

## MULTITONSKI RADARI I SONARI PROŠIRENOG SPEKTRA SA RAZDEŠENIM KOMPLEMENTARNIM SEKVENCAMA

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

**Sadržaj** - U ovom radu predložen je koncept MC-SS (Multi Carrier - Spread Spectrum) radara ili sonara koji omogućava uspešnu upotrebu komplementarnih sekvenci. Idealna autokorelaciona svojstva ovih sekvenci degradirana su za veće brzine kretanja cilja. Da bi se poboljšala autokorelaciona funkcija neodređenosti, DIRLS (Doppler optimized Iterative Reweighted Least Square) algoritam je primenjen na oblikovanje željenog odziva filtera.

### I. UVOD

Komplementarne sekvence imaju osobinu da kada se njihove autokorelacione funkcije sabere bočni snopovi se ponište, formirajući željene korelacione karakteristike. Veliki broj radova [1,2,3] bavi se konstrukcijom komplementarnih sekvenci. Međutim za nenulte Doplerove pomake nastaju znatni bočni snopovi združene (kompozitne) autokorelacione funkcije koji obesmišljavaju primenu komplementarnih sekvenci u radarima. Stoga većina autora koji se bave primenom komplementarnih sekvenci predlaže njihovu indirektnu primenu i takve konfiguracije nazivaju "sub-komplementarne", "super-komplementarne", "grupne-komplementarne" i sl. [4,5,6].

U ovom radu predlaže se primena komplementarnih sekvenci po konceptu MC-SS. Opisan je koncept takvog radara i analizirane osnovne karakteristike signala. Za potiskivanje bočnih snopova predložen je Doplerovski optimizovani razdešeni filter.

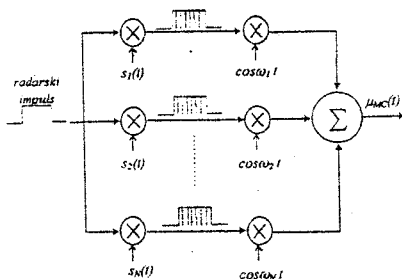
### II. KONCEPT MC-SS RADARA

U radarskom ili sonarskom MC-SS sistemu kompresija impulsa vrši se u  $N$  paralelnih grana upotrebom skupa od  $N$  komplementarnih sekvenci. Unutar svake grane impuls se moduliše različitim podnosiocem, kao što je na slici 1 prikazano. Emitovani signal  $\mu_{MC}(t)$  sastoji se od sume signala iz  $N$  paralelnih grana. Razmak frekvencija podnosioca je takav da zadovoljava uslov ortogonalnosti, tj.

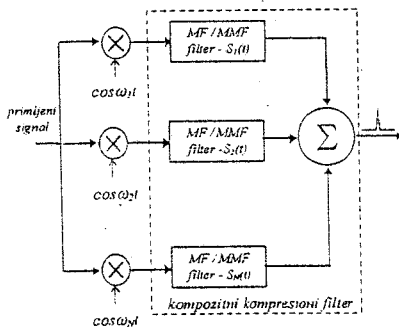
$$\Delta f = \frac{1}{T} = \frac{M}{T} \quad (1)$$

gde je  $T$  trajanje impulsa, a  $M$  dužina sekvence.

MC-SS radarski ili sonarski prijemnik sastoji se od  $N$  koherentnih prijemnika u paralelnim granama, a svaki je prilagođen na jednu od  $N$  komplementarnih sekvenci. Za nulu Doplerov pomak sekvence se nakon prolaska kroz individualne prilagodene filtere suniraju, što dovodi do poništavanja bočnih snopova.



Sl. 1 Šema MC-SS radarskog ili sonarskog predajnika



Sl. 2 Šema MC-SS radarskog ili sonarskog prijemnika

Međutim, za veće brzine kretanja cilja, sumiranje ne dovodi do poništavanja bočnih snopova. Njihov nivo povećanjem brzine kretanja cilja veoma brzo raste. Kako bi se posle sumiranja bočni snopovi individualnih sekvenci poništili, projektovani su odgovarajući razdešeni filteri. Odziv svakog pojedinačnog razdešenog filtera za veći opseg brzina kretanja cilja treba da bude što približniji signalu na izlazu prilagođenog filtera za nulu Doplerov pomak. Razdešeni filteri su projektovani primenom Doplerovski optimizovanog IRLS algoritma [9].

