} са оригиналним жигом W применом објективних.

За објективну оцену квалитета примењена је средња квадратна грешка:

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

вршни однос сигнал шум:

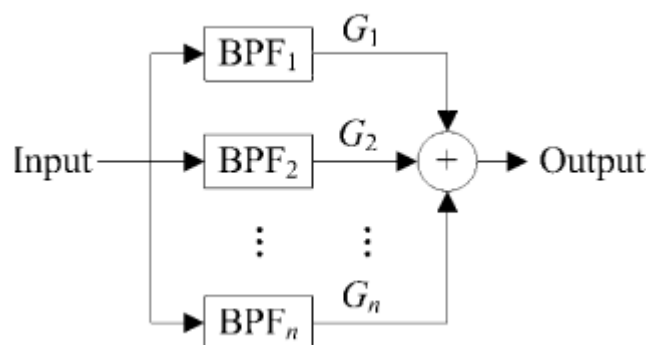
$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \frac{d^2}{MSE}. \quad (9)$$

и нормализовани корелациони коефицијент:

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W(i, j) \cdot W_e(i, j))}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (W(i, j))^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^N (W_e(i, j))^2}}. \quad (7)$$

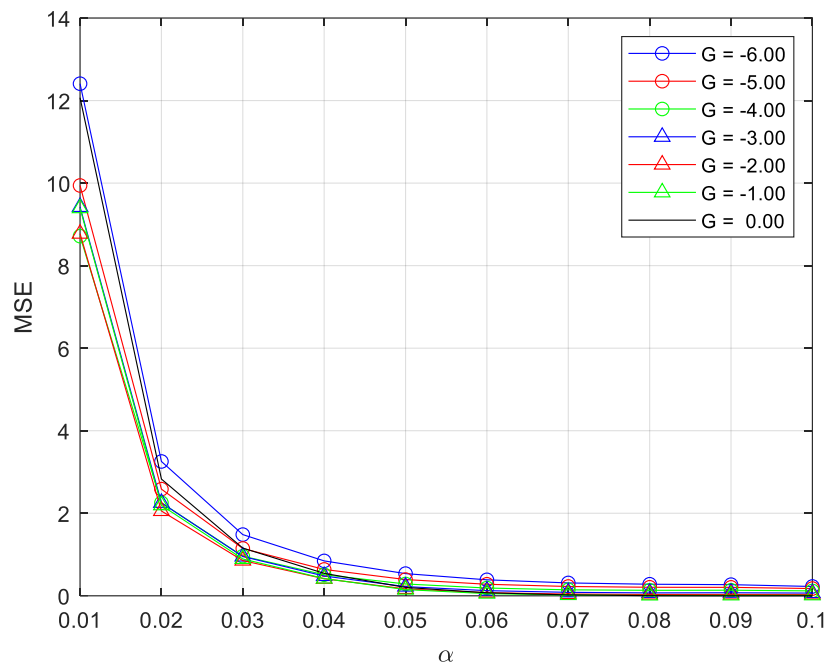
У експерименту је коришћен аудио сигнал G2, G3, G4, G5 и G6 снимљени на Steinway B концертном клавиру. Снимање аудио сигнала је обављено са фреквенцијом семпловања $f_s = 44.1$ kHz, 16 бита по семплу и у форми wav фајла архивирано на хард диску. Као дигитални водени жиг коришћена је слика Лептир, димензија 256×256 .

Блок шема еквилајзера-шелвинг филтра приказана је на слици 2.

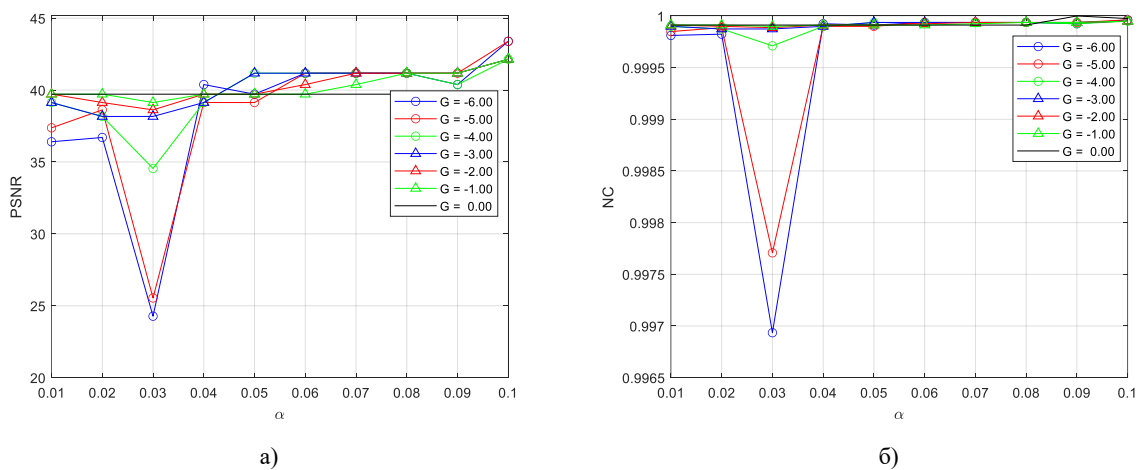


Слика 2. – Блок шема еквилајзера (шелвинг филтра).

