

## DOPLEROVSKI OPTIMIZOVANO POTISKIVANJE BOČNIH SNOPOVA KOMPRESIONOG FILTRA

Zejak, J. Aleksa<sup>1</sup>, Zatkalik Jovan<sup>2</sup>, Dukić, L. Miroslav<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vojnotehnički institut VI, Katanićeva 15, 11000 - Beograd

<sup>2</sup>Elektrotehnički fakultet, Bulevar Revolucije 73, 11000 - Beograd

### I UVOD

U ovom radu će u sažetoj formi biti prikazani rezultati obimnih istraživanja u oblasti razdešenih filtara koji se primenjuju u radarima sa kompresijom impulsa [1,2,3].

Radari sa složenim, tj. kodovanim, signalom već su u znatnoj meri potisnuli radare sa jednostavnom impulsnom modulacijom, jer raspolazu mogućnošću realizacije principa kompresije impulsa.

Problem koji ograničava korišćenje kompresije impulsa u radarima jeste postojanje bočnih snopova radarskog signala (u vremenskom domenu) na izlazu kompresionog (tj. prilagođenog) filtra. Ovi bočni snopovi mogu da maskiraju slabije odjke od bliskih ciljeva. Ta pojava se naziva i *sopstvenim klaterom*.

Za potiskivanje bočnih snopova mogu se primeniti u osnovi dva kriterijuma: potiskivanje na osnovu srednje vrednosti kvadrata bočnih snopova i potiskivanje maksimalnih bočnih snopova [5,6].

U radarskoj tehnici obova su kriterijuma interesantna, ali je ovaj drugi značajniji, zbog smanjenja verovatnoće lažnog alarma izazvanog maksimumima bočnih snopova. Pozna u postupci iz literature za razdešene filtre zasniavaju se na minimaks kriterijumu, ali su primenljivi samo na realne kodove, a ne i na polifazne kodove, veoma značajne u radarskoj tehnici. *Optimizacija razdešenih filtara u sadašnjim radovima ostvarivana je samo za nulti Doplerov pomak.*

### II ALGORITAM

U istraživanju postavljen je osnovni cilj [1]:

*Kompresioni filtar sa što nižim bočnim snopovima u prisustvu Doplerovog pomaka frekvencije.*

*Postignuti su sledeći rezultati:*

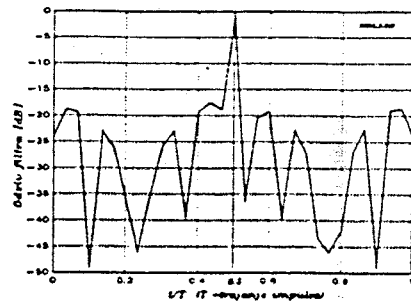
1. Dat je novi algoritam za optimizaciju razdešenih filtara - DIRLS (engl. Dopler optimized Iterative Reweighted Least Square). Algoritam je formulisan relacijom:

$$\hat{x}(n) = (S_{*}^{H}(0)W_{*}(n-1)S_{*}(0))^{-1}$$

$$S_{*}^{H}(0)W_{*}(n-1)\Delta_{*}(n-1)$$

Gde je  $S_{*}$  blok-matrica signala,  $W_{*}$  blok-matrica težinskih koeficijenata,  $\Delta_{*}$  je željeni oblik (odsečka) funkcije neodređenosti. U standardnom slučaju željenu funkciju neodređenosti postavljamo kao idealnu "igličastu" i nepromenljivu.

2. Pokazano je da se DIRLS algoritmom postiže optimizacija razdešenih filtara za sve vrste kompleksnih sekvenci što, kod do sada poznatih algoritama, nije bio slučaj.



Slika 1: Signal na izlazu prilagođenog filtra (MF) sekvence P3 duzine 16 za Doplerov pomak  $f_d = 0.05$ . Maksimalni bočni snop = -17.462dB; srednjekvadratni bočni snop = -37.611dB;

3. Tako dobijeni DIRLS filtri optimalno potiskuju maksimalne bočne snopove po minimaksnom kriterijumu, te stoga spadaju u MINIMAX filtre iako se kao inicijalni koristi kriterijum najmanje kvadratne greške (LS).
4. DIRLS algoritmom, kao specijalni slučajevi, mogu se dobiti sledeći razdešeni filtri:
  - IRLS minimaksni filtri za potiskivanje maksimalnih bočnih snopova, optimizovani za nulti Doplerov pomak. Ovo je značajno za primene kada je Doplerov pomak blizak nuli. U tom slučaju postiže se još bolje potiskivanje maksimalnih bočnih snopova.
  - LS filtri za potiskivanje srednjekvadratnog nivoa bočnih snopova, optimizovani za nulti Doplerov pomak.
  - DLS filtri za potiskivanje srednjekvadratnog nivoa bočnih snopova, optimizovani za definisani Doplerov opseg.
5. Formulirana je varijanta DIRLS algoritma za razdešene filtre sa periodičnim sekvencama koji može imati široku primenu u komunikacionim sistemima s proširenim spektrom.

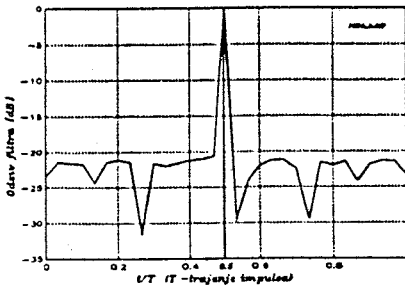
6. DIRLS algoritam se može koristiti i za projektovanje prilagodjenih filtara. Uspješno je korišćen za konstruisanje višenivovskih [7] i periodičnih sekvenci [1].
7. Računarski model razvijen za potrebe istraživanja predstavlja efikasan alat za projektovanje i analizu kompresionih (razdešenih i prilagodjenih) filtara. Ovaj model je modularnog tipa i lako se može dogradivati i proširivati.

