

POBOLJŠANJE REZOLUCIJE RADARA PO DALJINI PRIMENOM RAZDEŠENOG FILTERA

Aleksa J. Zejak, Institut IMTEL, Bul. Lenjina 165-B, N. Beograd

Igor S. Simić, VT VP - 4522 Batajnica,

Marko B. Babović, Elektrotehnički fakultet - Beograd

Sadržaj: U ovom radu predložen je originalan postupak za potencijalno poboljšanje rezolucije koje se zasniva na nadodabiranju primljenog signala. Za sintezu razdešenog filtera sa poboljšanom rezolucijom korišćen je algoritam za potiskivanje maksimalnih bočnih snopova odziva filtera u vremenskoj domeni.

I. UVOD

Jedno od poželjnih svojstava modernih radara i sonara jeste što bolja sposobnost razdvajanja (rezolucija) bliskih ciljeva. Znatno poboljšanje rezolucije postiže se složenim radarskim signalom, odnosno unutarimpulsnom modulacijom. Rezolucija sistema sa ovakvim signalom definisana je trajanjem podimpulsa, odnosno širinom spektra signala. U ovom radu je predložen originalan postupak za potencijalno poboljšanje rezolucije koje se zasniva na nadodabiranju primljenog signala.

Optimalni prijem u prisustvu belog Gausovog šuma, sa stanovišta maksimizovanja odnosa signal/šum ostvaruje se prilagođenim filterom. Međutim, radarski prijemnik nema samo zadatak da maksimizuje odnos signal/šum, već i da omogući maksimalnu verovatnoću detekcije, maksimalnu tačnost merenja koordinata, maksimalnu moć razlaganja itd.

Dinamički opseg kompresora radarskog impulsa ograničen je za bliske ciljeve zbog postojanja bočnih snopova na osi daljine. U radovima [1-4] detaljno su predstavljene metode projektovanja filtera za potiskivanje bočnih snopova (sopstvenog klatera) kod radara, sonara i komunikacija u proširenom spektru.

U istraživanjima primene ovih algoritama na potiskivanje bočnih snopova kod kompresije impulsa primenom frekvencijskog skakanja, nastala je ideja o primeni razdešenog filtera za dodatno povećanja rezolucije radara. Predloženi način povećanja rezolucije radara po daljini ne iziskuje izmene u predajnom signalu.

Rad je podeljen na pet glava. U drugoj glavi obrađeni smo ideju o poboljšanju rezolucije. U trećoj glavi prikazana je procedura potiskivanja bočnih snopova koja će se koristiti za projektovanje razdešenih filtera sa poboljšanom rezolucijom. U četvrtoj glavi prikazani su rezultati dobijeni predloženim postupkom, a u petoj glavi dati su zaključci i pravci daljih istraživanja.

II. IDEJA O POBOLJŠANJU REZOLUCIJE RADARA SA KOMPRESIJOM IMPULSA

Opšti oblik složenog radarskog signala sa fazno kodiranim impulsom može se prikazati u sledećem obliku

$$\mu(t) = \sum_{i=1}^L u_i(t-nT), \quad (1)$$

gde je

$$u_i = \begin{cases} e^{j(\omega t + \theta_i)}, & 0 \leq t \leq T_i \\ 0, & \text{za ostale } t, \end{cases} \quad (2)$$

a θ_i je element fazne sekvence za $i=1, 2, \dots, L$.

Na izlazu iz koherentnog demodulatora dobija se sekvenca

$$\{s_n\} = \{s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_L\}, \quad (3)$$

gde je

$$s_i = \begin{cases} e^{j\theta_i}, & 0 \leq t \leq T_i \\ 0, & \text{za ostale } t \end{cases} \quad (4)$$

kompleksna ovojnica signala, a L dužina sekvence.

Ako postoji više bliskih ciljeva čija su kašnjenja reflektovanog signala unutar podimpulsa T_i , podatak o njihovom postojanju biće sadržan u ovojnici primljenog signala, ali ne i u demodulisanoj sekvenci $\{s_n\}$.

Postupak nadodabiranja treba da "pokupi" informacije iz ovojnice i omogući da se daljom obradom razdvoje uzajamno bliski ciljevi po daljini.

Signal na izlazu koherentnog demodulatora odabira se frekvencijom N puta većom od bitske brzine (engl. nadodabiranje - oversampling). Tako se dobije N odbiraka svakog pojedinačnog podimpulsa, kao što je na slici 1. prikazano. Dobijena sekvenca $\{s'_n\}$ imaće oblik

$$\{s'_n\} = \{s'_1, s'_2, \dots, s'_i, \dots, s'_L\}, \quad (5)$$

gde je

$$\{s'_i\} = \{s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iN}\}, \quad (6)$$

što u slučaju da nema šuma i superpozicije signala od više ciljeva znači da je svaki element originalnog niza $\{s_i\}$ uzastopno ponovljen N puta.