### III. DOPLEROVSKI OPTIMIZOVAN IRLS ALGORITAM

Optimizaciona procedura za razdešeni filter u zadatom Doplerovom opsegu može se definisati kao procedura formiranja pogodnog oblika funkcije neodređenosti. Za razliku od standardnih filtera, gde je predmet optimizacije oblikovanje autokorelacione funkcije, kod ovog tipa filtera predmet optimizacije je funkcija neodređenosti ili, tačnije, njen segment.

Željena funkcija neodređenosti odgovara odzivu filtera.

$$\Delta_{\Phi} = (d_{f_1, \dots, d_{f_1, \dots, d_{f_p}}})^T, \quad (2)$$

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

Takode blok matrica odgovara matrici signala,

$$S_{\Phi} = (S_{f_1, \dots, S_{f_1, \dots, S_{f_p}}})^T, \quad (3)$$

gde je  $S_{f_i}$  matrica signala za pojedinačni Doplerov pomak frekvencije.

DIRLS algoritam može se opisati na sledeći način:

$$\hat{x}(n) = [S_{\Phi}^H(0)W_{\Phi}(n-1)S_{\Phi}(0)]^{-1} \cdot S_{\Phi}^H(0)W_{\Phi}(n-1)\Delta_{\Phi}(n-1), \quad (4)$$

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 može se posmatrati kao korektivni faktor LS algoritma.

Analiza primene predloženog algoritma izvršena je za najznačajnije sekvence za radare sa unutarimpulsnom faznom modulacijom, kao što su Frankove polifazne, P1, P2, P3, P4, Barkerove binarne sekvence.

U [11] predložili smo mogućnost potiskivanja bočnih snopova (sopstvenog klatera) u radarskim i sonarskim sistemima sa unutarimpulsnim frekvencijskim skakanjem. DIRLS algoritam je adaptivan za oblikovanje funkcije neodređenosti sekvenci za frekvencijsko skakanje.

### IV. REZULTATI PRIMENE DIRLS U MC-SS RADARIMA ILI SONARIMA

DIRLS algoritam (4) je primenjen na oblikovanje odziva razdešenog filtera. Osnovna razlika u odnosu na primenu ovog algoritma kod potiskivanja bočnih snopova DS ili FH sekvenci jeste vrednost željenog odziva filtera -  $\Delta_{\Phi}$ . U slučaju komplementarnih sekvenci potiskivanje bočnih snopova u svakoj od grana MC prijemnika posle sumiranja daje lošije rezultate od primene DIRLS algoritma na oblikovanje odziva razdešenog filtera i to na taj način da bude što približniji odzivu prilagođenog filtera za nulti Doplerov pomak. Drugim rečima, vrednost željenog

odziva filtera -  $\Delta_{\Phi}$ , umesto Dirakovom impulsu, jednaka je odzivu prilagođenog filtera za nulti Doplerov pomak.

Za Golajev komplementarni par sekvenci [1] dužine 8, predstavljen u tabeli 1., ispitani je predloženi metod za unapređenje Doplerovog opsega funkcije neodređenosti.

	komplementarni par sekvenci
$\{s_1\}$	1, -1, 1, 1, -1, 1, 1, 1
$\{s_2\}$	1, -1, 1, 1, 1, -1, -1, -1

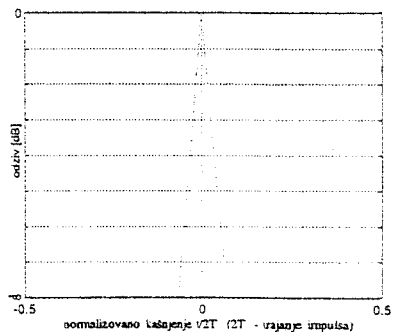
Tabela 1. Golajev komplementarni par sekvenci

Na slici 3 prikazana je suma odziva prilagođenih filtera za nulti Doplerov pomak. Može se videti da su svi bočni snopovi poništeni i da imaju nultu vrednost. Međutim za veće brzine kretanja cilja, nivo bočnih snopova brzo raste, što je prikazano na slici 4 krivom A.

