

MERNA METODA ZA ANALIZU RADARSKJE POVRŠINE ROTIRAJUĆEG OBJEKTA*

UDC: 621.396 : 969.3 : 53.083

Rezime:

U radu je opisana merna metoda za analizu radarske površine rotirajućeg objekta. Predstavljeni su merni sistem i postupak obrade izmerenih rezultata. Dobijeni rezultat je radarska slika rotirajućeg objekta.

Ključne reči: merenje radarske površine, visokorezoluciona radarska slika.

RADAR CROSS SECTION ANALYSIS OF ROTATING OBJECTS

Summary:

In the paper the radar cross section of rotating objects is analyzed. The measurement systems and data processing are described. The result is a cross range imaging of rotating objects.

Key words: radar cross section measurements, high resolution radar imaging.

Uvod

Realni radarski ciljevi imaju složeni geometrijski oblik. Spособnost refleksije elektromagnetskih talasa je osobina karakteristična za svaki radarski cilj, i opisuje se pojmom radarske površine σ . Zavisnost karakteristika refleksije elektromagnetskih talasa od ugaonog zakreta radarskog cilja opisuje se dijagramom refleksije $\sigma(\theta, \phi)$.

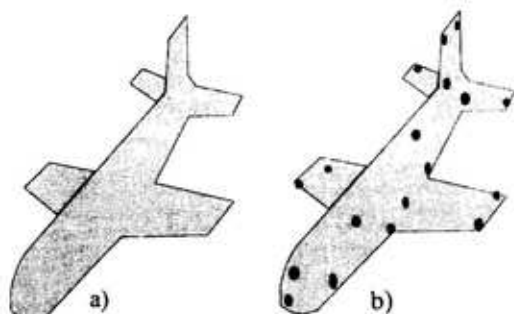
Razvoj radarskih senzora i njihova primena u izviđačkim sistemima i sistemima sa radarskim samonavođenjem naglašava značaj radarske površine kao važnog parametra u funkciji „preživljavanja“ potencijalnog cilja. Poznavanje srednje

vrednosti radarske površine σ i dijagrama refleksije $\sigma(\theta, \phi)$ više nije dovoljno.

Složeni radarski ciljevi, sa stanovišta refleksije elektromagnetskih talasa, mogu se razložiti na konačan broj elementarnih reflektora, koji postaju sekundarni izvori zračenja [1]. Mesta maksimalne refleksije elektromagnetskih talasa, nazivaju se blještave tačke [2]. U slučaju poznavanja njihove pozicije na objektu, u procesu razvoja moguće je promenom oblika konstrukcije, ili promenom konstruktivnog materijala, uticati na njihovu veličinu radi umanjanja radarske površine. Metode analize položaja blještavih tačaka često se nazivaju metode analize radarske slike.

Kod ovih metoda koriste se merni radarski sistemi, koji u zavisnosti od predaj-

* Rad je saopšten na stručnom skupu TOC KoV „Ispitivanje kvaliteta sredstava NVO“, 18. novembra 2003. u Beogradu.



Sl. 1 – a) Radarski cilj, b) Položaj „blještavih tačaka“

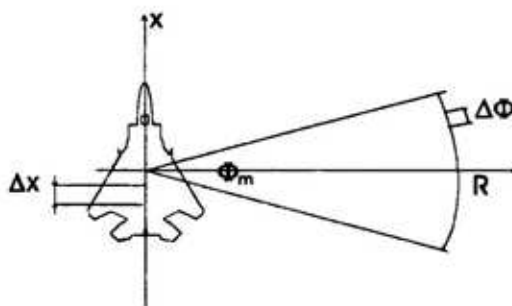
nog signala mogu biti: radar sa kontinuiranim zračenjem (CW), frekventno modulisan (FM-CW) radar, CW radar sa upravljivim pomičnim vremenskim vratima i amplitudno modulisan CW radar [3].

