

SMANJENJE EFEKTA ZAMRAČENJA U ČIRP RADARIMA

Bojan M. Zrnić, *Vojnotehnička akademija VJ, Ratka Resanovića 1, 11000 Beograd*
Igor S. Simić, *VP-4522 Beograd, e-mail: igors@galeb.etf.bg.ac.yu*

Sadržaj- U radu je predložen postupak projektovanja kompresionog filtera u radarima sa čirp signalom čiji odziv, u slučaju kad postoji efekat zamračenja cilja, ima niže bočne snopove i bolju rezoluciju u odnosu na postojeće rešenje.

1. UVOD

Efekat delimičnog ili potpunog zamračenja reflektovanog radarskog signala (signal replike) označava situaciju kada je reflektovani signal stigao na ulaz prijemnika koji je u tom trenutku isključen, jer je uključen predajnik. U zavisnosti od relativnog vremena dolaska (u odnosu na početak emitovanja) odjek od cilja može biti potpuno ili delimično zamračen. Postoje dve zone zamračenja (eclipsing zone), a vezane su za osu daljine. *Prva zona zamračenja* se poklapa sa klasično definisanom slepom zonom, pa je njena širina R , određena trajanjem predajnog impulsa T relacijom $R_1 = cT/2$, gde je c - brzina svetlosti. Ako sa T_1 označimo trajanje zamračenog dela signala replike, onda se može definisati tzv. *faktor zamračenja* E relacijom $E = T_1 / T$. *Druga zona zamračenja* se nalazi iza nominalnog instrumentalnog dometa, a do zamračenja ciljeva dolazi tako što je odjek od cilja, nastao od prethodno poslatog impulsa, stigao na ulaz prijemnika u trenutku kada je već počelo emitovanje novog impulsa. Odzivi filtera na odjeke iz prve i druge zone zamračenja, za istu vrednost faktora zamračenja E , su simetrični (slika u ogledalu).

U radu [1], na primeru radara koji koristi linearno frekvencijski modulisan signal ili čirp signal, analizirani su odzivi kompresionog filtera za slučajeve kada se cilj nalazi unutar neke od zona zamračenja. Na osnovu funkcije neodređenosti čirp signala, u radu [2] dato je teorijsko objašnjenje efekata koji nastaju u odzivu kompresionog filtera u slučaju zamračenja cilja. Pored smanjenja amplitude centralnog snopa (pika), što dovodi do smanjenja odnosa signal/šum, i proširenja centralnog pika, što uzrokuje gubitak rezolucije, dodatni problem predstavljaju bočni snopovi odziva kompresionog filtra. Potiskivanje bočnih snopova u [1] vrši se primenom Hemingove (Hamming) prozorske funkcije. Sa druge strane, najviše dobrih rezultata u

potiskivanju bočnih snopova dobijeno je primenom IRLS (Iterative Reweighted Least Square) algoritma [3].

U ovom radu primenjen je IRLS algoritam za projektovanje čirp kompresionog filtera. Odziv projektovanog filtera ima niže bočne snopove i bolju rezoluciju po daljini u odnosu na filter koji koristi Hemingovu težinsku funkciju. Na taj način se povećava mogućnost detekcije ciljeva koji se nalaze unutar slepe zone (prva zona zamračenja), a može se govoriti i o mogućnosti da se nominalni domet poveća na neku daljinu koja se nalazi unutar druge zone zamračenja.

2. PROJEKTOVANJE ČIRP KOMPRESIONOG FILTERA SA NISKIM BOČNIM SNOPOVIMA

U situaciji kada radar vrši procesiranje signala replike od nekoliko ciljeva, bočni snopovi nastali od cilja sa većom refleksnom površinom ili od velikog klaterskog odraza mogu da maskiraju glavni snop cilja sa manjom refleksnom površinom. Zbog toga je potrebno projektovati kompresioni filter koji ima što niži nivo bočnih snopova na svom izlazu.

Odziv kompresionog filtera prilagođenog na čirp signal ima oblik funkcije $\sin(x)/x$, sa nivoom maksimalnih bočnih snopova od -13.46 dB [4]. Dosadašnji pristupi rešavanju ovog problema zasnivaju se na primeni prozorskih funkcija (Heming, Hening, Kajzer i dr.) kojima se amplitudno ponderiše impulsni odziv kompresionog filtera.