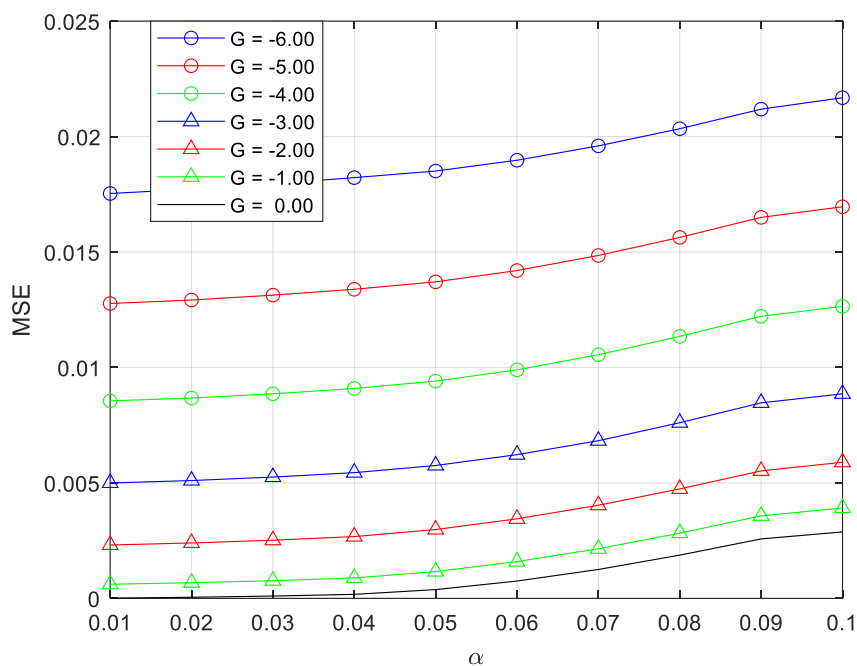
Утицај шелвинг филтра је симулриан са централном фреквенцијом пропусног опсега $f_{min} = 200$ Hz, са периодом промене $t = 1$ s. Појачање шелвинг филтра је добијено променом вредности коефицијента G (u dB) која је варирана $G = \{-6:1:0\}$. Када је $G=0$ нема појачања-филтрирања на излазу имамо само оригинални нефилтрирани сигнал, а када је $G=-6$ онда на излазу имамо максимално ослабљени сигнал. Коефицијент инсертовања жига α је вариран у опсегу $\alpha = \{0.01:0.01:0.1\}$.



Слика 3. – MSE екстракованог дигиталног воденог жига за различите коефицијентом слабења филтрираног, и коефицијенте инсертовања α .



Слика 4. – Мере квалитета екстракованог дигиталног воденог жига за различите коефицијентом слабења филтрираног, и коефицијенте инсертовања α : а) PSNR, и б) NC.



Слика 5. – MSE аудио сигнала у зависности од коефицијента инсертовања жига α и за различите коефицијентом слабљења.

3.2. Анализа резултата

Објективна анализа спроведена је на основу резултата (MSE) приказаних на слици 3. на основу које се може закључити да са повећањем фактора слабљења сигнала G грешка постаје већа, док утицај коефицијента инсертовања жига α почиње да има позитиван ефекат на смањење MSE грешке екстракованог жига. Након вредности коефицијента инсертовања жига $\alpha > 0.06$, грешка се уједначава за све вредности слабљења. На основу резултата приказаних на слици 4. (PSNR и NC) такође се може закључити да коефицијент слабљења G сигнала знатно утиче на квалитет екстракованог жига. Коефицијент инсертовања α након вредности $\alpha > 0.06$ даје позитивне ефекте на квалитет екстракованог жига.

На основу дијаграма на слици 5. може се закључити да MSE аудио сигнала са инсертованим дигиталним жигом расте са порастом коефицијента слабљења G . Коефицијент инсертовања жига α показује свој утицај на повећање грешке након вредности $\alpha > 0.06$.

4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду анализирана је робусност SVD алгоритма за инсертовање дигиталног воденог жига у аудио сигнал у односу на примену еквилајзера реализованог шелвинг филтром. Инсертовање жига вршено је са коефицијентом инсертовања $\alpha = \{0.01:0.01:0.1\}$. Шелвинг филтар је симулриан са централном фреквенцијом f_c , која је била вредности $f_{min} = 200$ Hz, са периодом, временом промене $t = 1$ s. Шелвинг филтар је реализован са појачањима која су варирана у опсегу $G = \{-6:1:0\}$. Након детаљне објективне (MSE, PSNR и NC) анализе квалитета екстракованог воденог жига, утврђено

је да квалитет екстракованог жига зависи од фактора појачања G , филтрираног сигнала филтрираног сигнала и од коефицијента инсертовања жига α . Са порастом вредности слабљења шелвинг филтра квалитет екстракованог жига опада. Са порастом коефицијента инсертовања жига поправља се и квалитет екстракованог жига али се повећава грешка аудио сигнала.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [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. Erküçük, 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 међународна конференција Управљање знањем и информатика, pp.141-146, Корнаоник 13-14 Јануар 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 digitaln audio graphic equalizer", Digital signal processing Vol. 25, p.p 296-302, 2014.