

RAZDEŠENE ČIRP I FH VIŠENIVOSKE SEKVENCE ZA RADARE I SONARE

Igor S. Simić, VP - 4522 Batajnica, VJ
 Aleksa J. Zejak, Institut ~~UPTA~~, B. Lenjina 165B, 11070 N. Beograd

Sadržaj - U ovom radu razmatrano je projektovanje višenivoskih sekvenci na bazi linearnog čirpa (chirp) i FH (Frequency Hopping) ulasnih oblika. Drugim rečima, analizirana je mogućnost da se, polazeći od odbiraka radarskog ili sonarskog signala sa unutarimpulsnom promenom frekvencije, dobije takav par sekvenci u predaji i prijemu da odziv kompresionog filtera ima što niže bočne snopove. Sekvenca u prijemu interpretira se kao vektor koeficijenata razdešenog kompresionog filtera. DIRLS (Doppler optimizirani iterativni Reweighted Least Square) algoritam je primenjen za višestruku uzastopnu optimizaciju koeficijenata prijemnog razdešenog filtera i predajne višenivoske sekvence.

I. UVOD

U pokušaju da razreše problem potiskivanja bočnih snopova radarskih signala Abasi i Gani [1] predložili su metod višestrukog LS filtriranja. Ponavljajući postupak kojim se koeficijenti dobijeni LS optimizacijom posmatraju kao sekvenca na ulazu u sledeći krug optimizacije, dobijen je niz sekvenci sa sve nižim bočnim snopovima autokorelacione funkcije. Koeficijenti filtera dobijeni na taj način predstavljaju višenivoske sekvence.

Drugi pristup projektovanju višenivoskih sekvenci sa ciljem što boljeg potiskivanja bočnih snopova je projektovanje para sekvenci - koeficijenti prijemnog kompresionog filtera. U radu [2] za optimizaciju koeficijenata korišćen je minimakсни kriterijum (MX). Koeficijenti filtera dobijeni MX kriterijumom davali su sekvence sa malim bočnim snopovima kroskorelacione funkcije. Kao u prethodnom slučaju niz sekvenci formiran je višestrukom optimizacijom.

U ovom radu projektovan je par višenivoska predajna sekvenca i koeficijenti prijemnog filtera polazeći od odbiraka linearnog čirpa i FH signala. U osnovi postupka optimizacije jeste DIRLS algoritam [3]. U sledećoj sekciji biće predstavljena procedura višestrukog preslikavanja koeficijenata filtera dobijenih DIRLS optimizacijom. U sekciji III prikazani su rezultati višestruke optimizacije dobijeni polazeći od FH signala i čirpa, a u sekciji IV dati su zaključci i pravci daljeg istraživanja.

II. VIŠESTRUKO PRESLIKAVANJE KOEFICIJENATA DIRLS FILTERA

Neka je vektor sekvence s definisan sa

$$s = [s_1, s_2, s_3, \dots, s_N]. \quad (1)$$

Procedura generisanja višenivoskih sekvenci može se opisati kao preslikavanje N -dimenzionog vektora sekvence s koji je jednak koeficijentima u nulom koraku

$$x_0 = s = [x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0N}]. \quad (2)$$

u sekvencu koeficijenata filtera

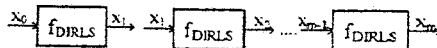
$$x_1 = [x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1N}]. \quad (3)$$

Postupak se ponavlja m puta, primenom DIRLS algoritma, uzimajući izlaznu sekvencu kao ulaznu u svakoj sledećoj iteraciji (Sl. 1).

Tako dobijeni niz sekvenci može se predstaviti

$$x_{DIRLS} = [x_1, x_2, \dots, x_{m-1}, x_m]. \quad (4)$$

Dobijeni par sekvenci x_{m-1} i x_m - sekvenci koeficijenata kompresionog filtera imaju niske bočne snopove što je i bio cilj ove optimizacije.



Sl. 1 Višestruko DIRLS preslikavanje

DIRLS optimizaciona procedura u zadatom Doplerovom opsegu može se definisati kao procedura formiranja željenog oblika funkcije neodređenosti.

Željena funkcija neodređenosti odgovara odzivu filtera,

$$\Delta_e = [d_{f_1}, \dots, d_{f_1}, \dots, d_{f_p}]^T, \quad (5)$$

gde je d_{f_j} željeni odziv filtera za pojedinačni Doplerov pomak frekvencije, a P broj Doplerovih preseka.

Takođe, blok matrica odgovara matrici signala.

$$S_e = [S_{f_1}, \dots, S_{f_1}, \dots, S_{f_p}]^T, \quad (6)$$

gde je S_{f_j} matrica signala za pojedinačni Doplerov pomak frekvencije definisana matricom

$$S_A = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ s_2 & s_1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ s_3 & s_{2-1} & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & s_M & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$(M \times (M-1)) \times M$

gde je M dužina filtera ($M \geq N$).

