

АНАЛИЗА УТИЦАЈА ВИБРАТА НА КВАЛИТЕТ ЕКСТРАКОВАНОГ ВОДЕНОГ ЖИГА

Бојан Прлинчевић¹ Зоран Миливојевић²

Резиме: У овом раду извршена је анализа робусности SVD алгоритма за инсертовање воденог жига у аудио сигнал, на утицај вибрата. 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 вибрата. Вибрато је примењиван са фреквенцијом вибрата f_m . Добијени резултати су анализирани применом објективних (MSE и NC) и субјективних (визуелни квалитет) мера квалитета.

Кључне речи: аудио сигнал, водени жиг, SVD алгоритам, вибрато.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE VIBRATO ON THE QUALITY OF EXTRACTED WATERMARK

Abstract: In this paper, the analysis of the robustness of the SVD algorithm for watermarking the audio signal, on vibrato, was performed. The first part of paper describes the SVD algorithm for inserting and extracting the watermark in to the audio signal. The second part of the paper presents experiment in which the robustness of the SVD algorithm was tested in relation with the vibrato. Vibrato was performed on the vibrato frequency f_m . The obtained results were analyzed using objective (MSE and NC) and subjective (visual qualities) quality measures.

Key words: audio signal, watermark, SVD algorithm, vibrato.

1. УВОД

Услед брзог развоја савремених комуникација повећана је размена мултимедијалних садржаја. У таквом окружењу заштита ауторских права и доказивање власништва представљају велики проблем, нарочито приликом дистрибуције мултимедијалних садржаја (слике, видео, аудио...). Да би се решио проблем заштите ауторских права аудио садржаја користи се принцип уметања скривених података. У циљу доказивања ауторских права у аудио сигнал инсертује се дигитални водени жиг (енгл. watermarkig) (Al-Nuaimy 2011). Инсертовање воденог жига треба да буде такво да инсертовани жиг не доводи до деградације аудио сигнала које би се манифестовале у виду шума. Развијен је већи број алгоритама за инсертовање и екстракцију дигиталног жига у аудио сигнал (Xiang 2007, Liu 2003, Lemma 2003, Li 2006, Erküçük 2006, Brandenburg 1992, Прлинчевић 2019). Алгоритам приказан у раду (Xiang 2007) као водени жиг инсертује слику, димензија $M \times N$, применом SVD трансформације. Због тога се секвенца (енгл. frame) аудио сигнала дужине $M \cdot N$ трансформише у матрицу димензија $M \times N$. Након инсертовања жига дводимензионална матрица се преводи у једнодимензионални низ, односно у аудио сигнал са воденим жигом.

Актуелни су алгоритми и системи за дигитално процесирање сигнала (енгл. Digital Signal Processing, DSP) и њихово имплементирање у системима за рад у реалном времену. Анализом рада музичких инструмената и формирањем његовог модела, стварају се виртуелни музички инструменти који у великој мери звуче као и оригинални (Balazs 2005, Миливојевић 2017). Један од начина свирања и певања који доприноси повећању квалитета музичког доживљаја је вибрато техника. Вибрато је

¹ професор, Висока техничка школа струковних студија Звечан, Србија, e-mail: b.prlincevic@vts-zvecan.edu.rs.

² професор, Висока техничка школа струковних студија Ниш, Србија, e-mail: zoran.milivojevic@vtsnis.edu.rs.

уведен у 17 веку као орнамент појединачне ноте (Миливојевић 2012). Са стране акустике вибрата представља правилне флукуације фундаменталне фреквенције (Аггобагген 2006). Применом вибрата на аудио сигнал мењају се и спектралне карактеристике инсертованог воденог жига што доводи до деградације квалитета екстракованог жига. Аутори овог рада извршили су анализу ефекта утицаја вибрата на аудио сигнал са инсертованим воденим жигом, са фреквенцијом вибрата у опсегу $f_m = \{5, 6, 7, 8, 9\}$ Hz. Реализован је експеримент у коме је применом SVD алгоритма за инсертовање и екстракцију воденог жига (Xiang 2007) инсертован жиг са разним коефицијентима инсертовања. Након тога је примењен алгоритам за вибрата. Објективним (мере MSE и NC) и субјективним (визуелно тестирање квалитета) тестирањем квалитета екстракованог воденог жига у односу на оригинални жиг, тестирана је робусност SVD алгоритма на утицај вибрата.