Prilagodeni filter projektovan za prijem sekvence $\{s_n\}$ imaće istu širinu glavnog snopa kao i prilagodeni filter za sekvencu $\{s'_n\}$. Na taj način još uvek ne dobijamo povećanje rezolucije.

Da bi smo poboljšali rezoluciju i time razdvojili komponente unutar podimpulsa širine T_i projektovani smo razdešeni filter čiji će odziv imati glavni snop širine $T_{ii}=2T_i/N$.

U ovom radu za projektovanje takvog kompresionog filtera korišćena je iterativna ponderisana LS procedura (IRLS engl. Iterative Reweighted Least Square) [5,6].

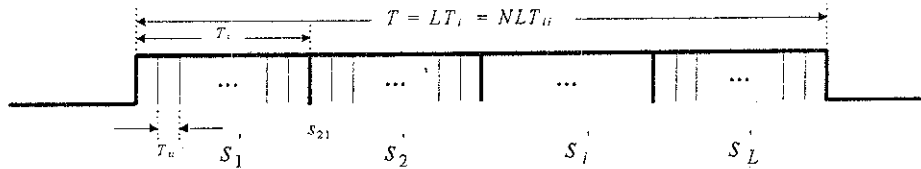
Na slici 2. prikazali smo hipotetičku banku filtera koju čine prilagodeni filter, razdešeni filter sa nepromenjenom rezolucijom i razdešeni filter sa poboljšanom rezolucijom. Ovakva struktura, pored edukativne namene, u principu može imati i praktičnu primenu. Naime, paralelnim dodavanjem filtera na

prijemu, postiže se bolja rezolucija za bliske ciljeve. a kanal glavne obrade se ne menja. Na slici 2. dat je i uporedni prikaz izlaza prilagodjenog filtera, razdešenog filtera za normalnu rezoluciju, i razdešenog filtera za poboljšanu rezoluciju i to za slučajeve kada na ulazu postoji signal od jednog cilja i kada postoji signal od dva međusobno bliska cilja.

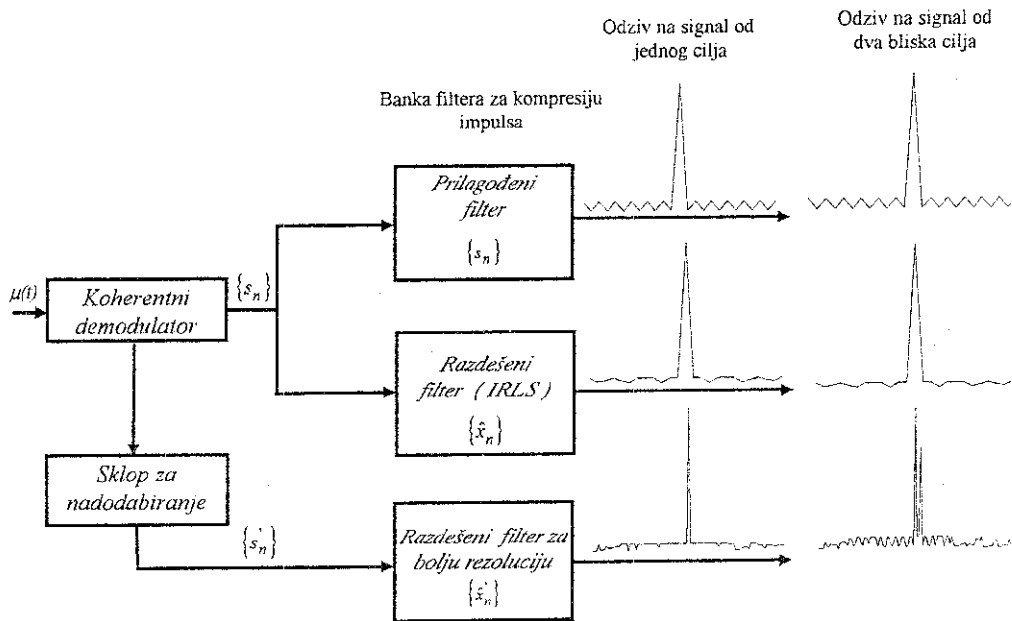
III. IRLS PROCEDURA

Iterativnu ponderisanu LS proceduru za projektovanje razdešenih filtera predložili su P. Rapajić i A. Zejak u [6]. Možemo je opisati sledećom matricnom jednačinom:

$$\hat{x}(k) = [S^*(0)R(k-1)S(0)]^{-1} S^*(0)R(k-1)\Delta(k-1) \quad (7)$$



Slika 1. Niz nadodabranih radarskih impulsa.