U ovom radu opisan je merni sistem za analizu radarske slike rotirajućeg objekta, i na odabranim objektima izvršena je eksperimentalna verifikacija metode.

Metoda eksperimentalne analize radarske slike rotirajućeg objekta

Geometrijske koordinate, koje se vezuju za objekat u odnosu na merni sistem, su daljina i azimut.

Distribucija „blještavih tačaka“ po azimutu dobija se na osnovu relativnog



Sl. 2 – Geometrija mernog mesta i dobijanje sintetizovanog otvora

kretanja između antene mernog sistema i objekta, bilo da se antena kreće uz nepokretan cilj, ili da je ona nepokretna a cilj rotira u određenom ugaonom opsegu, slika 2. Odabiranjem signala (amplituda i faza) reflektovanog od objekta u više ugaonih pozicija, formira se sintetizovan otvor. Primljeni signal i distribucija „blještavih tačaka“ objekta povezani su Furijeovom transformacijom. Potrebni ugaoni interval u kome se vrši odabiranje reflektovanog signala, zavisi od željene rezolucije. Za interval odabiranja $\Delta\Phi < \lambda / (2D)$, gde je D širina objekta, rezolucija po azimutu iznosi [3]:

$$\Delta x = \frac{\lambda}{4 \sin(\Phi_m / 2)} \quad (1)$$

gde je:

λ – talasna dužina,

Φ_m – ugaoni opseg odabiranja.

Korišćenjem signala frekventnog opsega B i odabiranjem reflektovanog signala u jednakim frekvencijskim intervalima, Furijeovom transformacijom omogućena je distribucija „blještavih tačaka“ po daljini. U tom slučaju rezolucija po daljini iznosi [3]:

$$\Delta R = \frac{c}{2B} \quad (2)$$

gde je:

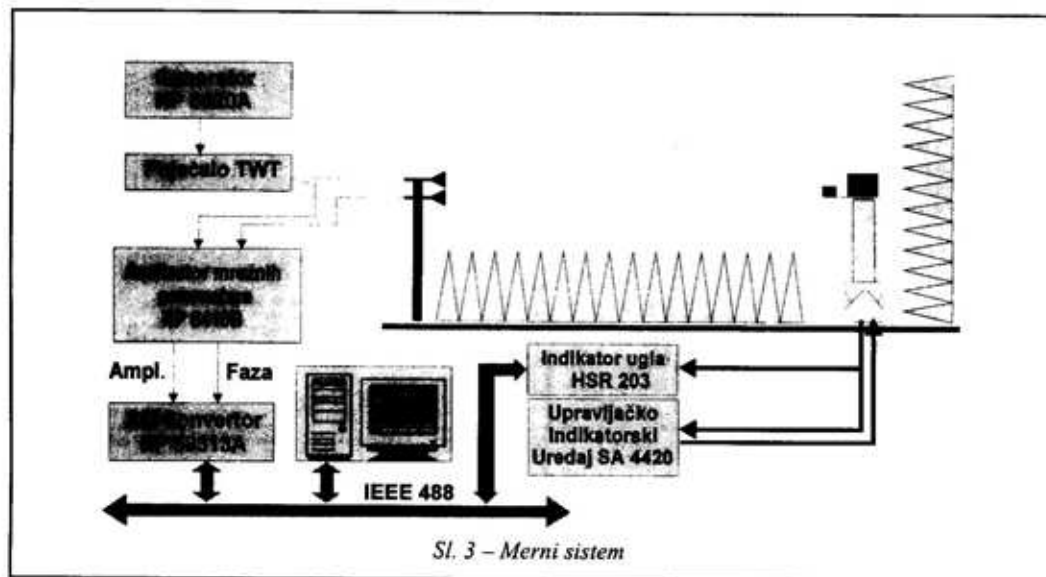
ΔR – rezolucija po daljini,

c – brzina svetlosti,

B – širina frekventnog opsega.

Merni sistem

U okviru eksperimentalne provere merne metode, realizovan je merni sistem prema slici 3.