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

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 .

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

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

Излаз: 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:

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

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ РЕЗУЛТАТИ И АНАЛИЗА

3.1. Експеримент

За потребе тестирања утицаја вибрата на екстракцију дигиталног воденог жига извршен је следећи експеримент:

Корак 1: Коришћењем алгоритма за инсертовање воденог жига, (секција 3) добијен је watermarked аудио сигнал x_w .

Корак 2: Примењен је алгоритам за симулацију вибрата на аудио сигнал са инсертованим воденим жигом x_w , са фреквенцијом f_m , добијен је сигнал x_{wm} .

Корак 3: Из сигнала над којим је примљен вибрата x_{wm} , екстракован је дигитални водени жиг.

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

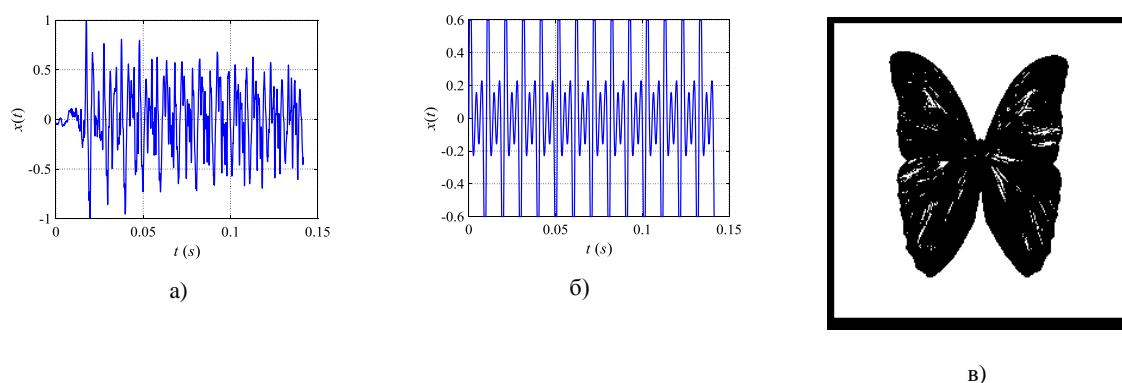
За објективну оцену квалитета примењена је средња квадратна грешка:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W(i, j) - W_{ef}(i, j))^2}{M \times N}, \quad (8)$$

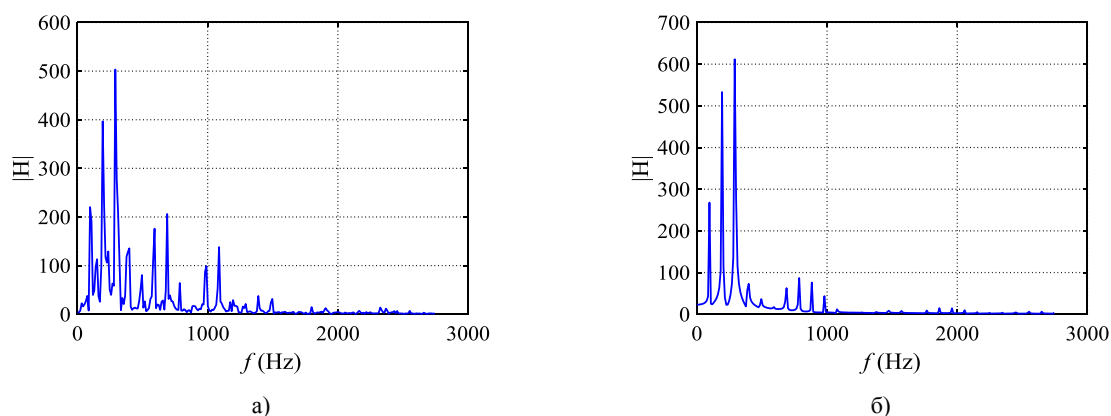
и нормализовани корелациони коефицијент:

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (W(i, j) \cdot W_{ef}(i, j))}{\sqrt{\sum_{j=1}^N (W(i, j))^2} \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^N (W_{ef}(i, j))^2}}. \quad (9)$$