Uticao efekta zamračenja na nivo bočnih snopova analiziran je u radu [1] i zaključeno je da u zamračenju zoni dolazi do dodatnog porasta bočnih snopova u odnosu na nivo bočnih snopova u nezamračenju zoni, a dominantni su efekti širenja glavnog snopa i opadanja amplitude. Za potiskivanje bočnih snopova koristi se Hemingova prozorska funkcija. Ova, kao i sve ostale metode potiskivanja bočnih snopova zasnovane na korištenju prozorskih funkcija, izaziva širenje glavnog snopa odziva kompresionog filtra što znači pogoršanje rezolucije po daljini. Primenom Hemingove prozorske funkcije bočni snopovi su, u slučaju kada nema zamračenja, potisnuti na nivo od

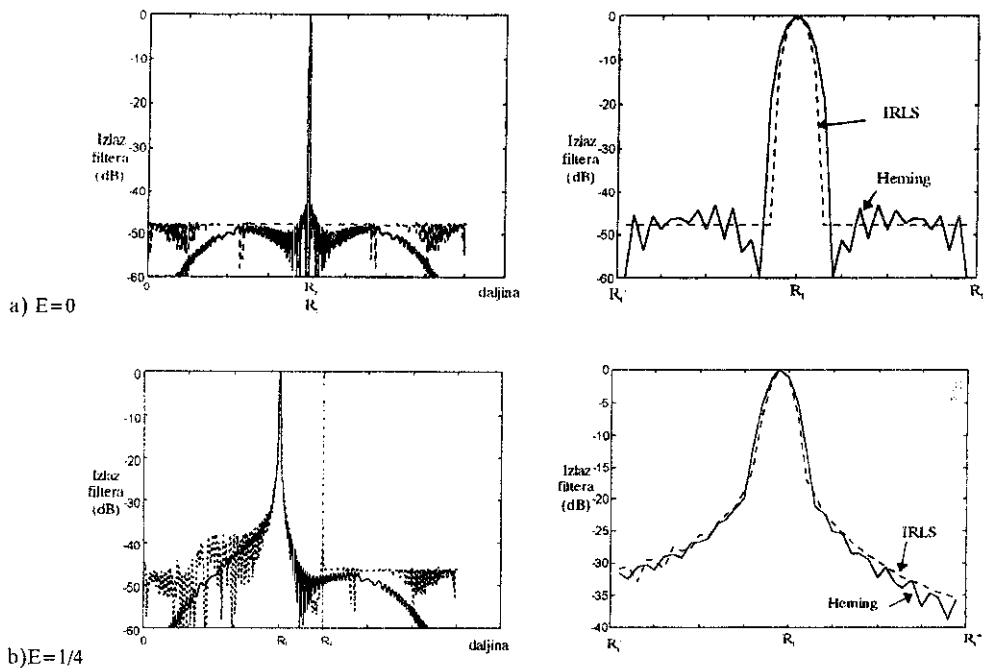
-42,8 dB, a glavni snop se proširi na dvostruku vrednost širine glavnog snopa prilagođenog filtera, što znači dvostruko povećanje rezolucije po daljini. Ako se posmatra širina glavnog snopa na vrednosti 3 dB od vrha, onda proširenje iznosi 1,4 puta [5].

Kao što je već rečeno, najviše dobrih rezultata u potiskivanju bočnih snopova odziva kompresionog filtera dobijeno je primenom iterativnog ponderisanog algoritma najmanjih kvadrata (IRLS algoritma) [4]. Ovaj algoritam uspešno se primenjuje i za potiskivanje bočnih snopova čirp signala, što je pokazano na primeru potiskivanja bočnih snopova kompresivnog prijemnika u radio-izviđačkim sistemima [6]. Imajući u vidu ove rezultate, primenili smo IRLS algoritam za projektovanje kompresionog filtera da bi smanjili uticaj zamračenja na nivo bočnih snopova i povećali mogućnost detekcije. Zbog preciznijeg poređenja, modeliran je proces zamračenja sa istim parametrima radarskog signala kao i u izvornom radu [1]. Modeliran je, dakle, linearni čirp signal čija je kompleksna ovojnica data sledećim izrazom:

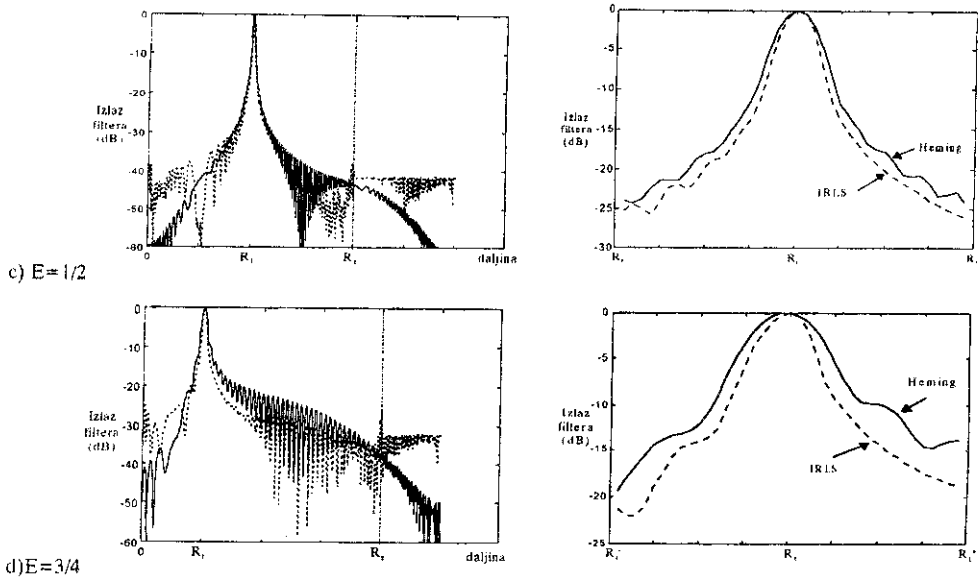
$$\mu(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{j\pi kt^2} \text{ za } |t| \leq \frac{T}{2} \quad (1)$$

Trajanje predajnog signala bilo je $T=1$ ms (određuje slepu zonu $R_z=150$ km). Konstanta k određuje strminu promene trenutne frekvencije i data je izrazom $k/B=T$, gde je B opseg promene trenutne frekvencije i u razmatranom slučaju iznosi $B=200$ kHz, tj. $k=200$.

Na slikama 1.a.-1.d. dati su, u zavisnosti od faktora zamračenja E , odzivi kompresionih filtera dobijenih pomoću IRLS algoritma (isprekidana linija) i algoritma zasnovanog na upotrebi prozorske funkcije (puna linija). Sa R_0 je označena aktuelna daljina cilja, a R_1 i R_2 određuju širinu zumiranog dela odziva. Uočavaju se osnovne prednosti filtera dobijenog IRLS algoritmom a to su veće potiskivanje bočnih snopova i bolja rezolucija u odnosu na rezultate koje daje filter projektovan korištenjem Hemingove prozorske funkcije.

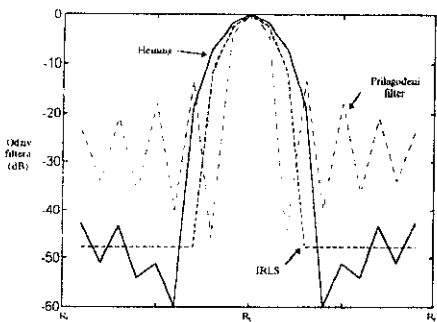


Slika 1.a-b) Odzivi kompresionih filtera na signal replike sa faktorom zamračenja $E=0$ i $E=1/4$ (desna slika je zumirani deo oko glavnog snopa)



Slika 1.c-d) Odzivi kompresionih filtara na signal replike sa faktorom zamračenja $E=1/2$ i $E=3/4$

To potvrđuje i slika 2. gde je, za slučaj kada je $E=0$, dato poređenje odziva prilagođenog kompresionog filtara sa odzivima razdešenih kompresionih filtara. Uočava se da razdešeni filter dobijen IRLS algoritmom ima za 1.5 put lošiju rezoluciju od prilagođenog filtra i najniže bočne snopove (-47.3 dB), dok razdešeni filter dobijen upotrebom Hemingove prozorske funkcije ima dvostruko lošiju rezoluciju i nivo bočnih snopova od -42.8 dB.



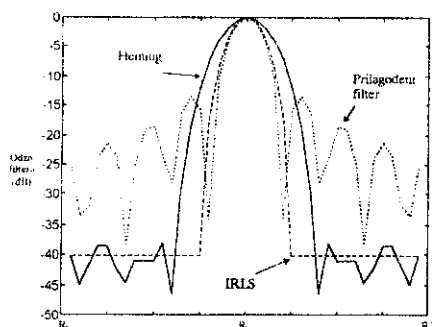
Slika 2. Odzivi prilagođenog, IRLS i Heming razdešenog kompresionog filtara ($E=0$, $k=200$)