Sa generatora HP 8620A signal se preko pojačavača Varian TWT VZX 698F vodi na predajnu levak antenu. Deo signala se preko usmerenog spreznika vodi na analizator mrežnih parametara HP 8410B sa indikatorom amplitude i faze HP 8413A. Reflektovano polje od cilja prima se prijemnom levak antenom, i vodi na ulaz analizatora mrežnih parametara. Sa indikatora amplitude i faze HP 8413A signal amplitude i faze polja vodi se na A/D konvertor HP 59313A. U merni sistem je uključen računar sa IEEE-488 karticom koji na osnovu informacije o uglu sa digitalnog davača ugla DDC HSR 203 upravlja A/D konvertorom HP 59313A i prikuplja podatke koji se nakon završenog merenja obrađuju.

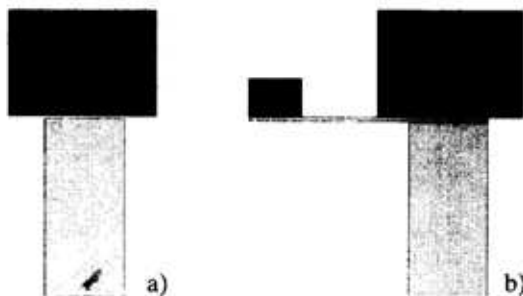
Upravljanje sa azimut-elevacionim postoljem SA M5301 vrši se pomoću upravljačko-indikatorskog uređaja SA 4620.

Obrada izmerenih podataka i njihov prikaz realizovana je u programskom paketu MATLAB [4].

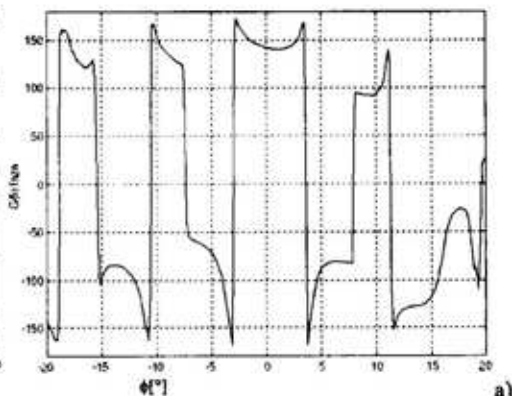
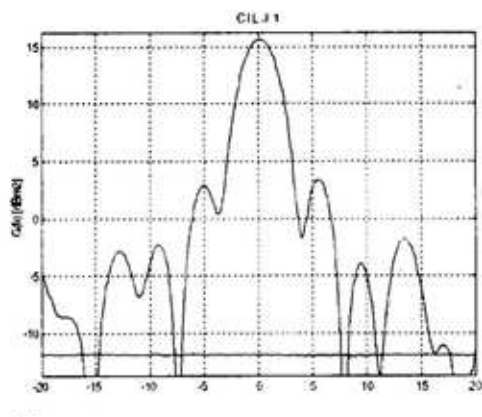
Eksperimentalni rezultati

Pomoću opisanog mernog sistema izvršena je analiza dva radarska cilja: pravougaone ploče stranica $0,223 \text{ m} \times 0,23 \text{ m}$, koja je ujedno služila kao etalon, i cilja koji se sastoji od iste pravougaone ploče i dodate male ploče stranice $0,08 \text{ m}$ na rastojanju od $0,17 \text{ m}$, slika 4.

