

## POSTIZANJE VIŠESTRUKI RAZOLUCIJE PO DALJINI U RADARIMA BEZ UNUTAR-IMPULSNE MODULACIJE

Igor S. Simić

ERICSSON d.o.o, V. Popovića 6, Beograd; igor.simic@eyu.ericsson.se

Aleksa J. Zejak

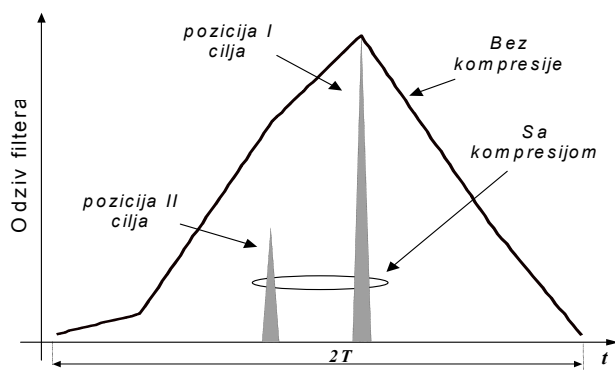
IMTEL Institut, Bulevar M. Pupina 165b, Beograd; zejak@insimtel.com

**Sadržaj** – U radu je prikazan postupak kojim se u radaru bez kompresije postiže poboljšanje rezolucije po daljini. Predloženoj tehnici ne menja se oblik i širina spektra predajnog signala već se impuls primljenog signala oblikuje u dodatnom filteru. Formulisan je metod sinteze tog filtera i pokazana mogućnost razdvajanja bliskih ciljeva.

### 1. UVOD

Jedna od osnovnih karakteristika radara jeste sposobnost razdvajanja bliskih ciljeva. Da bi se istovremeno zadovoljili zahtevi za većim dometom radara i dobrom rezolucijom primenjuje se kompresija impulsa. Impuls konvencionalnog radara fazno ili frekvencijski se moduliše čime se proširuje spektar takvog signala. Rezolucija radara po daljini određena je trajanjem podimpulsa kada se primenjuje fazna unutar-impulsna modulacija, odnosno širinom spektra signala.

Na slici 1. uporedno su prikazani odzivi prilagođenih filtera konvencionalnog radara i radara sa kompresijom impulsa. Može se videti značajno poboljšanje sposobnosti razdvajanja ciljeva kada se primeni kompresija impulsa.



Slika 1. Razdvajanje ciljeva po daljini primenom kompresije impulsa.

Međutim, nije uvek moguće oblikovati predajni signal tako da se postigne željena rezolucija.

U [1,2,3] predložen je postupak za poboljšanje rezolucije nedodabiranjem primljenog signala i sintezom kompresionog filtera. Predloženi metod može se primeniti za detekciju bliskih ciljeva u radarima sa unutar-impulsnom modulacijom. Kompresioni filter sa poboljšanom rezolucijom koristi se za dobijanje dodatne informacije o međusobno bliskim ciljevima, dragocene za primarnu obradu signala.

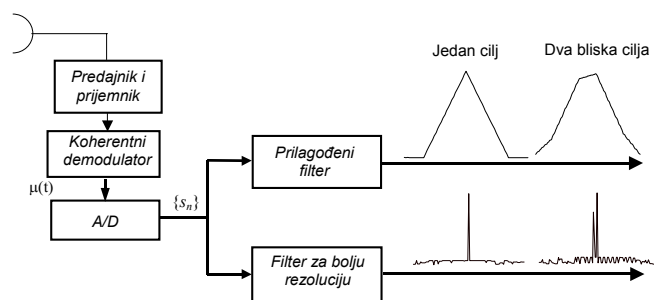
Slična ideja predložena je u [4]. Sistem se sastoji od korelatora i filtera za oblikovanje impulsa željene širine. Izlazni impuls, na taj način, može biti uži od recipročne vrednosti širine spektra ulaznog signala. Filter za oblikovanje

impulsa proširuje spektar signala na prijemu i postiže poboljšanje rezolucije. Funkcije kompresije i oblikovanja prijemnog impulsa u ovom slučaju su razdvojene.

U ovom radu metod [1,2,3] je adaptiran i primenjen kod signala bez unutar-impulsne modulacije, tj. radara bez kompresije impulsa. Rad je podeljen na 4 poglavlja. U drugom poglavlju prikazan je metod za poboljšanje rezolucije radara. Rezultati su dati u trećem poglavlju, dok su zaključak i pravci daljih istraživanja dati u četvrtom poglavlju.