Slika 2. Hipotetička banka prijemnih kompresionih filtera za Barkerovu sekvencu dužine 13 i njihov odziv za slučajeve kada je na ulazu prisutan signal od jednog i od dva međusobno bliska cilja.

gde su \hat{x} procenjeni koeficijenti filtera, 1.1^H označava hermitsku transformaciju, a $S(0)$ matrica signala, koja se tokom iterativne procedure ne menja, a za nadodabranu sekvencu iz relacije (5) ima oblik:

$$S(0) = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ s_2 & s_1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_N & s_{N-1} & \dots & s_2 & s_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & s_N & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$N(L+M-1) \times M$

gde je

$$s_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iN}) \quad (9)$$

matrica formirana iz niza $\{s_i\}$.

U izrazu (7) $R(k-1)$ je dijagonalna matrica, težinskih koeficijenata u $(k-1)$ -toj iteraciji, sastavljena od $R(k) = \text{diag}(r(k))$. Težinski vektor $r(k)$ je, koji se formira adaptivnim podešavanjem, sa ciljem da se dobiju što niži nivoi maksimalnih bočnih snopova signala na izlazu razdešenog filtera. Funkcija prozora koja je uključena u matricu može se interpretirati kao korektivni faktor LS algoritma.

Željena autokorelaciona funkcija koja odgovara odzivu filtera u $(k-1)$ -toj iteraciji, označena je sa $\Delta(k-1)$ za slučaj projektovanja filtera za povećanu rezoluciju takođe je jednaka Dirakovom impulsu.

IV. REZULTATI

Za Barkerovu sekvencu dužine 13, koja je nadodabirana $N=4$ puta većom frekvencijom, projektovani smo IRLS algoritmom koeficijente razdešenog filtera dužine 52 (4×13), sa željenom funkcijom širine jednog odbirka T_b . Ovakav filter je razdvajao po daljini uzajamno bliske ciljeve.

Koeficijenti nadodabrane Barkerove sekvence, kao i koeficijenti razdešenog filtera za poboljšanje rezolucije dati su u tabeli 1. Na slici 3. dat je uporedni prikaz odziva prilagođenog i razdešenog filtera za bolju rezoluciju kada je na ulazu prisutan signal samo od jednog cilja.

Na slici 4. dat je uporedni prikaz odziva prilagođenog i razdešenog filtera za bolju rezoluciju kada su na ulazu superponirani signali dva uzajamno bliska cilja.

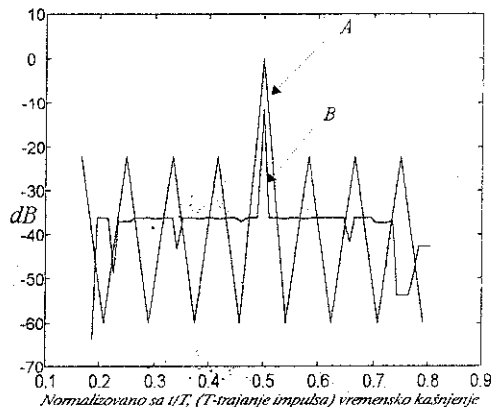
Cena koja se plaća kod razdešenog filtriranja jeste gubitak odnosa signal/šum. U slučaju projektovanja razdešenog filtera za poboljšanu rezoluciju, ovaj

neželjeni efekat je osnovno ograničenje. Na slikama 3. i 4. može se videti pad nivoa glavnog snopa kod razdešenog filtera, što predstavlja meru pada odnosa signal/šum.

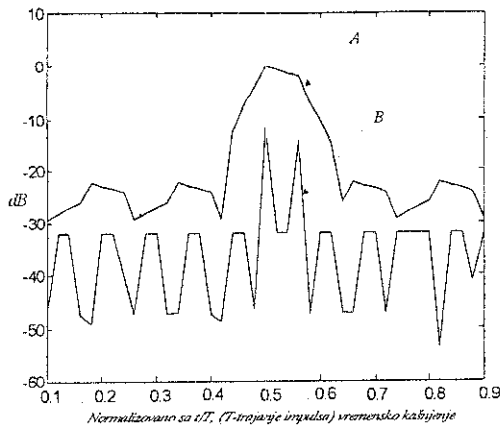
Povećanjem vrednosti N , tj. sposobnosti razdvajanja međusobno bliskih ciljeva, povećava se i gubitak odnosa signal/šum.

