

## Ultragarsinio keitiklio sužadavimo signalo formavimas naudojant inversinį filtrą

A.Vaičiūnas, B.Mandersson\*

Kauno technologijos universitetas

\*Lundo technologijos institutas, Švedija

### Āvadas

Echovaizdø kokybø ultragarsinøje medicininøje diagnostikoje labai priklauso nuo ultragarsiniø medicininiø keitikliø ašinø skiriamosios gebos. Norint pasiekti aukštà keitikliø ašinà skiriamàjà gebà, reikia minimizuoti jø echoimpulso trukmø. Echoimpulso trukmø ypaè priklauso nuo keitiklio dempferio specifinio akustinio impedanso. Didinant dempferio specifinà akustinà impedansà, mažėja echoimpulso trukmø, taèiau kartu prarandamas ir keitiklio jautrumas. Literatūroje [1] yra pateikta konstrukciniø keitiklio parametrø kompleksinø optimizavimo, kaip vieno ið būdø ðiai problemai spræsti, metodika. Kitas ðios problemos sprendimo būdas - keitiklio sužadavimo signalo formavimas naudojant inversinà filtrà.

### Inversinis WLS filtras

Inversiniai filtrai, kurie dabniausiai naudojami ultragarsiniams signalams formuoti, yra apvelgti [2]. Ið straipsnyje pateiktø ðiø filtrø charakteristikø matyti, kad pagal daugumà vertinimo kriterijø ultragarsiniams signalams formuoti geriausiai tinka WLS filtras [3]. WLS filtro mažiausiojo kvadrato kokybø funkcija  $J_{WLS}$  ūpraðoma taip:

$$J_{WLS} = \sum_{t=T_1}^{T_2} \left[ \omega'(t)(g(t)*u(t) - s(t)) \right]^2 + \omega_s \sum_{t=T_1}^{T_2} u^2(t), \quad (1)$$

èia  $T_1 < t < T_2$  - nagrinøjamas laiko intervalas;  $\omega'(t)$  - svorinø funkcija;  $g(t)$  - keitiklio, dirbanèio ultragarso bangø siuntimo ir priëmimo repimu, impulsinø reakcija;  $u(t)$  - filtro impulsinø funkcija;  $s(t)$  - pavyzdinis signalas;  $\omega_s$  - parametras, nusakantis filtro àėjime esanèiø triukðmø lygà. Idealiai WLS filteriui keliami tokie reikalavimai:

1. Filtro iðėjime gautas signalas turi turėti ryðkø amplitudø maksimumà viename taðke, tarkime  $t=0$ ;

2. Iðėjimo signalo amplitudø ūp skiriamumo intervalo ribø  $|t| > T$  turi bŭti minimali;

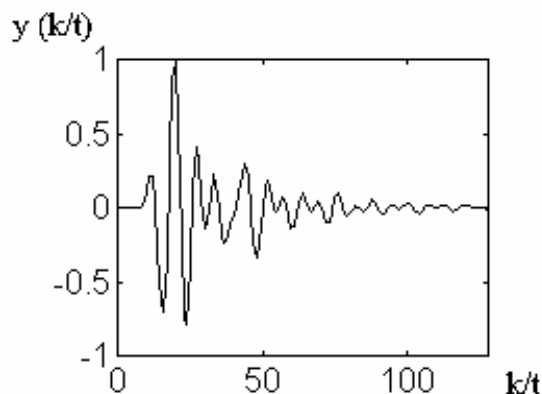
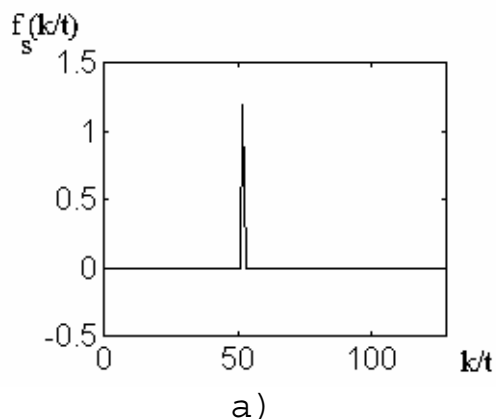
3. Filtro iðėjime esanèiø triukðmø lygis turi bŭti þemas.