### 2. METOD ZA POBOLJŠANJE REZOLUCIJE

Osnovna struktura obrade signala predloženog sistema prikazana je na slici 2.



Slika 2. Struktura obrade radarskog signala.

RF impuls iz predajnika emituje se u prostor preko antene. Deo elektromagnetskog talasa reflektuje se ka radaru i posredstvom antene dovodi u prijemnik. Nakon pojačanja i demodulacije signal se odabira, a zatim dovodi u sklopove za detekciju. Emitovani radarski signal najčešće se javlja u vidu periodičnog niza impulsa pravougaone ovojnice sa jednostavnom ili složenom unutarimpulsnom strukturom. U ovom radu razmatran je slučaj impulsa bez unutar-impulsne modulacije. Detekcija cilja obavlja se prilagođenim filterom čiji je odziv impuls širine  $T$  gde je  $T$  trajanje emitovanog impulsa. Detekcijom primenom filtera za bolju rezoluciju mogu se razdvojiti ciljevi čija je razlika u kašnjenju manja od širine impulsa  $T$ . Jedino ograničenje u primeni ovog tipa filtera jeste snaga reflektovanih impulsa. Naime, predloženi filter nije optimalan u pogledu odnosa signal-šum pa je njegova primena moguća kod bližih ciljeva.

Kako regulacija snage predajnog impulsa kod radara nije pogodna, a često je i neizvodljiva (kod osmatračkih radara), dodatni filter za povećanu rezoluciju eksploatiše taj "višak" izračene energije da bi poboljšao detekciju bližih ciljeva. Na taj način dobijaju se dodatne potrebene informacije o karakteristikama cilja.

Opšti oblik radarskog signala 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  $\theta_i = 0$  za signal bez unutarimpulsne modulacije,  $T = LT_i$ . Na izlazu iz koherentnog demodulatora dobija se sekvenca

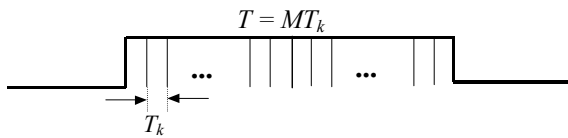
$\{s_n\} = \{s_1, s_2, \dots, s_L\}$ , gde je

$$s_i = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T_i \\ 0, & \text{za ostale } t \end{cases} \quad (3)$$

kompleksna ovojnica signala, a  $L$  broj odbiraka ovojnice.

Ako postoji više bliskih ciljeva čija je razlika kašnjenja reflektovanih signala manja od trajanja impulsa  $T$ , 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  $M$  puta većom (nadodabiranje, engl. - oversampling) od brzine potrebne za datu širinu spektra ulaznog signala. Tako se dobije  $M$  odbiraka svakog pojedinačnog impulsa, kao što je na slici 3. prikazano.



Slika 3. Nadodabrani radarski impuls.

Prilagođeni filter projektovan za prijem sekvence  $\{s_n\}$  imaće širinu glavnog snopa obrnuto proporcionalnu širini spektra ulaznog signala bez obzira na frekvenciju odabiranja. Na taj način ne postiže se povećanje rezolucije.

Da bi se poboljšala rezolucija i time razdvojile komponente unutar impulsa širine  $T$  projektovan je filter čiji će odziv imati glavni snop širine  $T_k = 2T/M$ . Ovim filterom na prijemu se proširuje spektar čime se poboljšava sposobnost razdvajanja ciljeva.

U ovom radu za projektovanje takvog kompresionog filtera korišćena je iterativna ponderisana LS procedura (IRLS engl. **I**terative **R**eweighted **L**east **S**quare) [5].

IRLS možemo opisati sledećom matricnom jednačinom:

$$\hat{x}(k) = [\mathbf{S}^T \mathbf{R}(k-1) \mathbf{S}]^{-1} \mathbf{S}^T \mathbf{R}(k-1) \mathbf{d}, \quad (4)$$

gde je  $\hat{x}$  vektor procenjenih koeficijenata filtera,  $[\cdot]^H$  označava hermitsku transformaciju, a  $\mathbf{S}$  matrica signala, koja se tokom iterativne procedure ne menja i ima oblik:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} s_1 & 0 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ s_2 & s_1 & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ s_M & s_{M-1} & \dots & s_1 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & s_M & s_{M-1} & \dots & s_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & 0 & \dots & s_M \end{bmatrix}_{2M-1 \times M}, \quad (5)$$

gde je  $M$  broj odbiraka signala.

