

Optimizacija parametara 2P interpolacionog jezgra petog reda za interpolaciju audio signala

Nataša Savić, Zoran Milivojević

Odsek Niš

Akademija tehničko- vaspitačkih strukovnih studija

Niš, Srbija

natasava.savic@akademijanis.edu.rs, zoran.milivojevic@akademijanis.edu.rs

Sažetak—U prvom delu rada opisana su jedno-parametarsko (1P) i dvo-parametarsko (2P) interpolaciona jezgra petog reda. Opisan je algoritam određivanja optimalnih parametara 2P jezgra. U drugom delu rada opisan je eksperiment u kome je testirana preciznost interpolacije ovih jezgara nad audio signalima iz test baze. Preciznost interpolacije određena je pomoću srednje kvadratne greške (MSE). Nakon toga izvršena je komparativna analiza rezultata. Rezultati su prikazani tabelarno i grafički.

Ključne riječi—interpolacija; konvolucija; konvoluciono jezgro; optimalni parametar;

I. UVOD

Kod rekonstrukcije audio signala vrlo često se javlja potreba za interpolacijom. Najčešće se primenjuje konvolucionna interpolacija [1]. Konvolucionna interpolacija realizuje se primenom konvolucionog jezgra. Za potrebe konvolucione interpolacije razvijen je veliki broj konvolucionih jezgara [2]-[6]. Kako bi se jezgra što bolje prilagodila problematici vrši se parametrizacija jezgara. Primenom parametarskih jezgara moguće je promenom vrednosti parametara povećati preciznost interpolacionog jezgra, odnosno minimizirati grešku interpolacije. U radu [2] Keys je predložio 1P jezgro trećeg reda. Modifikacijom Keysovog 1P jezgra razvijena su kubna jezgra sa 2 i 3 parametra [5]. Optimizacijom parametara jezgra minimizira se greška interpolacije [6].

U ovom radu su eksperimentalnim putem određeni optimalni parametri (α_{opt} , β_{opt}) 2P interpolacionog jezgra petog reda kod procene Audio signala. Vršena je interpolacija sa implementiranim 1P i 2P interpolacionim jezgrima petog reda i izračunavana srednja kvadratna greška interpolacije Audio test signala. Audio test signali dobijeni su snimanjem G tonova (G1 - G7) Stainway B koncertnog klavira. Snimanje je realizovano u laboratoriji za akustiku Iowa Univerziteta [7] sa $f_s = 44.1$ kHz i 16 bps. Rezultati MSE su prikazani grafički i tabelarno. Izvršena je komparativna analiza rezultata MSE za 1P i 2P interpolaciona jezgra petog reda i procenjena efikasnost 2P jezgra.

Rad je organizovan na sledeći način: U sekciji II opisana su 1P i 2P interpolaciona jezgra petog reda. Sekcija III prikazuje algoritam procene optimalnih parametara 2P interpolacionog

jezgra petog reda. Eksperimentalni rezultati i analiza prikazani su u sekciji IV. Sekcija V je zaključak.

II. PARAMETARSKA INTERPOLACIONA JEZGRA PETOG REDA

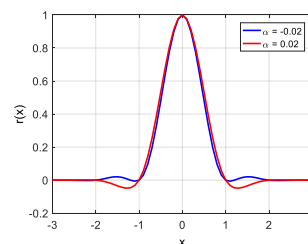
U procesu konvolucione interpolacije koriste se pored parametarskih kubnih konvolucionih jezgara i parametarska jezgra petog reda.