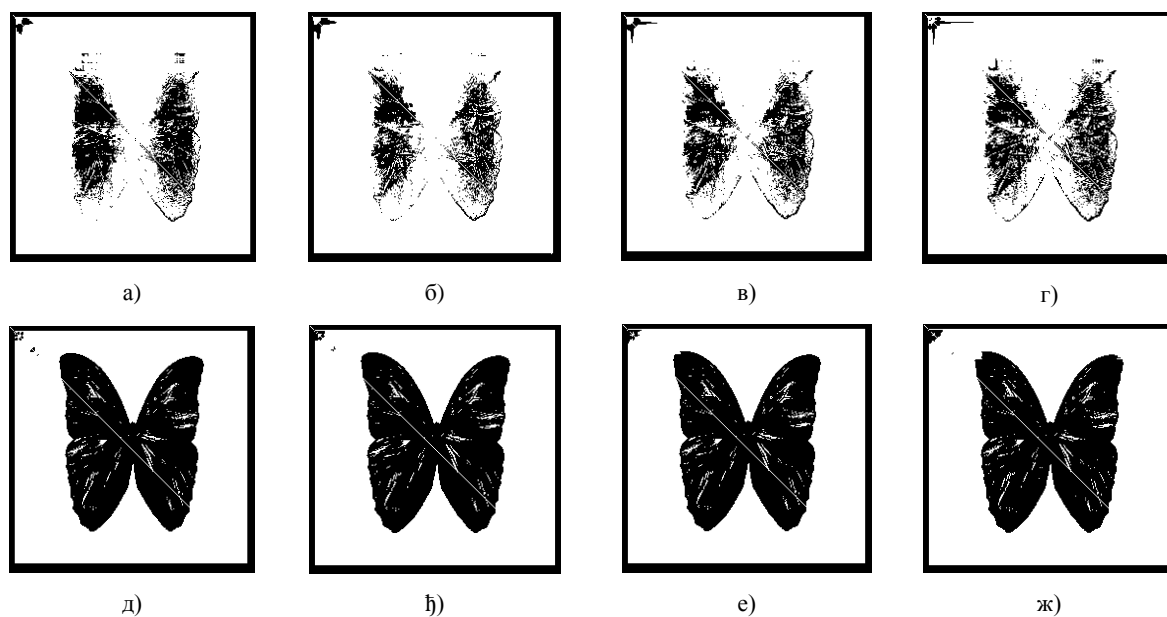
У експерименту је коришћен аудио сигнал G2 (Слика 1.а), G3, G4, G5 и G6 снимљени на Steinway В концертном клавиру и синусоидни сигнали G2_{sin} (Слика 1.б), G3_{sin}, G4_{sin}, G5_{sin} и G6_{sin}. Снимање аудио сигнала је обављено са фреквенцијом семпловања $f_s = 44.1$ kHz, 16 бита по семплу и у форми wav фајла архивирано на хард диску. Синусоидни сигнал је генерисан тако да се састоји од 5 хармоника. Као дигитални водени жиг коришћена је слика Лептир, димензија 256 × 256 (Слика 1.в). Утицај вибрата је симулриан применом алгоритма за вибрата са фреквенцијом вибрата $f_m = \{5, 6, 7, 8, 9\}$ Hz. На слици 2.а приказана је спектрална карактеристика тона G2, а на слици 2.б приказана је фреквентна карактеристика синусоидног сигнала G2_{sin}. Жиг је инсертован применом SVD алгоритма за инсертовање и екстракцију воденог жига, са коефицијентом инсертовања $\alpha = (0.005:0.001:0.015)$.