### III REZULTATI

Pomoću računarskog modela izvršena je analiza primenljivosti predloženog algoritma na najvažnije poznate fazno kodovane signale za radarske sisteme: kao što su binarne Barkerove sekvence, polifazne Frankove, P1, P2, P3, P4 i druge sekvence.

Dobijeni rezultati upoređeni su s rezultatima koji se dobijaju prilagodjenim filterima i drugom, do sada u literaturi poznatim, razdešenim filterima. Budući da se do sada poznati algoritmi odnose na nulti Doplerov pomak frekvencije pokazalo se da za poznata rešenja novi algoritam daje istovetne ili bolje rezultate pri nultom pomaku a znatno bolje kada je Doplerov pomak različit od nule. Osim toga DIRLS algoritam je primenljiv na sve vrste sekvenci (binarne i polifazne) što nije slučaj sa ostalim algoritimima koji se ponkad odnose samo na konkretnu sekvencu.

Ovde ćemo, za ilustraciju, dati nekoliko rezultata koji se odnose na polifaznu sekvencu "P3" dužine 16. Na slikama 1 i 2 prikazani su signali na izlazu analiziranog filtra (prilagodjenog i DIRLS) za Doplerov pomak  $f_d = 0.05$ . Potiskivanje maksimalnih bočnih snopova DIRLS filterom (3.191 dB) veoma je značajno. *Primena DIRLS filtra u ovom slučaju veoma je korisna.*



Slika 2: Signal na izlazu DIRLS filtra sekvence P3 dužine 16 za Doplerov pomak  $f_d = 0.05$ . Maksimalni bočni snop = -20.653 dB; srednjokvadratni bočni snop -37.014 dB; Gubitak odnosa signal/šum = 0.495 dB. potiskivanje = 3.191 dB.

### IV ZAKLJUČAK

Prikazan je novi algoritam za projektovanje razdešenih filtara. Polazeći od kriterijuma najmanje srednjekvadratne greške (LS) postupkom ciklične iteracije dobijen je filter koji zadovoljava MINIMAX kriterijum (kriterijum minimalne maksimalne greške), što je veoma

značajno za primenu u radarima, sonarima i sličnim primenama. Takav algoritam je nazvan IRLS algoritmom a njegovim pooptiskivanjem sa potiskivanjem bočnih snopova korelacione funkcije na potiskivanje bočnih snopova (odeška) funkcije neodređenosti - dobijen je DIRLS algoritam. U poređenju sa drugim, do sada poznatim algoritimima, DIRLS algoritam ima sledeće prednosti:

1. Dobija se MINIMAX filter za kompleksne sekvence koji do sada nije postojao, a za realne sekvence postižu se istovetni rezultati kao sa najboljim MINIMAX filterima specijalizovanim samo za realne sekvence;
2. Optimizovan je za odabrani Doplerov opseg, tako da veoma uspešno potiskuje bočne snopove signala reflektovanih od pokretnih ciljeva.

### LITERATURA

- [1] A.J. Zejak: "Razdešeni filteri u radarima sa fazno kodovanim signalom optimizovani po Doplerovom pomaku frekvencije", doktorska disertacija, Elektronski tehnički fakultet u Beogradu, 1993.
- [2] A.J. Zejak, E. Zentner, P.B. Rapajić: "Doppler optimized mismatched filters", *Electronics letters*, Vol 21, 1991, No. 7, 558-560.
- [3] A. J. Zejak, E. Zentner: "New method for Doppler optimization mismatched filters in phase-coded pulse compression radars", *International Conference on Digital Signal Processing*, Florence, Italy, September 1991.
- [4] M. H. Ackroyd and F. Ghani, "Optimum mismatched filter for sidelobe suppression", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, Vol. AES-9, No. 2, pp. 214-218, Mar. 1973.
- [5] P. M. Vuzman, "Cyfrovaja fil'tracija fazomanipulirovanyh signalov minimizirujus'c'aja uroeva' bokovyh lepestkov funkcij neopredelennosti v polose doplerovskih častot", *Zarybez'naja elektronika*, tom 33, No. 5, pp. 961-968, 1988.
- [6] H. Rohling, "Mismatched filter design for pulse compression", in *Proceedings of the IEEE International Radar Conference*, pp. 253-257, Arlington, Virginia, May 1990.
- [7] P.B. Rapajić, A.J. Zejak, "Low sidelobe multilevel sequences by minimax filter", *Electronics letters*, Vol. 25, No-16, pp. 1090-1091, August 1989.

Abstract: In this paper main goal is defined: the compression filter with low level side lobes as much as possible in presence of Doppler shift frequencies. The new algorithm for optimisation of mismatched filters is realized. The algorithm is named DIRLS (Doppler optimized Iterative Re weighted Least Square). DIRLS algorithm is implemented also in the communication systems with spread spectrum. Essentially in this way, the algorithm variant is formulated for the mismatched filters with periodic sequences, and which can have a wide implementation.

DOPPLER OPTIMIZED SIDELOBE SUPPRESSION  
OF COMPRESSION FILTERS  
A. J. Zejak, J. Zaitkaić, M. L. Dukić