A. 1P interpolaciono jezgro petog reda

U radu [3] definisano je 1P interpolaciono jezgro petog reda, dužine $L = 6$ sa:

$$r(x) = \begin{cases} \left(10\alpha - \frac{21}{16}\right)|x|^5 + \left(-18\alpha + \frac{45}{16}\right)|x|^4 + \left(8\alpha - \frac{5}{2}\right)|x|^2 + 1, & |x| \leq 1 \\ \left(11\alpha - \frac{5}{16}\right)|x|^5 - \left(88\alpha - \frac{45}{16}\right)|x|^4 + (270\alpha - 10)|x|^3 - \left(392\alpha - \frac{35}{2}\right)|x|^2 + (265\alpha - 15)|x| - (66\alpha - 5), & 1 < |x| \leq 2 \\ \alpha|x|^5 - 14\alpha|x|^4 + 78\alpha|x|^3 - 216\alpha|x|^2 + 297\alpha|x| - 162\alpha, & 2 < |x| \leq 3 \\ 0, & |x| > 3 \end{cases} \quad (1)$$

gde je α parametar jezgra. Na slici 1 prikazano je 1P interpolaciono jezgro petog reda za vrednost parametra $\alpha = -0.002$ i $\alpha = 0.002$.



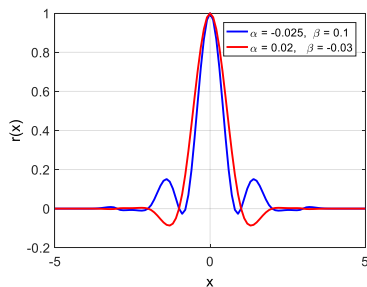
Slika 1. 1P interpolaciono jezgro petog reda

B. 2P interpolaciono jezgro petog reda

U radu [8] definisano je 2P interpolaciono jezgro petog reda dužine $L = 8$ sa:

$$r(x) = \begin{cases} \left(10\alpha - 10\beta - \frac{21}{16}\right)|x|^5 + \\ \left(-18\alpha + 18\beta + \frac{45}{16}\right)|x|^4 + & |x| \leq 1 \\ \left(8\alpha - 8\beta - \frac{5}{2}\right)|x|^2 + 1, \\ \left(11\alpha - 11\beta - \frac{5}{16}\right)|x|^5 + \\ \left(-88\alpha + 88\beta + \frac{45}{16}\right)|x|^4 + \\ (270\alpha - 270\beta - 10)|x|^3 + & 1 < |x| \leq 2 \\ \left(-392\alpha + 392\beta + \frac{35}{2}\right)|x|^2 + \\ (265\alpha - 265\beta - 15)|x| + \\ (-66\alpha + 66\beta + 5), \\ \alpha|x|^5 + (-14\alpha + 3\beta)|x|^4 + \\ (78\alpha - 30\beta)|x|^3 + \\ (-216\alpha + 112\beta)|x|^2 + & 2 < |x| \leq 3 \\ (297\alpha - 185\beta)|x| + \\ (-162\alpha + 114\beta), & (2) \\ \beta|x|^5 - 19\beta|x|^4 + 144\beta|x|^3 - \\ 544\beta|x|^2 + 1024\beta|x| - 768\beta, & 3 < |x| \leq 4 \\ 0, & |x| > 4 \end{cases}$$

gde su α i β parametri jezgra. Kada je vrednost parametra $\alpha = 0$, dobija se 1P interpolaciono jezgro petog reda. Na slici 2 prikazano je 2P interpolaciono jezgro petog reda za razne vrednosti parametara α i β .



Slika 2. 2P interpolaciono jezgro petog reda

III. ALGORITAM PROCENE OPTIMALNIH PARAMETARA

Određivanje optimalnih vrednosti parametara (α_{opt} , β_{opt}) interpolacionog jezgra r opisano je algoritmom koji se realizuje u sledećim koracima:

Ulaz: X - test signal, N - dužina signala, L - dužina jezgra, M - dužina bloka, α_{min} , $\Delta\alpha$, α_{max} , β_{min} , $\Delta\beta$, β_{max} ,

Izlaz: $\alpha_{opt}, \beta_{opt}$

FOR $\beta_{min} : \Delta\beta : \beta_{max}$

FOR $\alpha_{min} : \Delta\alpha : \alpha_{max}$,

Korak 1: Formiranje jezgra r (jednačina 2)