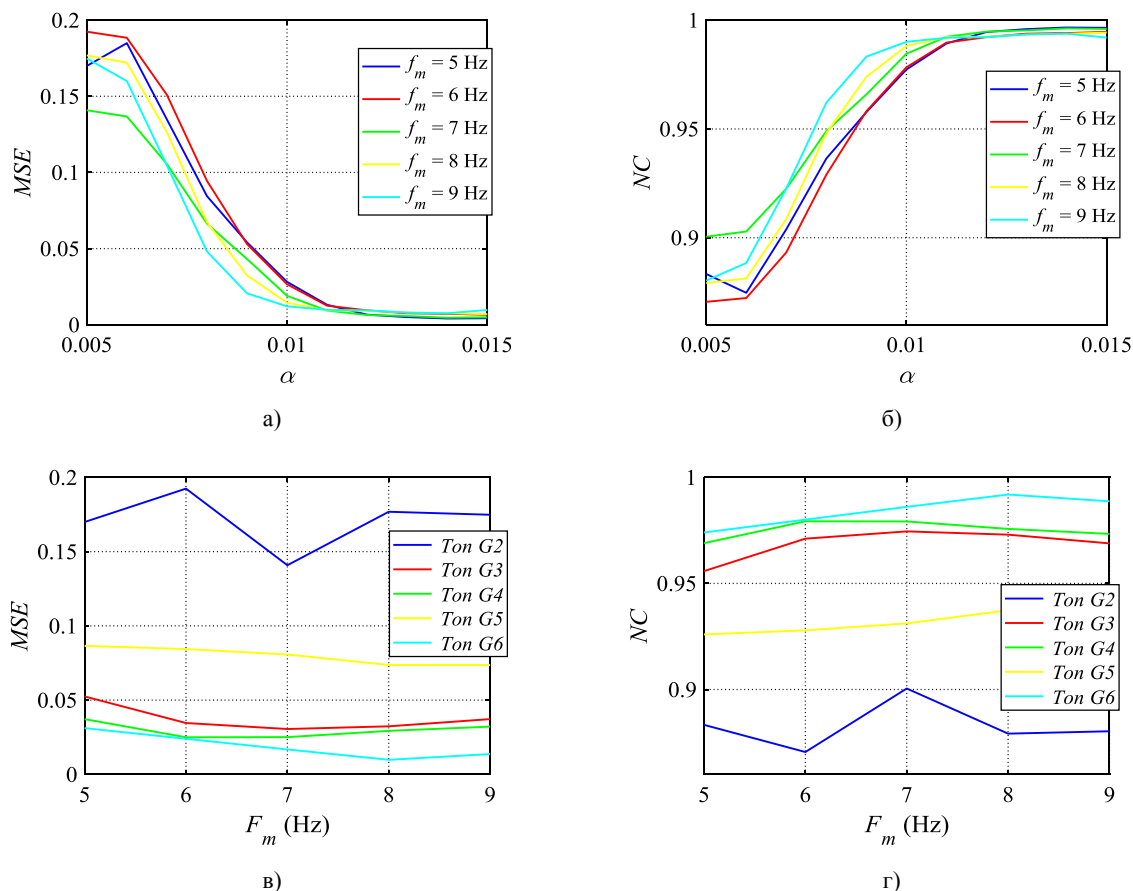
Слика 1. а) Временски облик тест сигнала (Тон G_2 , $f_0 = 97.988 \text{ Hz}$), б) Временски облик синусног тест сигнала (G_{2sin} , $f_0 = 97.988 \text{ Hz}$), и в) водени жиг, слика Лептир.



Слика 2. Спектар тест сигнала: а) сигнал снимљен на клавиру (Тон G_2 , $f_0 = 97.988 \text{ Hz}$), и, б) синусни тест сигнал (G_{2sin} , $f_0 = 97.988 \text{ Hz}$).



Слика 3. Изглед екстракваног жига из тона G_2 : а) $F_m=5 \text{ Hz}$; б) $F_m=6 \text{ Hz}$; в) $F_m=8 \text{ Hz}$ и г) $F_m=9 \text{ Hz}$; и из синусног сигнала G_{2sin} : д) $F_m=5 \text{ Hz}$, е) $F_m=6 \text{ Hz}$, е) $F_m=8 \text{ Hz}$ и ж) $F_m=9 \text{ Hz}$.



Слика 4. Мере квалитета (MSE и NC) у зависности од коефицијента инсертовања α и у зависности од фреквенције вибрата F_m .

3.2. Анализа

Субјективном компаративном анализом визуелног квалитета екстракованих жигова приказаних на слици 3. (коефицијент инсертовања $\alpha = 0.01$) може се закључити да примена вибрата на ватермаркед аудио сигнал (генерисан на клавиру) доводи до значајних видљивих деградација жига, које не зависе од фреквенције вибрата већ искључиво од коефицијента инсертовања. Примена вибрата на ватермаркед аудио сигнал (синусоидни сигнал) доводи до мањих видљивих деградација жига, које не зависе од фреквенције вибрата већ искључиво од коефицијента инсертовања. Изглед екстракованог жига из тонова синусног сигнала је знатно бољег визуелног квалитета.