Remiantis ðiais reikalavimais, WLS filteriui sudaroma svorinø funkcija  $\omega'(t)$ :

$$\omega'(t) = \begin{cases} 1 & |t| > T \\ a & t = 0 \\ 0 & |t| \leq T; t \neq 0 \end{cases}, \quad (2)$$

èia  $-T \leq t \leq T$  - skiriamumo intervalas;  $a$  - iðėjimo signalo amplitudø taðke  $t=0$ .

Atsipvelgus á tai, kad toliau bus nagrinøjama tiesinø, invariantiðka laiko atþvilgiu ultragarsinø sistema, inversinis WLS filtras gali bŭti naudojamas keitiklio sužadavimo impulsams formuoti realiuoju laiku.

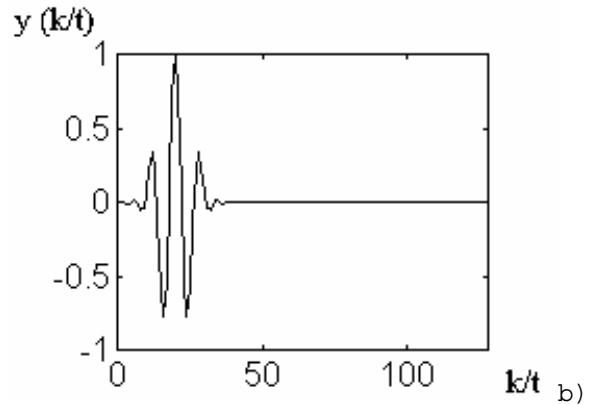


b)

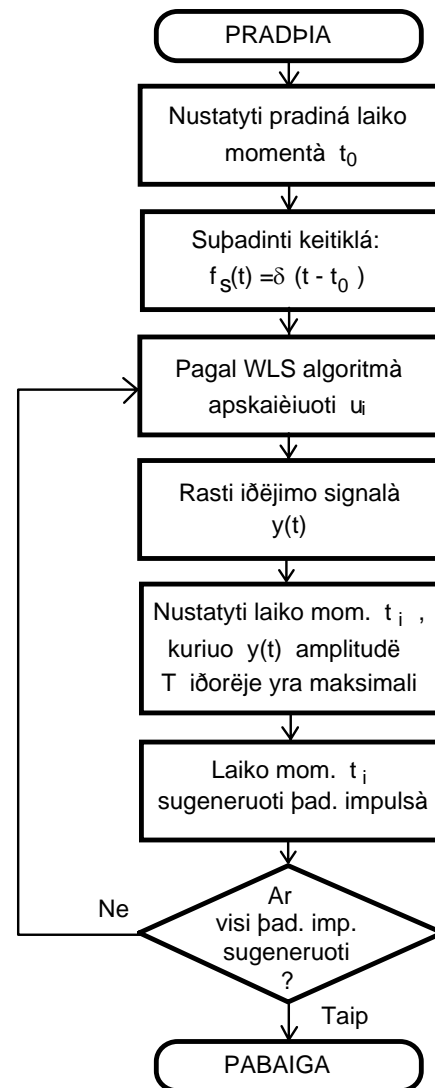
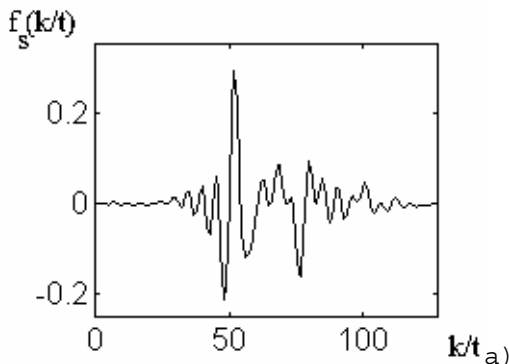
1 pav. Teorinio modeliavimo rezultatai, gauti keitiklį supadinus vienu  $\delta$  impulsu: a) supadinimo signalas; b) keitiklio reakcija