FOR $I = N-M+1$

Korak 2: Selektovanje I tog bloka

$$X_I = X(1:I+M-1)$$

Korak 3: Procena \hat{x}_I primenom konvolucije

$$\hat{x}_I = X[1:2:M] \otimes r$$

Korak 4: Greška procene

$$e(I) = X_I(L) - \hat{x}_I$$

END I

Korak 5: MSE 1P jezgra

$$MSE_{\alpha}(\alpha) = \frac{1}{N-M+1} \sum_{k=1}^{N-M+1} |e(k)|^2$$

END α

Korak 6: MSE 2P jezgra

$$MSE_{\alpha\beta}(\beta) = MSE_{\alpha}$$

END β

Korak 7: Optimalne vrednosti parametara 2P jezgra:

$$(\alpha_{opt}, \beta_{opt}) = \arg \min_{\alpha, \beta} (MSE_{\alpha\beta})$$

IV. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I ANALIZA

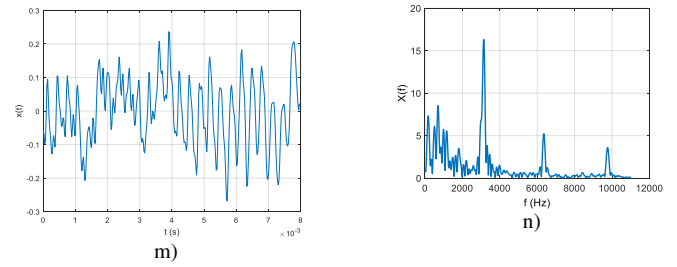
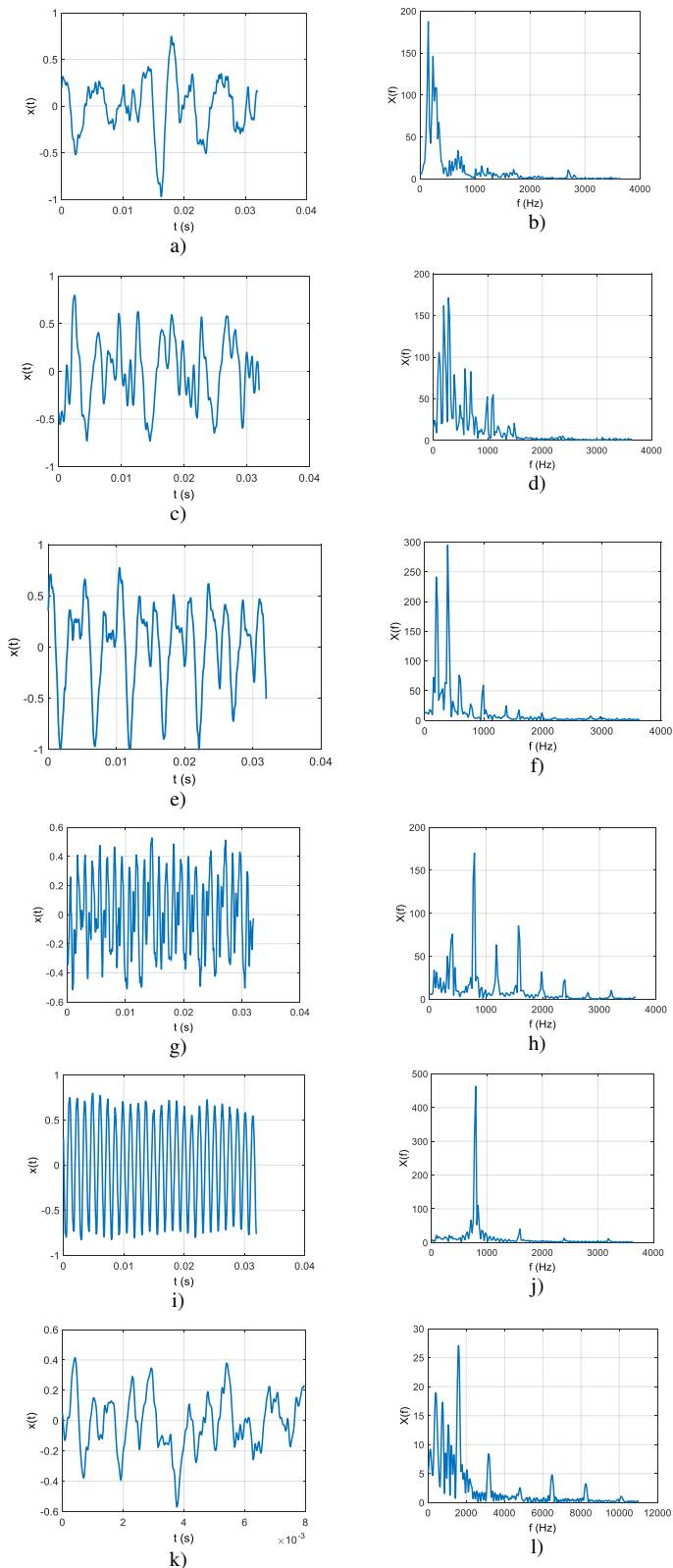
A. Eksperiment