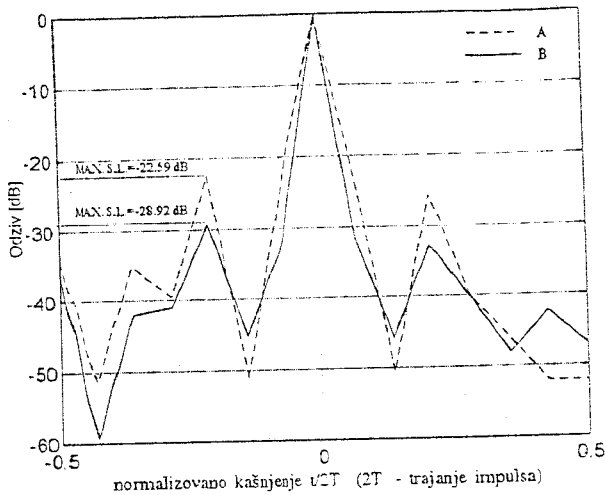
Primenom DIRLS algoritma projektovani su razdešeni filteri za svaku granu prijemnika tako da njihov željeni odziv bude što bliži odzivu prilagođenog filtera za nulti Doplerov pomak. Nakon sumiranja njihovih odziva nivo bočnih snopova je potisnut za 6.33 dB. Krivom B na slici 4 prikazuje sumu odziva razdešenih filtera za Golajev komplementarni par sekvenci.

Doplerov pomak je normalizovan sa  $1/T$ , a opseg optimizacije DIRLS algoritma je 0.05. Važno je napomenuti da kod razmatranja uticaja Doplerovog pomaka nije prihvaćena pretpostavka o uskopojasnosti, što znači da je pomak frekvencije svakog podnosioca različit i proporcionalan brzini kretanja cilja. Nesimetričan oblik sume odziva prilagođenog filtera sa slike 4 potiče od razlike u Doplerovim pomacima podnosioca.

Degradacija u detekcionim performansama zbog primene razdešenog umesto prilagođenog filtera izražena kroz gubitak odnosa signal/šum iznosi 0.025 dB.



Sl. 3 Zdržena autokorelaciona funkcija - suma odziva prilagođenih filtera za Golajev komplementarni par sekvenci i nulti Doplerov pomak



Sl. 4 Odziv prilagođenog kompozitnog filtera (A); odziv razdešenog DIRLS kompozitnog filtera (B) za Golajev komplementarni par i Doplerov pomak 0.05, normalizovan sa  $1/T$ .

## V. ZAKLJUČAK

Predloženi koncept MC-SS radara ili sonara omogućava primenu komplementarnih sekvenci u takvim sistemima, jer se veoma uspešno potiskuju bočni snopovi za velike Doplerove pomake, a uz male gubitke odnosa signal-šum.

## LITERATURA

- [1] M. J. E. Golay: "Complementary series", IRE Trans. 1961, IT-11, pp. 207-214
- [2] C. C. Tseng: "Complementary Sets of Sequences", IEEE Trans. on Information theory, Vol. IT-18, No. 5, Septembar 1972., pp. 644-652.
- [3] B.M. Popović: "New Class of Complex Sequences with Ideal Autocorrelation", AEU, Band 43., Heft 1., 1989., pp.13-15.
- [4] R. Sivaswamy: "Self-Clutter Cancellation and Ambiguity Properties of Subcomplementary Sequences", IEEE Trans. on AES, Vol. AES-18, No.2, March 1982., pp.163-180.
- [5] G. Weathers, E.M. Holliday: "Group-Complementary Array Coding for Radar Clutter Rejection", IEEE Trans. on AES, Vol. AES-19, No.3, May 1983., pp.369-379.
- [6] G. Weathers, D. Ellenburg, E.M. Holliday: "Group-Complementary Temporal Sidelobe Cancellation in Systems with Window-Weighung", Correspondence, IEEE Trans. on AES, Vol. AES-23, No.2, March 1987., pp.287-293.
- [7] R. Prasad, Shinsuke Hara: "An Overview of Multi-Carrier CDMA", ISSSTA '96 Mainz, pp.107-114.
- [8] V. Aus, G. P. Fettweis: "Higher-Level Multi-Carrier Modulation and Its Implementation", ISSSTA '96, Mainz, pp.126-130.
- [9] A. J. Zejak, E. Zenner, P. B. Rapajić: "Doppler optimized mismatched filters", Electronics letters, 1991, 27, pp. 558-560
- [10] P. B. Rapajić, A. J. Zejak: "Low sidelobe multilevel sequences by minimax filter", Electronic letters., 1989, 25, pp. 1090-1091
- [11] A. J. Zejak, I. S. Simić, M. L. Dukić: "Frequency Hopping Mismatched Filters for Radar and Sonar Applications", ISSSTA '96 Mainz, pp.877-881.

Abstract - In this paper MC-SS radar or sonar concept that make it possible complementary sequences application is proposed. An ideal auto-correlation properties of this sequences are degraded for greater target speeds. To improve autocorrelation ambiguity function DIRLS algorithm for filter response shaping is applied.

## Mismatched Multi Carrier Complementary Spread Spectrum Radar and Sonar Systems

A. J. Zejak, I. S. Simić