**Keitiklio supadinimo signalo formavimas**

Toliau pateikiami teorinio modeliavimo rezultatai, rodantys, kaip galima pagerinti silpnai dempferuoto ultragarsinio keitiklio ašinė skiriamąją gebą, kai keitiklio supadinimo signalui formuoti naudojamas inversinis WLS filtras bei jo aproksimacija - daugiainpulsis supadinimas. Šiam tikslui, naudojant ultragarsinio keitiklio virpesių modeliavimo ir optimizavimo programą paketą "ViTRA", buvo sumodeliuotas keitiklio su plokštelės formos pjezoelementu bei dempferiu, kurio banginė varža  $Z_D \approx 0$ , spinduliuojamas signalas (1 pav.). Iš keitiklio impulsinės charakteristikos, matyti, kad spinduliuojamas ultragarsinis signalas  $y(t)$  gali būti padalytas į dvi dalis: pagrindinę (pirmieji virpesių periodai) ir antrinę (likę virpesiai iki visiško signalo ugesimo). Naudingoji signalo dalis, apimanti didžiąją spinduliuojamos energijos dalį, yra pirmoji. Norint eliminuoti antrąją išėjimo signalo dalį, keitiklio supadinimo signalui formuoti naudotinas inversinis filtras. 2 paveiksle yra pateikti teorinio modeliavimo rezultatai, kai keitiklio supadinimo signalas buvo suformuotas naudojant inversinį WLS filtrą. Šiuo atveju antrinės signalo dalies virpesiai yra eliminuoti. Kita vertus, keitiklio supadinimo signalas  $f_s(t)$  yra



2 pav. Teorinio modeliavimo rezultatai, kai keitiklio supadinimo signalui formuoti naudojamas inversinis WLS filtras: a) supadinimo signalas; b) keitiklio reakcija

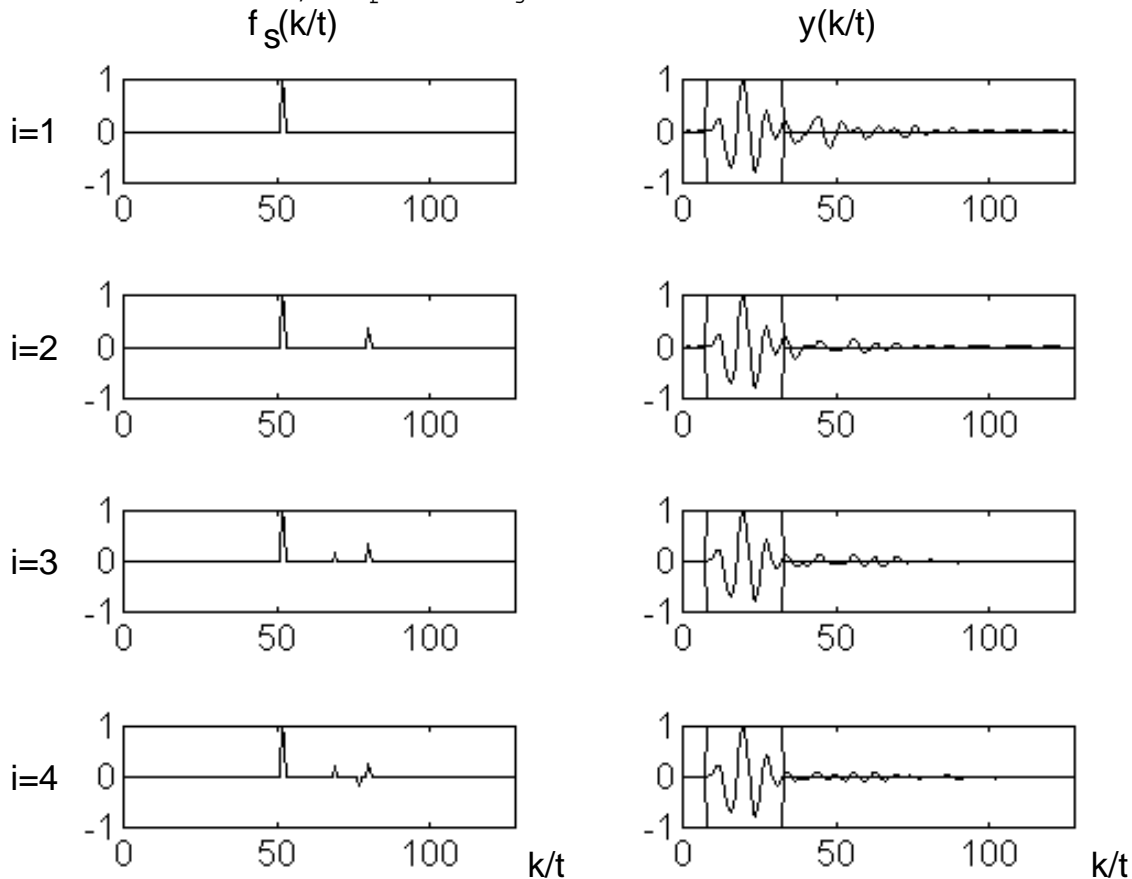


3 pav. Daugiainpulsio supadinimo metodo, kai naudojamas inversinis WLS filtras, algoritmas

sudėtingos formos ir praktikoje sunkiai ágyvendinamas.