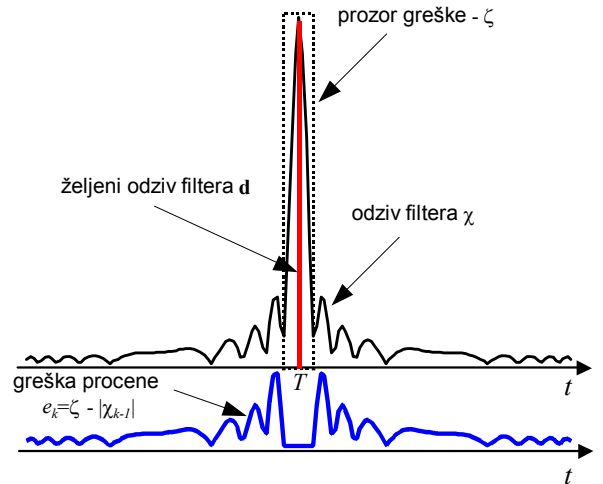
U izrazu (4)  $\mathbf{R}(k-1)$  je dijagonalna matrica, težinskih koeficijenata u  $(k-1)$ -oj iteraciji, sastavljena od  $\mathbf{R}(k) = \text{diag}[r(k)]$ . Težinski vektor  $r(k)$  formira se adaptivnim podešavanjem, sa ciljem da se dobije željeni oblik impulsa na izlazu projektovanog filtera. Funkcija prozora koja je uključena u matricu može se interpretirati kao korektivni faktor LS algoritma.  $r(k)$  se modifikuje množenjem sa vektorom greške

$$r(k) = r(k-1) \cdot e(k-1) \quad (6)$$

Greška procene na kraju  $k$ -te iteracije dobija se

$$e(k) = \zeta - |\chi(k-1)|, \quad (7)$$

gde je  $\chi(k-1)$  normalizovan odziv filtera u  $(k-1)$ -oj iteraciji, a  $\zeta$  je prozor greške definisan kao pravougaoni prozor na poziciji glavnog snopa (slika 4). Koncept prozora greške može se tretirati kao specijalni slučaj ECUI (envelope constrained filters with uncertain input) filtera [6]. Funkcija  $\mathbf{d}$  odgovara željenom odzivu projektovanog filtera i jednaka je Dirakovom impulsu.



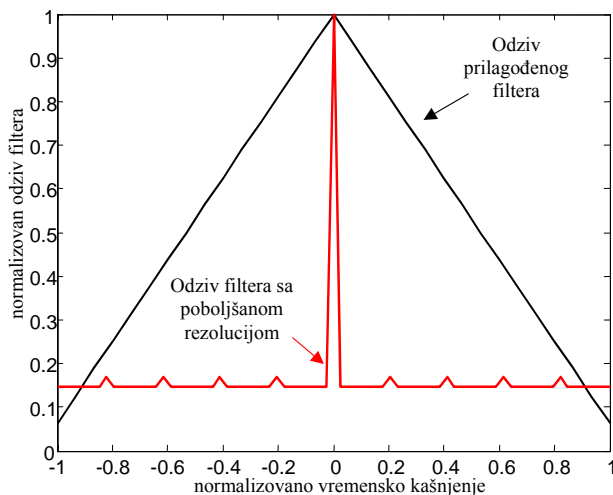
Slika 4. Prikaz načina računanja greške procene.

Promenom širine i oblika prozora greške  $\zeta$  utiče se na širinu impulsa (glavnog snopa) na izlazu projektovanog filtera. Na taj način može se uticati i na rezoluciju radara.

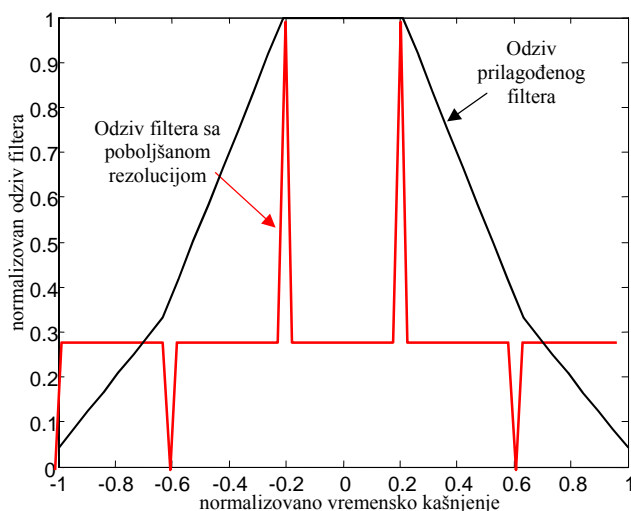
### 3. REZULTATI

Da bi potvrdili mogućnost razdvajanja ciljeva predloženim metodom projektovan je filter sa 4 puta boljom rezolucijom. Na slici 5 prikazani su odzivi prilagođenog filtera i filtera sa

poboljšanom rezolucijom kada je ulazni signal reflektovan od jednog cilja. Za dva cilja jednake amplitude uporedni prikaz dat je na slici 6, a za ciljeve raličitih amplituda na slici 7. Dodatnim filterom bliski ciljevi su uspešno razdvojeni.