Merenje je izvršeno na mernom mestu delimično prekrivenom elektromagnetskim apsorberima. Rastojanje između antena i postolja od stiropora na kome su se nalazili ciljevi, je $5,40 \text{ m}$. Merenje je

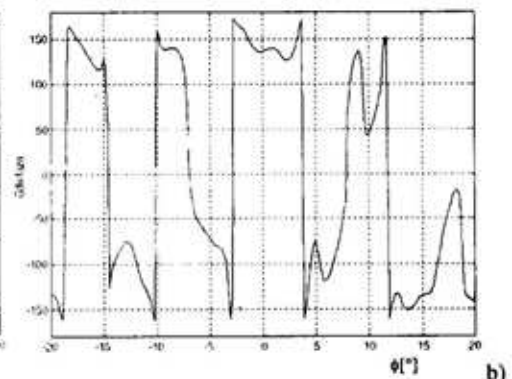
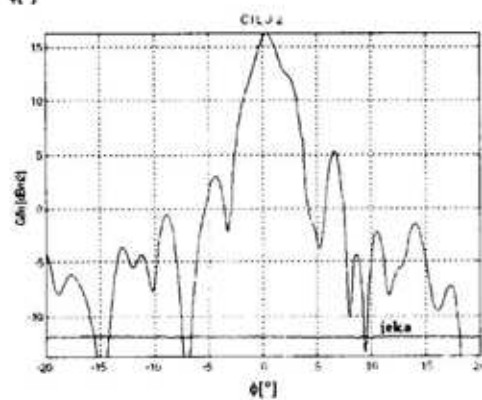


Sl. 4 – a) cilj 1, b) cilj 2



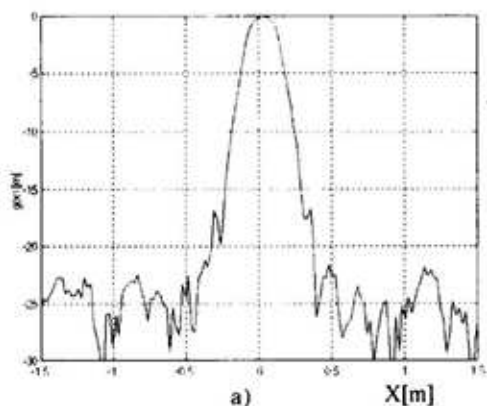
θ [°]

a)

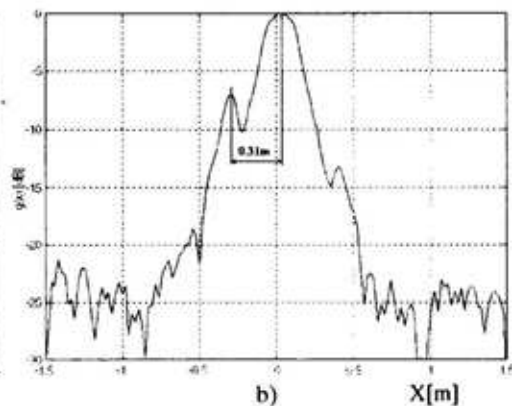


b)

Sl. 5 – Dijagram refleksije



a)



b)

Sl. 6 – Distribucija „blještavih tačaka“: a) cilj 1, b) cilj 2

izvršeno na frekvenciji 10,049 GHz u ugaonom opsegu od 40° u 256 tačaka.

Izmereni dijagrami refleksije cilja 1 i 2 prikazani su na slici 5.

Na izmerenim podacima uočava se da dodavanje manje pločice cilju 1 izaziva manje promene u dijagramu refleksije, koje se ogledaju u većem maksimumu cilja 2 za 0,54 dB u odnosu na cilj 1. Postavljanje male ploče dovelo je do povećanja nivoa desnog boka dijagrama refleksije za 1,9 dB. Promene se ogledaju i kod faznog dijagrama u centralnom delu, ali uz očuvanje tačaka promene predznaka faze.

Izvršena je obrada izmerenih podataka čiji je rezultat distribucija blještavih tačaka po osi x, prikazan na slici 6. Distribucija blještavih tačaka prati fizičke dimenzije ciljeva, tako da se za cilj 1 može proceniti da na nivou od -3 dB njegova širina iznosi 0,25 m. Greška u dimenzijama, za oko pola talasne dužine sa obe strane, posledica je efekta ivice ploče.