Vienas iš supaprastintų būdų suformuoti keitiklio supadinimo signalą  $f_s(t)$  - ją aproksimuoti serija (tarkime, 5-10)  $\delta$  impulsų. Daugiaimpulsių supadinimo metodo, kai naudojamas inversinis WLS filtras, algoritminė schema yra pateikta 3 paveiksle. Laiko momentu  $t_0$  supadintus keitiklį pirmuoju  $\delta$  impulsu, pagal WLS algoritmą, esant duotoms filtro parametrų reikėms, apskaičiuojamas

koeficientas  $u_0$  ir suformuojama pagrindinė išėjimo signalo  $y(t)$  dalis. Toliau, nustatius antrinę  $y(t)$  dalį, ieškomas laiko momentas  $t_i$ , kuriuo šios signalo dalies virpesių amplitudė maksimali. Pagal WLS algoritmą apskaičiuojamus koeficientą  $u_i$ , šiuo laiko momentu sugeneruojamas naujas  $\delta$  impulsas.



4 pav. Daugiaimpulsių supadinimo rezultatai po pirmųjų keturių iteracinių proceso žingsnių

Iteracinis procesas tęsiasi tol, kol suformuojamas visas daugiaimpulsių keitiklio supadinimo signalas. 4 paveiksle yra pateikti teorinio modeliavimo rezultatai tuo atveju, kai keitiklis buvo supadintas serija, sudaryta iš keturių  $\delta$  impulsų. WLS filtro parametrų reikėms buvo:  $T=12; a=10; \omega_0=0,01$ . Ultragarso signalas, gautas keitiklio išėjime, turi tris aiškius pagrindinius virpesių periodus. Antrinės signalo dalies virpesiai, palyginti su vieno  $\delta$  impulso atveju, yra gerokai sumažėję (neviršija 10% pagrindinės signalo dalies amplitudės).

### Išvados

Iš pateiktų teorinio modeliavimo rezultatų matyti, kad keitiklio supadinimo signalui formuoti naudojant inversinį WLS filtrą galima sumažinti spinduliuojamo ultragarso signalo trukmę ir neprarasti keitiklio jautrumo. Pasiūlytoji keitiklio daugiaimpulsių supadinimo metodika leidžia supaprastinti keitiklio supadinimo signalą, suformuotą naudojant inversinį WLS filtrą ir aproksimuojant ją serija  $\delta$  impulsų. Teorinio tyrimo rezultatai gali būti panaudoti kuriant naujas echoimpulsines ultragarso vizualizacijos sistemas.

Literatūra

1. **Vaičiūnas A., Lukoševičius A., Alenkovičius H., Paunksnis A.** Linijinio skenavimo ultragarsinio keitiklio virpesių optimizavimas // Radioelektronika.- 1994.- T.30.- Nr.1.- P.113-122.
2. **Hayward G., Lewis J.E.** Comparison of some non-adaptive deconvolution techniques for resolution enhancement of ultrasonic data. Ultrasonics, vol.27, pp.155-164. 1989.
3. **Mandersson B., Salomonsson G.** Weighted least-squares pulse-shaping filters with application to ultrasonic signals. IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr., vol.36, No.2, pp.109-113. 1989.

A.Vaičiūnas, B.Mandersson

**Preshaping of excitation signal of ultrasonic transducer by using inverse filter**

Summary

The quality of a medical ultrasonic image is highly dependent on the axial resolution of the transducer. In many cases when weakly damped ultrasonic transducers are used the duration of an ultrasonic pulse is too long to ensure the high axial resolution of the transducer. The duration of the ultrasonic pulse can be reduced if the transducer is excited with a signal, preshaped using the inverse filter. However, in many cases, with this method an excitation signal becomes very sophisticated. A method to preshape the excitation signal with sequences of delayed pulses is proposed. The results of theoretical calculations using an excitation of ultrasonic transducer with the unit pulse, the inverse WLS filter as well as the delayed pulses are presented.