Formirana je baza od Audio test signala. Nakon toga izvršena je interpolacija test signala primenom 1P i 2P interpolacionih jezgara petog reda. Primenom algoritma opisanog u sekciji III vrši se izbor optimalnih parametara i procena preciznosti interpolacije. Preciznost interpolacije je prikazana pomoću MSE. Rezultati su prikazani tabelarno. Nakon toga izvršena je komparativna analiza rezultata.

B. Baza

Bazu čine Audio test signali. Audio test signali dobijeni su snimanjem G tonova ($G1(f_0 = 49\text{Hz})$ - $G7(f_0 = 3135.96\text{Hz})$) Stainway B koncertnog klavira. Snimanje je realizovano u

laboratoriji za akustiku Iowa Univerziteta [7] sa $f_s = 44.1$ kHz i 16 bps. Audio test signali prikazani su na slici 3.



Slika 3. Test signali baze: a) ton G1 (t - domen) b) ton G1 (f - domen) c) G2 (t - domen) d) G2 (f - domen) e) G3 (t - domen) f) G3 (f - domen) g) G4 (t - domen) h) G4 (f - domen) i) G5 (t - domen) j) G5 (f - domen) k) G6 (t - domen) l) G6 (f - domen) m) G7 (t - domen) n) G7 (f - domen)

C. Rezultati

U procesu interpolacije kod test signala, vrednosti optimalnih parametara i minimalne vrednosti MSE za 1P i 2P konvoluciono jezgro petog reda prikazane su u Tbl. I i Tbl. II. Na slici 4. prikazana je zavisnost MSE od parametra 1P konvolucionog jezgra petog reda kod test signala (ton G3), dok je na slici 5. prikazana zavisnost MSE od parametara 2P konvolucionog jezgra za isti ton.

TABELA I. MINIMALNA SREDNJE KVADRATNA GREŠKA ZA 1P INTERPOLACIONO JEZGRO PETOG REDA

ton	α_{opt}	MSE_{α}
G1	-0.2500	$8.5132 \cdot 10^{-7}$
G2	-0.6900	$8.0338 \cdot 10^{-8}$
G3	0.3500	$1.2904 \cdot 10^{-6}$
G4	0.1500	$1.1485 \cdot 10^{-6}$
G5	0.1500	$1.0576 \cdot 10^{-6}$
G6	0.1500	$5.3607 \cdot 10^{-6}$
G7	0.1500	$2.8782 \cdot 10^{-6}$
	$\overline{\alpha_{opt}}$	$\overline{MSE_{\alpha}}$
	0.0014	$1.8096 \cdot 10^{-6}$