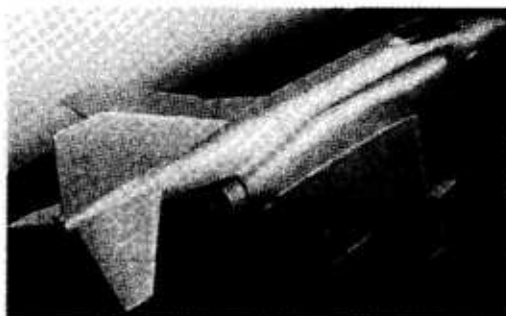
Na distribuciji blještavih tačaka cilja 2 uočava se dodata pločica kao veoma izražen bok sa leve strane. Razmak između položaja maksimuma iznosi 0,31 m što se slaže sa fizičkim dimenzijama razmaka između centra velike i male ploče.

Sličnim mernim sistemom, gde se koristi generator HP 4420 i kao A/D konvertor digitalni analizator signala HP 5420 izvršena je dvodimenzionalna analiza modela aviona od aluminijuma, dužine 0,90 m i širine 0,60 m, slika 7. Merenje je izvedeno u kontrolisanim uslovima u antieho komori. Objekat, model aviona, nalazio se na postolju od stiropora na visini 1,54 m, bočno postavljen na udaljenosti od 6,30 m od predajne i pri-

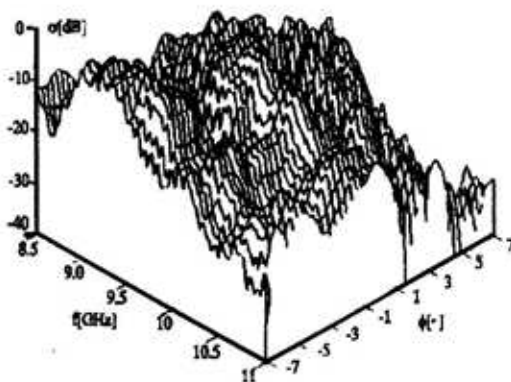
jemne levak antene postavljene na visini od 1,80 m.

Cilj je rotirao po uglu u opsegu $\pm 7^\circ$, diskretno pomeran u 128 tačaka. Za svaki ugaoni položaj vršeno je merenje dijagrama refleksije, uz diskretnu linearnu promenu frekvencije predajnog signala u 128 tačaka pri čemu je ostvaren frekventni opseg 2,5 GHz (početna frekvencija $f_1 = 8,5$ GHz, krajnja frekvencija $f_2 = 11$ GHz). Dobijeni dijagram refleksije prikazan je na slici 8.

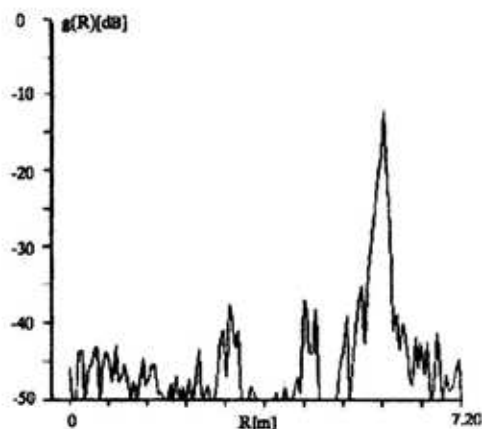
Izmereni podaci amplitude i faze primljenog signala pretvoreni su u dvodimenzionalno kompleksno polje. Nakon izvršene FFT, dobijena je distribucija „blještavih tačaka“ površine komore i modela aviona prostorno raspoređenih po



