SIMULATOR TEKUĆEG PRIJEMNOG SIGNALA RADARSKOG SENZORA PREPREKA ZA NISKOLETEĆE PLATFORME

Nastavak iz broja 6/97.

UDC: 629.735.052:621.396.963

Rezime:

Razvijeni matematički model i njemu odgovarajući simulacioni model (simulator tekućeg prijemnog signala radarskog senzora prepreka za niskoleteće platforme) verifikovan je kroz osnovna — pilot istraživanja. Ustanovljene su osnovne veze između elektrodinamičkog digitalnog modela terena, brzine i visine leta niskoleteće platforme u modu automatskog praćenja terena, kroz selekciju vidljivih elementarnih površina unutar rezolucionih ćelija, kao i proračun njihovih doprinosa u odbircima tekućeg prijemnog signala na ulazu u prijemnik.

Ključne reči: radarski senzor prepreka, niskoleteće platforme, matematički model, simulator prijemnog signala, odbirak tekućeg prijemnog signala, slučajni procesi, verifikacija modela.

COMPUTER SIMULATION MODEL OBSTACLE RADAR SENSORS FOR LOW-FLYING PLATFORMS

Summary:

A mathematical model has been developed and a corresponding computer simulation model (computer simulation model obstacle radar sensors for low-flying platforms) is verified through elementary pilot researches. It is presented in this paper. The elementary relations between the electrodynamic digital terrain model, speed and height of the flight of a low-flying platform are established through the selection of visual elementary surfaces as well as their contribution to the samples of the current receiving signal at the receiver entrance.

Key words: obstacle radar sensor, low-flying platform, mathematical model, computer simulator received signal, sample of the current receiving signal, causal process, verification models.

Postavke eksperimenta

Radi verifikacije razvijenog simulatora tekućeg prijemnog signala RSP za NLP sprovedeno je niz eksperimenata — simulacija. Kroz osnovna — pilot istraživanja pokazano je koliko je razvijeni simulator pogodan za analizu i sintezu funkcija RSP koje oni obavljaju u sistemima za upravljanje letom NLP.

U osnovne i nužne parametre koje treba definisati kod simulatora spadaju:

- osnovni parametri RSP,
- elektrodinamički DMT sa svojim karakteristikama,
- trajektorije leta i način kretanja NLP, i
- sektor i brzina skaniranja antene.

Za osnovne parametre RSP za NLP uzete su tipične vrednosti iz do-

stupne literature. Simuliran je rad RSP na NLP u modu automatskog praćenja terena sa sledećim osnovnim parametrima: $\lambda=3$ cm, $f_i=3,4$ kHz, $\tau_i=0,2$ μ s, $P_0=300$ W. Snop zračenja antene je igličast, pobuda Gausovog oblika, a dimenzije $\Delta\epsilon=\Delta\beta=1^\circ$ na nivou pola snage.

Simulacije su obavljane na elektrodinamičkom DMT, formiranom po algoritmu datom u [6], sa osnovom na DMV topografske karte sekcije KARLOVAC-3. Iz autokorelacione funkcije reljefa terena određeni su radijusi korelacije u pravcu x i y ose. Sa dijagrama datih na slici 10 vidi se njihova znatna razlika, što znači da nije svejedno u kom pravcu NLP leti.

Sl. 10 — Korelaciona zavisnost visina reljefa terena karte Karlovac-3

Reljef terena aproksimiran je elementarnim površinama dimenzija $\Delta x=3$ m, $\Delta y=4$ m. Karakterizacija raspršivača i dodavanje visina vegetacije i veštačkih objekata na terenu obavljano je po algoritmu datom u [6]. Izvor podataka bila je topografska karta razmere 1:25000. Identifikovano je pet karakterističnih područja sa raspršivačima: niska trava, urbana sredina, asfaltni putevi, niska šuma i zemljište pod ratarskim kulturama. Podaci za $\sigma_o(\theta)$ za raspršivače pohranjeni su u posebnu datoteku sa direktnim pristupom u obliku tabele, a za nisku travu

i šumu vrednosti se generišu pomoću generatora slučajnih brojeva sa: eksponencijalnom, Rajsovom (Rice), log-normalnom, Rejljevom (Rayleigh) ili Vejbulovom (Weibull) funkcijom raspodele. Fluktuacije amplituda simulirane su generatorima slučajnih brojeva na osnovu navedenih funkcija raspodele, zavisno od identifikacionog broja raspršivača koji se nalazi na određenoj elementarnoj površini.