TABELA II. MINIMALNA SREDNJE KVADRATNA GREŠKA ZA 2P INTERPOLACIONO JEZGRO PETOG REDA

Ton	α_{opt}	β_{opt}	$MSE_{\alpha\beta}$
G1	0.0500	0.0500	$2.2102 \cdot 10^{-8}$
G2	0.1000	0.0400	$9.0619 \cdot 10^{-8}$
G3	0.1500	0.1000	$1.8783 \cdot 10^{-7}$
G4	0.1500	0.0800	$7.9518 \cdot 10^{-7}$
G5	0.1000	0.0500	$1.0439 \cdot 10^{-6}$
G6	0.0500	0.0400	$4.7716 \cdot 10^{-6}$
G7	0.1000	0.0400	$2.3660 \cdot 10^{-6}$
	$\overline{\alpha_{opt}}$	$\overline{\beta_{opt}}$	$\overline{MSE_{\alpha\beta}}$
	0.1	0.0571	$1.3253 \cdot 10^{-6}$

V. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena optimizacija parametara 2P interpolacionog jezgra petog reda. U cilju analize efikasnosti jezgra izvršena je interpolacija Audio test signala (tonovi G1-G7) primenom 2P i 1P jezgra petog reda. Za svaki ton određena je optimalna vrednost parametara jezgra. Srednja vrednost eksperimentalno dobijenih parametara je $\overline{\alpha_{opt}} = 0.1$ i $\overline{\beta_{opt}} = 0.0571$. Na osnovu rezultata zaključuje se da je greška procene 2P jezgrom 1.3654 puta manja u odnosu na 1P jezgro. Prema tome, kod interpolacije audio signala, saglasno očekivanjima, na osnovu dobijenih rezultata može se verifikovati veća preciznost interpolacije primenom 2P interpolacionog jezgra petog reda.

LITERATURA

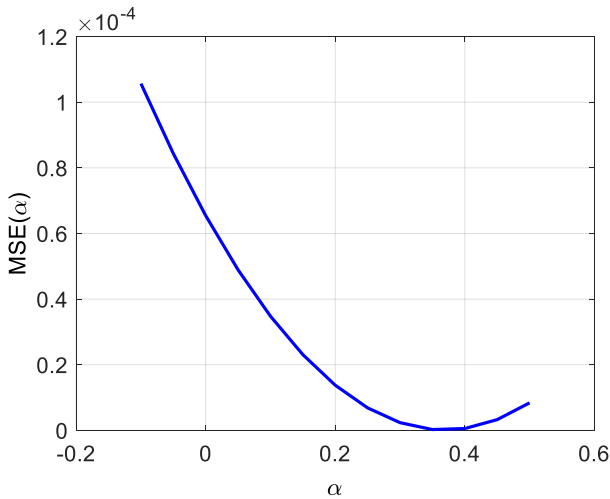
- [1] H.S. Pang, S.J. Baek, K.M. Sung, "Improved Fundamental Frequency Estimation Using Parametric Cubic Convolution", IEICE Trans. Fundamentals, vol. E83-A, no. 12, pp. 2747-2750, Dec. 2000.
- [2] R. G. Keys, "Cubic convolution interpolation for digital image processing", IEEE Trans. Acoust. Speech, & Signal Processing, vol. ASSP-29, pp. 1153-1160, Dec. 1981.
- [3] E. Mejerling, K. Zuiderveld, M. Viergever, "Image Reconstruction by Convolution with Simetrical Piecewise n-th-Order Polynomial Kernels", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 8, no. 2, pp. 192-201, Feb. 1999.
- [4] Z. Milivojević, N. Savić, D. Brodić, P. Rajković, "Optimizacija parametara Kejsovog dvoparametarskog konvolucionog jezgra u spektralnom domenu", XV Internacional Scientific-Professional Symposium INFOTEH-Jahorina 2016.
- [5] Z. Milivojević, N. Savić, D. Brodić, "Three-Parametric Cubic Convolution Kernel For Estimating The Fundamental Frequency Of The Speech Signal", Computing and Informatics, vol. 36, pp. 449-469, 2017
- [6] N. Savić, Z. Milivojević, "Optimization of the 3P Keys kernel parameters for interpolacion of audio signals", International Scientific Conference UNITECH, Session: Communication Engineering And Technologies, Gabrovo, Bulgaria, 20 - 21 November 2020.
- [7] <http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html>
- [8] N. Savić, Z. Milivojević, B. Prlinčević, "Development of the 2P fifth-degree interpolation convolutional kernel", International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJRAE), 8(11), 306-311, 2021.