3. DODATNO POTISKIVANJE BOČNIH SNOPOVA ZAMRAČENOG SIGNALA REPLIKE

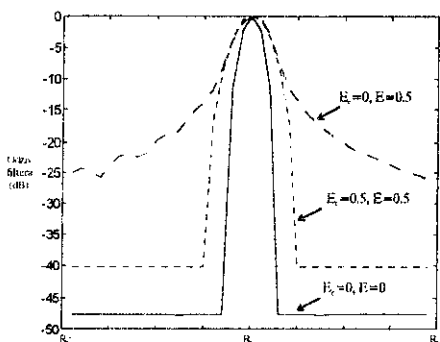
U radu [1] izložena je ideja za smanjenje nivoa bočnih snopova izazvanih zamračenjem, korišćenjem kompresionog filtara koji bi bio prilagođen na signal replike sa unapred specificiranim faktorom zamračenja E_c . Filter bi radio u paraleli sa standardnim kompresionim filterom projektovanim u prethodnom poglavlju ($E_c=0$). Za ciljeve na daljinama većim od R_c (određene sa $E_c = T_c / T$ izrazom $R_c = cT_c / 2$) uzimao bi se izlaz standardnog kompresionog filtra, a ispod te daljine relevantan bi bio izlaz kompresionog filtra prilagođenog na specificirani faktor zamračenja. Primenom IRLS algoritma za projektovanje paralelnog kompresionog filtra podešenog na signal replike sa faktorom zamračenja $E_c=0.5$, dobija se nivo bočnih snopova od oko -40 dB uz rezoluciju koja je nešto lošija (1.25 puta) u odnosu na prilagođeni filter, dok se primenom Hemingove prozorske funkcije dobija dvostruko lošija rezolucija i viši nivo bočnih snopova (Sl.3).

Opravdanost uvođenja paralelnog kompresionog filtra vidi se sa slike 4. gde su dati odzivi kompresionih filtara dobijenih IRLS algoritmom. Sa E_c označena je vrednost faktora zamračenja za koji je filter podešen, a sa E je označena vrednost

faktora zamračenja signala replike na ulazu u filter. Filter podešen za $E_c=0.5$, u situaciji kada procesira signal replike sa faktorom zamračenja $E=0.5$, ima znatno niže bočne snopove u odnosu na standardni filter koji je podešen za $E_c=0$. Gubitak rezolucije ovog filtera u odnosu na standardni filter sa parametrima ($E_c=0$, $E=0$) prouzrokovan je smanjenjem trajanja signala replike T i smanjenjem opsega signala replike B , odnosno smanjenjem proizvoda TB sa 200 na 50.



Slika 3. Odzivi prilagođenog, IRLS i Heming razdešenog paralelnog kompresionog filtra (projektovanih za slučaj $E=0.5$)



Slika 4. Poređenje odziva IRLS razdešenih kompresionih filtera (projektovanih za slučajeve $E_c=0.5$ i $E_c=0$)

ZAKLJUČAK

Primena prozorskih funkcija za potiskivanje bočnih snopova odziva čirp kompresionog filtera dovodi do proširenja glavnog snopa, što znači gubitak rezolucije po daljini. Primenom IRLS algoritma za projektovanje kompresionog filtra dobijaju se bolje karakteristike: niži nivo bočnih snopova i manja degradacija rezolucije.

U slučaju postojanja zamračenja reflektovanog signala, kompresioni filter dobijen IRLS pristupom zadržava ove prednosti, povećavajući tako mogućnost detekcije ciljeva koji se nalaze unutar klasično definisane slepe zone (prva zona zamračenja) kao i unutar druge zone zamračenja, povećavajući tako nominalni domet radara.

LITERATURA

1. E.R. Billam, "Eclipsing effects with high-duty-factor waveforms in long-range radar", IEE Proceedings, Vol.132, No.7, pp.598-603, Dec. 1985
2. A. J. Zejak, B. Zrnić, "Analiza efekta zamračenja u čirp radarima pomoću funkcije neodređenosti", Zbornik radova ETRAN '99
3. A. J. Zejak, E. Zentner, P. V. Rapajić, "Doppler optimized mismatched filters", Electronic letters, Vol. 21, No.7, 1991, pp.558-560
4. A.W. Rihacek, "Principles of High-Resolution Radar", McGraw-Hill, New York, 1969
5. J.B.Y. Tsui, "Microwave receivers with electronic warfare applications", Krieger publishing company, 1992 (reprint orig. edition 1986)
6. I. Simić, B. Zejak, "Kompresivni prijemnici sa optimizovanom vremensko-frekvencijskom karakteristikom", Zbornik radova ETRAN '98, sveska 2, str. 74-77

Abstract -In this paper new approach to design chirp compression filters is proposed. In case of eclipsing of target returns, new approach have low sidelobe level and better range resolution.

REDUCTION OF ECLIPSING EFFECT IN CHIRP RADAR

Bojan Zrnić, Igor Simić