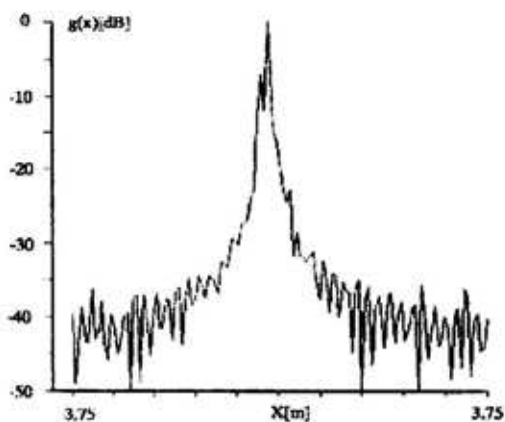
Sl. 7 – Model aviona



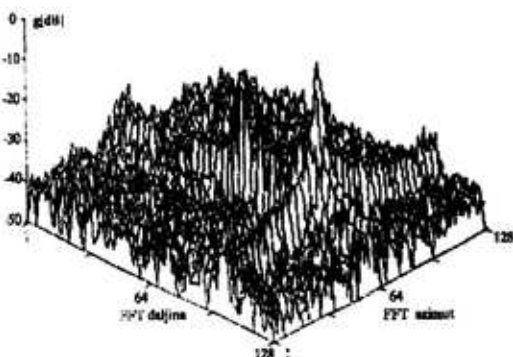
Sl. 8 – Izmereni dijagram raspršenja modela aviona (normalizovana amplituda)



Sl. 9 – Normalizovana radarska slika modela aviona 128 × 128 tačaka



Sl. 10 – Distribucija „blještavih tačaka“ po daljini dobijena iz preseka normalizovane radarske slike



Sl. 11 – Distribucija „blještavih tačaka“ po azimutu dobijena iz normalizovane radarske slike

azimutu i daljini, koja je normalizovana po intenzitetu i prikazana na slici 9. Na osnovu uslova merenja potencijalna rezolucija po daljini je $\Delta R = 0,06$ m, a po azimutu od $\Delta x_1 = 0,056$ m za frekvenciju 11 GHz do $\Delta x_2 = 0,072$ m za frekvenciju 8,5 GHz. U tom slučaju prostor podataka odgovara po daljini 7,20 m, a po azimutu od 7,16 m do 9,21 m.

Na slici 10 prikazan je presek radarske slike po daljini. Sa slike se može odrediti položaj modela, koji prema maksimumu iznosa „blještavih tačaka“ odgovara daljini od 6,12 m, uz širinu od 0,66 m.

Na slici 11 prikazan je presek radarske slike po azimutu. Sa slike se vidi da je položaj modela u centru, dok je procenjena dimenzija na osnovu „blještavih tačaka“ oko 0,90 m.

Zaključak

U radu je opisana metoda eksperimentalne analize radarske slike rotirajućeg objekta.

Opisanim mernim sistemom moguće je izvršiti jednodimenzionalnu analizu „blještavih tačaka“ po poprečnom preseku (x osi). Merenjem dijagrama refleksije u određenom frekventnom opsegu (primena generatora sa automatskom promenom frekvencije), moguće je izvršiti dvodimenzionalnu analizu blještavih tačaka po poprečnom preseku (x osi) i po daljini.

Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da distribucija „blještavih tačaka“ odgovara fizičkim dimenzijama analiziranih objekata.

Ovako dobijeni podaci o radarskoj slici nekog objekta mogu se iskoristiti kao polazna osnova za modelovanja i si-

mulaciju radarske karakteristike cilja radi analize odziva radarskih senzora.

Na osnovu analize „blještavih tačka“ moguće je izračunati fazni centar i radarsku površinu objekta, simulirati doprinos svakog raspršivača i na osnovu toga preduzimati konkretne aktivnosti radi smanjenja radarske vidljivosti sredstva.

Literatura:

- [1] Zatkalik, A.: Radiolokacija I deo, Nauka, Beograd, 1995.
- [2] Razingar, A.: Elektronsko izviđanje i maskiranje, VINC, Beograd, 1989.
- [3] Mensa, D. L.: High Resolution Radar Imaging, Artech House, Dedham, MA, 1984.
- [4] Signal Processing Toolbox User's Guide, The Math Works, Inc., Natick, MA, 1992.