ABSTRACT

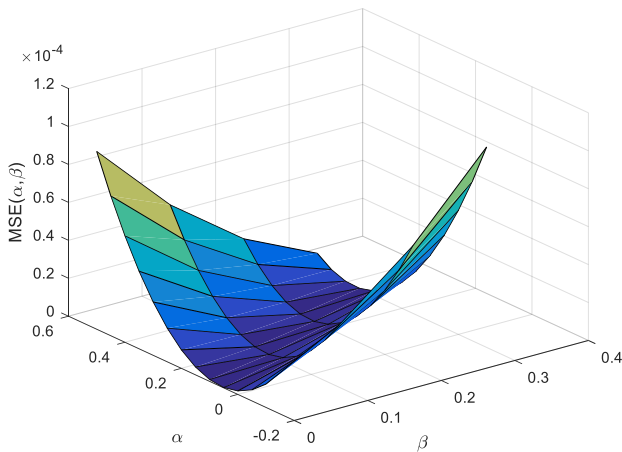
The first part of the paper describes one-parameter (1P) and two-parameter (2P) fifth-degree interpolation kernel. An algorithm for determining the optimal parameters of the 2P kernel is described. The second part of the paper describes an experiment in which the accuracy of interpolation of these kernels on audio signals of the test base was tested. The accuracy of the interpolation was determined using the mean square error (MSE). After that, a comparative analysis of the results was performed. The results are presented in tables and graphs.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF THE 2P FIFTH DEGREE INTERPOLATION KERNEL FOR INTERPOLATION OF AUDIO SIGNALS

Nataša Savić, Zoran Milivojević



Slika 4. MSE_{α} za ton G3



Slika 5. $MSE_{\alpha\beta}$ za ton G3

D. Analiza rezultata

Na osnovu rezultata prikazanih u tabelama I i II zaključuje se da je:

a) opseg optimalnih vrednosti parametra 1P jezgra petog reda izračunat za G tonove (Tbl. I) $\alpha_{opt} \in [-0.69 \div 0.35]$ i da je srednja vrednost $\overline{\alpha_{opt}} = 0.0014$

b) opseg optimalnih vrednosti parametara 2P jezgra petog reda izračunat za G tonove (Tbl. II) $\alpha_{opt} \in [0.05 \div 0.15]$ i $\beta_{opt} \in [0.04 \div 0.1]$ da je srednja vrednost $\overline{\alpha_{opt}} = 0.1$ i $\overline{\beta_{opt}} = 0.0571$.

c) srednja kvadratna greška kod 2P interpolacionog jezgra petog reda u odnosu na srednje kvadratnu grešku 1P jezgra $MSE_{\alpha} / MSE_{\alpha\beta} = 1.8096 \cdot 10^{-6} / 1.3253 \cdot 10^{-6} = 1.3654$ puta manja.

Sagledavajući komparativnu analizu rezultata srednje kvadratne greške za 1P i 2P interpolaciono jezgro petog reda, zaključuje se da je 2P jezgro preciznije u odnosu na 1P jezgro.