Prilagođeni filter 1 odbirka po podimpulsu	Prilagođeni filter 4 odbirka po podimpulsu	Koeficijenti IRLS filtera za 4 odbirka po podimpulsu
1	1,1,1,1	0.1588, 0.0000, 0.0000, 0.0344
1	1,1,1,1	-0.0033, 0.0000, 0.0000, 0.3668
1	1,1,1,1	0.0033, 0.0000, 0.0000, 0.3668
1	1,1,1,1	-0.5353, 0.0000, 0.0000, 0.8261
1	1,1,1,1	-0.7322, 0.0000, 0.0000, 1.0000
-1	-1,-1,-1,-1	-0.9533, 0.0000, 0.0000, 0.5400
-1	-1,-1,-1,-1	-0.4574, 0.0000, 0.0000, -0.0881
1	1,1,1,1	0.1260, 0.0000, 0.0000, 0.3032
1	1,1,1,1	-0.2439, 0.0000, 0.0000, 0.5007
-1	-1,-1,-1,-1	-0.4229, 0.0000, 0.0000, 0.0578
1	1,1,1,1	-0.0050, 0.0000, 0.0000, 0.3001
-1	-1,-1,-1,-1	-0.2397, 0.0000, 0.0000, -0.1918
1	1,1,1,1	0.2213, 0.0000, 0.0000, 0.0296

Tabela 1. Koeficijenti Barkerove nadodabrane sekvence i koeficijenti dobijeni IRLS algoritmom za povećanje rezolucije.



Slika 3. Uporedni prikaz odziva prilagođenog filtera A i razdešenog filtera za poboljšanje rezolucije - B za Barkerovu sekvencu dužine 13, kada je na ulazu prisutan signal od jednog cilja



Slika 4. Usporedni prikaz odziva prilagođenog filtera - A i razdešenog filtera za poboljšanje rezolucije - B za Barkerovu sekvencu dužine 13, kada je na ulazu prisutan signal od dva međusobno bliska cilja.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu je predložen originalan postupak za potencijalno poboljšanje rezolucije koje se zasniva na nadodabiranju primljenog signala. Predloženo rešenje se ne posmatra kao alternativa prilagođenom i razdešenom filteru sa "normalnom" rezolucijom. Kompresioni filter sa poboljšanom rezolucijom može se koristiti kao svojevrsna "lupa" za fino razdvajanje bliskih ciljeva. Stepenn poboljšanja razdvajanja ograničen je gubitkom odnosa signal/šum.

Budući da ovakav sklop ne remeti funkciju osnovnog kompresionog filtera, dodatna informacija o bliskom cilju dragocena je za primarnu obradu signala.

Dalja istraživanja će biti usmerena ka analizi uticaja ulaznog odnosa signal/šum na rad filtera.

LITERATURA

- [1] Zejak, A. J., Dukić, M. L.: "Mismatched Filters in Spread Spectrum Communications Systems". Proceedings of The 3rd IEEE Mediterranean Symposium on New Directions in Control and Automation, pp. 137-144, July 11-13, 1995, Limassol, CYPRUS.
- [2] Zoraster, S.: "Minimum peak range sidelobe filters for binary phase-coded waveforms". IEEE Trans. Acrosp. Electron. Syst., Vol. AES-16, No. 1, pp. 112-115, Jan. 1980.
- [3] Ackroyd, M.H., Ghani, F. "Optimum mismatched filter for sidelobe suppression". IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., Vol. AES-9, No. 2, pp. 214-218, Mar. 1973.
- [4] Baden, J.M., Cohen, M.N. "Optimal peak sidelobe filters for biphase pulse compression". in Proceedings of the IEEE International Radar Conference, pp. 249-252, Arlington, Virginia, May 1990.
- [5] Zejak, A.J., Zentner, E., Rapajić, P.B. "Doppler optimized mismatched filters", Electronics letters, Vol 21, 1991, No. 7, 558-560.
- [6] Rapajić, P.B., Zejak, A.J. "Low sidelobe multilevel sequences by minimax filter". Electronics letters, Vol. 25, No-16, pp. 1090-1091, August 1989.
- [7] Zejak, A.J. Zatkalik, J.A., Dukić, M.L. "Doppler optimized compression filters". IEEE ISSSTA '94 (International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications), pp. 534-538, Oul, Finland, July 1994.
- [8] Zejak, A.J., Dukić, M.L., Zatkalik, J.A. "Doppler mismatched filters with periodical sequences in spread spectrum communication systems", IEEE ISSSTA '94 (International Symposium on Spread Spectrum Techniques & Applications), pp. 539-543, Oul, Finland, July 1994.

Abstract: In this paper the original method is proposed, for potential range resolution improvement, based on the received signal oversampling. In the synthesis of mismatched filter with improved resolution an algorithm for maximal sidelobe suppression has been used.

Improved Radar Range Resolution Achieved by Mismatched Filter

Aleksa J. Zejak
Igor S. Simić
Marko B. Babović