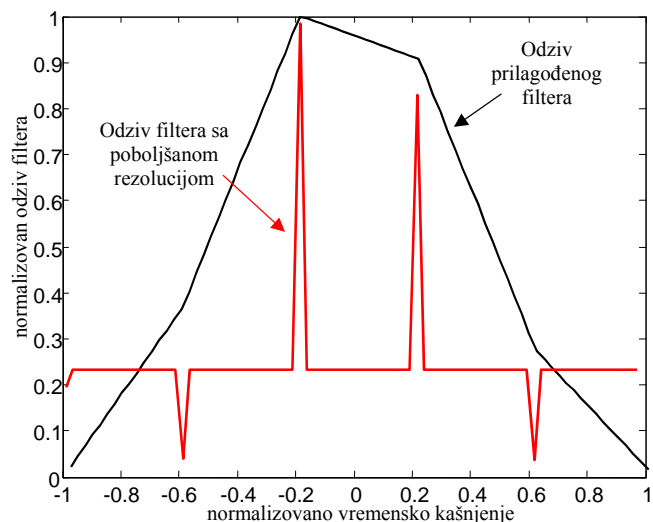
Slika 5. Uporedni prikaz odziva prilagođenog i filtera za bolju rezoluciju kada je primljen signal od jednog cilja.



Slika 6. Uporedni prikaz odziva prilagođenog i filtera za bolju rezoluciju kada su primljeni signali od dva jednaka cilja.

#### 4. ZAKLJUČAK

Klasičan radarski prijemnik sa prilagođenim filterom ne može eksploatisati više energije nego što mu je potrebno za detekciju kako bi izvukao neke druge informacije o cilju. U ovom radu pokazan je metod kojim se “višak” reflektovane energije od cilja koristi za razdvajanje međusobno bliskih ciljeva. Projektovani filter koristi se paralelno sa prilagođenim filterom. U daljim istraživanjima biće razmatrani ostali aspekti praktične realizacije.



Slika 7. Uporedni prikaz odziva prilagođenog i filtera za bolju rezoluciju kada su primljeni signali od dva cilja različite amplitude.

#### LITERATURA

- [1] A. Zejak, I. Simić, Z. Golubičić, A. Petrović, “Mismatched compression filter for improved radar range resolution”, *Proc. of IEEE ICECS '99*, 3 vol. xlv+1794 pp. 733-736
- [2] A. Zejak, I. Simić, Z. Golubičić, “Mismatching spread spectrum radar: a way for both desired radar range resolution and self-clutter suppression”, *Proc. of IEEE TELSIS'99*, 2 vol. xvi+680, October 1999, pp. 359-362
- [3] I. S. Simić, A. J. Zejak, Z. T. Golubičić, A. Petrović, “Improved Radar Range Resolution Achieved by Mismatched Filter”, *Proc. of IEEE MELECON '98*, Tel-Aviv, 18-20. May 1998, pp. 435-438
- [4] M. Shinriki, R. Sato, H. Takase, “Multi-Range Resolution Radar Using Sideband Spectrum Energy”, *IEICE Trans. Commun.*, vol. E85-B, No.8, August 2002, pp. 1640-1643
- [5] A. J. Zejak, E. Zentner, P. B. Rapajić, “Doppler optimized mismatched filters”, *Electronics letters*, Vol. 21, 1991, No. 7, pp. 558-560
- [6] A. P. Petrović, A. J. Zejak, “Minimax approach to envelope constrained filter design”, *Electronics Letters*, vol. 34, No. 25, 10<sup>th</sup> December 1998, pp. 2381-2382

**Abstract** – In the paper way for range resolution enhancement in radar without compression is presented. Technique does not change shape and spectrum width of the transmitted signal but it shaping output pulse in the receiver. Method for filter design is formulated and design example is presented.

#### MULTI-RANGE RESOLUTION IN RADAR WITHOUT INTRA-PULSE MODULATION

I. S. Simić, A. J. Zejak