Објективна анализа спроведена је на основу резултата (MSE) приказаних на слици 4.а и 4.в. Компаративном анализом резултата закључује се да након примене вибрата са фреквенцијом вибрата $f_m = \{5, 6, 7, 8, 9\}$ на ватермаркед аудио сигнал, MSE опада са порастом коефицијента инсертовања α (нагло опадају при $\alpha = 0.01$), док пораст фреквенције вибрата f_m нема утицаја на вредност MSE. На основу резултата (NC) приказаних на слици 3.б и 3.д. може се закључити да након примене вибрата са фреквенцијом вибрата $f_m = \{5, 6, 7, 8, 9\}$ на ватермаркед аудио сигнал, NC расте са порастом коефицијента инсертовања α (нагло расту при $\alpha = 0.01$), док пораст граничне фреквенције f_m нема значајног утицаја на вредност корелационих коефицијената NC.

4. ЗАКЉУЧАК

У овом раду анализирана је робусност SVD алгоритма за инсертовање дигиталног воденог жига у аудио сигнал у односу на примену вибрата. Инсертовање жига вршено је са коефицијентом инсертовања $\alpha = (0.005:0.001:0.015)$. Вибрато је примењиван са фреквенцијом вибрата $f_m = \{5, 6, 7, 8, 9\}$ Hz. Након детаљне објективне (мере MSE и NC) и субјективне (анализа визуелног квалитета) анализе екстракованог воденог жига, утврђено да је квалитет екстракованог жига зависи од коефицијента инсертовања и задовољава за $\alpha = 0.01$, док је са друге стране утврђено да не постоји зависност између квалитета екстракованог жига и фреквенције вибрата. Такође је закључено да квалитет екстракованог жига зависи и од врсте аудио сигнала.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Al-Nuaimy W., El-Bendary M. A.M. et al. (2011). *An SVD audio watermarking approach using chaotic encrypted images*. Digital Signal Processing No 21, p.p 76-779.
- [2] Xiang S., Huang J. (2007). *Histogram-based audio watermarking against time-scale modification and cropping attacks*. IEEE Trans. Multimedia No. 9, p.p 1357-1372.
- [3] Liu Z., Inoue A. (2003). *Audio watermarking techniques using sinusoidal patterns based on pseudorandom sequences*. IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol. No. 13 p.p 801-812.
- [4] Lemma A. N., Aprea J., Oomen W., De Kerkhof L.V. (2003). *A temporal domain audio watermarking technique*. IEEE Trans. Signal Process. No. 51, p.p 1088–1097.
- [5] Li W., Xue X., Lu P. (2006). *Localized audio watermarking technique robust against time-scale modification*. IEEE Trans. Multimedia No. 8, p.p 60–69.
- [6] Erkuçük S., Krishnan S., Glu M.Z. (2006). *A robust audio watermark representation based on linear chirps*. IEEE Trans. Multimedia No. 8, p.p 925–936.
- [7] Brandenburg K., Stoll G. (1992), "The ISO/MPEG Audio Codec: A generic Standard for coding of High Quality Digital Audio. 92nd AES-convention, preprint 3336, Viena.
- [8] Прлинчевић Б., Миливојевић З. (2019). *Робусност SVD аудио воденог жига на MP3 компресију*. ИЦТ Пулсе, ИНФОФЕСТ ПУЛСЕ, стр. 191 - 198, Будва, Црна Гора.
- [9] Balazs, B., Laszlo, S. (2005). *Generation of longitudinal vibrations in piano strings: From physics to sound synthesis*. Journal Acoustical Society of America, Vol. 117, No. 4., p.p 2268-2278.
- [10] Миливојевић З., Баланесковић Д., Величковић З., Бродић Д. (2017). *Примена рачунара за оцењивање квалитета вибрата*. ИЦТ Пулсе, ИНФОФЕСТ ПУЛСЕ, стр. 146-153, Будва, Црна Гора.
- [11] Миливојевић З., Баланесковић Д. (2012). *Алгоритам за објективну анализу параметра вибрата*. Информационе технологије, Инфотех, Јахорина.
- [12] Arroabarren X., Rodet J., and Carlosena A. (2006). *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.