DIRLS algoritam može se opisati na sledeći način:

$$\hat{x}(n) = [S_{\Phi}^H(0)W_{\Phi}(n-1)S_{\Phi}(0)]^{-1} S_{\Phi}^H(0)W_{\Phi}(n-1)\Delta_{\Phi}(n-1), \quad (8)$$

gde su \hat{x} procenjeni koeficijenti filtera, $[\cdot]^H$ označava hermitsku transformaciju.

U gornjem izrazu $W(n)$ je blok matrica, sastavljena od dijagonalnih $R(n) = \text{diag}(r(n))$ matrica, gde je $r(n)$ težinski vektor. Funkcija prozora koja je uključena u matricu W , može se posmatrati kao korektivni faktor LS algoritma.

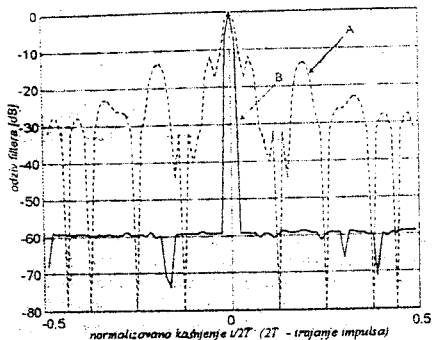
Za $P=1$ u (5) i (6), tj za nulti Doplerov pomak, DIRLS algoritam (8) prerasta u IRLS (iterativni ponderisani LS algoritam).

III. REZULTATI

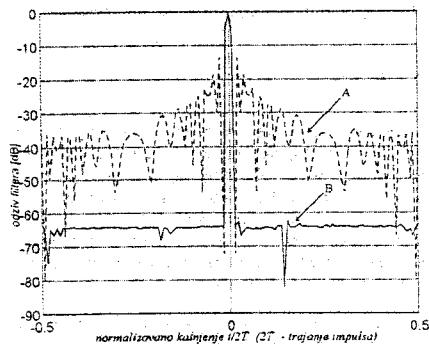
Da bismo ispitati metod modelovanjem testirano je više FH i čirp signala koji su upotrebljeni kao polazne sekvence x_0 . Primenom prethodno opisane procedure, a polazeći od sekvence odabira signala sa unutarimpulsnim frekvencijskim skakanjem (FH) [4], gde je raspored frekvencija unutar impulsa {3,4,2,1} formiran Kostas-Velčovićim metodom [5], dobijeni su rezultati kao na slici 2. Odziv prilagođenog filtera na FH signal prikazan je krivom A na slici 2. Nivo bočnih snopova je -12.2 dB. Ako se primeni višestruka optimizacija dobijeni par u 100 iteracija DIRLS optimizacije daje nivo bočnih snopova na izlazu razdešenog kompresionog filtera -58.9 dB (kriva B na slici 2). Pri tome degradacija detekcionih karakteristika izražena kroz gubitak odnosa signal/šum iznosi 3.7 dB, a energetska efikasnost koja je definisana

$$\text{efficiency}(x) = \frac{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_{ik} x_{ik}^*}{\max(x_{ik} x_{ik}^*)} \quad (9)$$

iznosi 0.22.

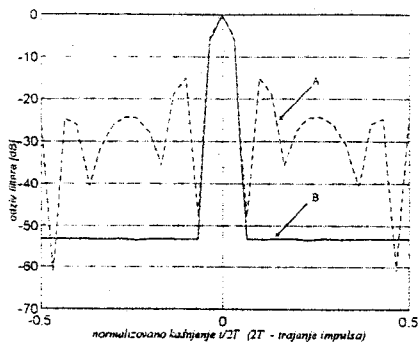


Sl. 2 Normalizovani odzivi filtera: prilagođenog gde je maks. nivo bočnih snopova (b/s) -12.2 dB (A), i višenivoskog razdešenog gde je maks. nivo b/s -58.9 dB, uz gubitak odnosa signal/šum=3.7 dB, a energetska efikasnost=0.22 (B) za Kostas-Velčoviću sekvencu {3,4,2,1} i za nulti Doplerov pomak.



Sl. 3 Normalizovani odzivi filtera: prilagođenog gde je maks. nivo bočnih snopova (b/s) -13.75 dB (A), i višenivoskog razdešenog gde je maks. nivo b/s -63.15 dB, uz gubitak odnosa signal/šum=1.3 dB, a energetska efikasnost = 0.59 (B) za čirp sa koeficijentom strmine $k=16$ i za nulti Doplerov pomak.

Slični rezultati u pogledu potiskivanja maksimalnih bočnih snopova postignuti su ako se za polaznu sekvencu x_0 uzmu odbirci signala linearnog čirpa (slika 3). Međutim, efikasnost ovako dobijenog para sekvenci je bolja i iznosi 0.59, a gubitak odnosa signal/šum je znatno manji i iznosi 1.29 dB.



Sl. 4 Normalizovani odzivi filtera: prilagođenog gde je maks. nivo bis -14.99 dB (A), i višenivoskog razdešenog gde je maks. nivo bočnih snopova (b/s) -53.87 dB, uz gubitak odnosa signal/šum=0.12 dB, a energetska efikasnost = 0.65 (B) za čirp sa koeficijentom strmine $k=4$ i za nulti Doplerov ponik.