Trajektorija leta NLP definisana je preko početne i krajnje tačke. Podrazumeva se da je RSP čvrsto vezan za NLP i predstavlja jednu elementarnu tačku. Pored toga, NLP leti pravolinijski, jednolikom brzinom ($V_1=\text{const.}$), na konstantnoj visini iznad srednje vrednosti visine elektrodinamičkog DMT ($h_o=\text{const.}$). Radi izbegavanja »udara« o prepreke na terenu u model je ugrađen i potprogram koji simulira rad sistema za automatsko upravljanje letom NLP. Zavisno od zadate brzine leta, svakih $k_i \cdot T_i$ proverava se razlika između h_i i h_o . Ukoliko je zadovoljen uslov $h_o - h_i \geq 0,1 \cdot h_o$ vrednost h_o se povećava za 10%. Iznosi koeficijenta k_i , u odnosu na tipične brzine leta, dati su u tabeli 1. Pretpostavka je da NLP za $k_i \cdot T_i$ pređe put od $\sim 5 \cdot \Delta x$.

Tabela 1

$V_1(\text{km/h})$	500	600	700	800	900
k_i	375	300	265	230	200

Snop zračenja antene, s obzirom na to da je simuliran rad RSP za NLP u modu automatskog praćenja terena, skanira sektorski po elevaciji. Tipične granične vrednosti za ove RSP su: $\epsilon_d = -15^\circ$ i $\epsilon_g = 10^\circ$ oko horizontalne ravni leta $\epsilon=0^\circ$, dok je brzina skaniranja $\Omega=360^\circ/\text{s}$.

Neki rezultati eksperimenata

Karakteristike tekućeg prijemnog signala zavise od: osobina terena, broja elementarnih površina u rezolucionim ćelijama, vrednosti upadnih uglova elektromagnetskih talasa na elementarne površine, karakteristika RSP, parametara snopa zračenja antene i načina skaniranja antene.

Da bi se testirao rad razvijenog simulatora odbiraka tekućeg prijemnog signala RSP za NLP sprovedena je simulacija na nekoliko proizvoljno odabranih trajektorija leta. Proizvoljan izbor trajektorija izvršen je preko slobodno izabranog pravca i visine leta ($h_0 = 100$ m, 200 m i 300 m). Rezultati dobijeni simulacijom odbiraka tekućeg prijemnog signala prikazani su na slikama 11 do 19.

U zavisnosti od nagiba antene po elevaciji $\varepsilon(t)$, odnosno njenog snopa zračenja, presek DMT sa njim sadrži različit broj rezolucionih ćelija (m). Dijagrami koji pokazuju zavisnost broja osvetljenih rezolucionih ćelija od ugla nagiba antene prikazani su na slici 11, gde je visina leta NLP (h_0) argument.

Zavisnost broja vidljivih elementarnih površina (n), u osvetljenim rezolucionim ćelijama (m), od ugla antene i visine leta NLP, prikazana je na slici 12.

Sl. 11 — Broj osvetljenih rezolucionih ćelija u zavisnosti od ugla nagiba antene i visine leta NLP

Sl. 12 — Broj vidljivih elementarnih površina u osvetljenim rezolucionim ćelijama u zavisnosti od ugla nagiba snopa zračenja antene

Dijagrami pokazuju da broj vidljivih elementarnih površina u osvetljenim radarskim rezolucionim ćelijama, smanjenjem ugla nagiba antene i povećanjem visine leta, raste. Nagli rast nastaje u oblasti tzv. malih uglova nagiba ($> -6^{\circ}$). Međutim, smanjenjem ugla nagiba antene, još brži je rast broja nevidljivih elementarnih površina, odnosno broja elementarnih površina u »senci«, što pokazuju dijagrami na slici 13. U sprovedenim simulacijama broj vidljivih, odnosno nevidljivih elementarnih površina elektrodinamičkog DMT određivan je do 5 km njihove udaljenosti od NLP.