Na slici 4. prikazani su rezultati višestruke DIRLS optimizacije, kada se kao polazna sekvenca izaberu odbirci signala linearnog čirpa (tabela 1) sa nešto manjim koeficijentom strmine $k=4$. Postignuto je da se nivo bočnih snopova, koji kod prilagođenog filtera iznosi -14.99 dB, potisne za 38.88 dB, a pri gubitaku odnosa signal/šum od samo 0.12 dB i energetske efikasnosti 0.65.

U tabeli 1 dati su: u prvom redu koeficijenti polazne uniformne sekvence - odbirci linearnog čirpa $k=4$; u drugom redu koeficijenti višenivoske predajne sekvence x_{m-1} , dobijeni u $m-1$ iteraciji ($m=100$) i u trećem redu koeficijenti višenivoske prijemne sekvence x_m - koeficijenti razdešenog prijemnog filtera.

koeficijenti polazne uniformne sekvence	1.00, 0.99+0.11i, 0.90+0.43i, 0.54+0.84i, -0.21+0.98i, -0.94+0.34i, -0.64-0.77i, 0.69-0.72i, 0.65+0.76i, -0.93+0.37i, 0.17-0.98i, 0.58+0.81i, -0.93-0.37i, 0.99+0.03i, -0.99+0.10i, 1.00
koeficijenti višenivoske predajne sekvence	0.10 - 0.04i, 0.33 - 0.24i, 0.53 - 0.60i, 0.50 - 0.86i, 0.20 - 0.83i, -0.46 - 0.49i, -0.73 + 0.36i, 0.26 + 0.78i, 0.75 - 0.34i, -0.57 - 0.59i, -0.20 + 0.64i, 0.75 - 0.41i, -0.92 + 0.40i, 0.73 - 0.33i, -0.37 + 0.17i, 0.10 - 0.04i
višenivoski koeficijenti razdešenog filtera u prijemu	0.12 - 0.15i, 0.31 - 0.46i, 0.48 - 0.67i, 0.60 - 0.78i, 0.36 - 0.93i, -0.48 - 0.64i, -0.75 + 0.44i, 0.39 + 0.81i, 0.76 - 0.47i, -0.65 - 0.57i, -0.32 + 0.73i, 0.93 - 0.36i, -0.94 + 0.28i, 0.71 - 0.42i, -0.40 + 0.38i, 0.15 - 0.15i

Tabela 1. Koeficijenti dobijeni višestrukom DIRLS optimizacijom polazeći od čirpa sa $k=4$.

IV. ZAKLJUČAK

Polazeći od odbiraka signala sa unutarimpulsnom promenom frekvencije, kao polazne sekvence u postupku višestrukog preslikavanja koeficijena filtera dobijenih DIRLS optimizacijom moguće je dobiti par primopredajnih sekvenci sa dobrim kroskorelacionim osobinama. Ako se kao početna sekvenca odabere linearni čirp, postižu se znatno bolji rezultati u pogledu energetske efikasnosti i manji gubici odnosa signal/šum, dok je veličina maksimalnih bočnih snopova potisnuta za približno istu vrednost.

U daljim istraživanjima težište će biti stavljeno na generisanje doplerovski optimizovanih višenivoskih sekvenci. Takođe treba analizirati primenu predloženog postupka na više tipova sekvenci.

LITERATURA

- [1] Z. A. Abbasi, F. Ghani, "Multilevel sequences with good autocorrelation properties", Electron. Lett. 1988, 24, pp. 393-394
- [2] R. B. Rapajić, A. J. Zejak, "Low sidelobe multilevel sequences by minimax filter", Electronics Letters, Vol. 25, No-16, August 1989, pp. 1090-1091.
- [3] A. J. Zejak, E. Zentner, P. B. Rapajić, "Doppler optimized mismatched filters", Electronics Letters, Vol 21, No. 7, 1991, pp. 558-560.
- [4] A. J. Zejak, I.S.Simić, M.L.Dukić, "Frequency Hopping Mismatched Filters for Radar and Sonar Applications", ISSSTA '96 Mainz, pp.877-881.
- [5] J. P. Costas, "A study of a Class of Detection Waveforms Having Nearly Ideal Range-Doppler Ambiguity Properties", Proc. of the IEEE, Vol. 72, No.8., pp. 996-1009, August 1984.

Abstract - In this paper we consider multilevel sequences design starting with chirp and FH waveforms. In other words we analyse possibility to obtain transmitter-receiver sequences pair that have as low sidelobes level of the compression filter response. The DIRLS (Doppler optimised Iterative Reweighted Least Square) algorithm is applied on the iterative optimisation of the receiver mismatched coefficients as well as the multilevel transmitter sequence.

Mismatched Chirp and FH Multilevel Sequences for Radars and Sonars

I.S.Simić, A.J.Zejak