Sl. 13 — Broj nevidljivih elementarnih površina u osvetljenim rezolucionim ćelijama, u zavisnosti od ugla nagiba snopa zračenja antene

Dijagrami koji pokazuju zavisnost srednjih vrednosti upadnih uglova elektromagnetskih talasa na vidljive elementarne površine DMT unutar osvetljenih rezolucionih ćelija, u odnosu na ugao nagiba snopa zračenja antene i visinu leta NLP, dati su na slici 14.

Sl. 14 — Srednja vrednost upadnih uglova elektromagnetskih talasa na elementarne površine rezolucionih ćelija u zavisnosti od ugla nagiba snopa zračenja antene i visine leta NLP

Oni jasno pokazuju postojanje jake korelacije između uglova nagiba i srednje vrednosti upadnih uglova. Međutim, smanjenjem ugla nagiba antene, a pogotovo na prelazu u oblast malih uglova nagiba, zavisnost srednje vrednosti upadnih uglova u odnosu na visinu leta NLP slabi ili skoro potpuno prestaje. Srednje vrednosti upadnih uglova dobijene su usrednjavanjem dobijenih upadnih uglova za proizvoljno odabrane trajektorije i visine leta NLP, iznad konkretnog elektrodinamičkog DMT i proizvoljno odabrane vrednosti uglova nagiba antene ($\epsilon = -15^\circ, -9^\circ, -4^\circ, -2^\circ$ i 0°). Kako se radi o sasvim proizvoljno izabranim trajektorijama leta i uglovima nagiba antene, očigledno je da bi svaki novi izbor dao nove vrednosti srednjih upadnih uglova.

Na slikama 15 do 19 date su funkcije gustine verovatnoće amplituda za različite vrednosti nagibnih uglova snopa zračenja antene i različite visine leta NLP ($h_0 = 100$ m, 200 m i 300 m).

Sprovedena pilot istraživanja pokazuju da simulator funkcioniše, da su uspostavljene osnovne veze između dva simulaciona modela: RSP za NLP i elektrodinamičkog DMT. Međutim, rezultati simulacija samo ukazuju na vezu između funkcija gustoće amplituda signala i slučajnih faktora koji s najvećom težinom utiču na nju: trajektorija NLP, visina i brzina leta NLP, sektor i ravan skanirane antene, teren iznad kojeg NLP leti, parametri RSP, itd.

Sl. 15 — Funkcija gustine verovatnoće amplituda odmeraka tekućeg prijemnog signala za ugao nagiba antene $\epsilon = -15^\circ$

Sl. 16 — Funkcija gustine verovatnoće amplituda odmeraka tekućeg prijemnog signala za ugao nagiba antene $\epsilon = -9^\circ$

Sl. 17 — Funkcija gustine verovatnoće amplituda odmeraka tekućeg prijemnog signala za ugao nagiba antene $\varepsilon = -4^\circ$

Sl. 18 — Funkcija gustine verovatnoće amplituda odmeraka tekućeg prijemnog signala za ugao nagiba antene $\varepsilon = -2^\circ$

Sl. 19 — Funkcija gustine verovatnoće amplituda odmeraka tekućeg prijemnog signala za ugao nagiba antene $\varepsilon = 0^\circ$

Očigledno je da, s obzirom na navedene slučajne faktore, simulacija odbiraka tekućeg prijemnog signala pra-

klično predstavlja generisanje odbiraka slučajnih procesa. Jasno je da će svaka nova realizacija simulacionog programa dati nove rezultate.

Pravi rezultati simulacije, koji bi bili uporedivi sa odgovarajućim teoretskim ili izmerenim vrednostima, dobili bi se tek usrednjavanjem velikog broja takvih realizacija. Ovom prilikom to nije rađeno, jer to nije bio krajnji cilj, a i vreme potrebno za sprovođenje simulacije za pređeni put NLP od 8 km dugo traje. Na računaru tipa PC-386/40 MHz to vreme je iznosilo oko 22 časa.

Zaključak

U radu je opisan simulacioni model RSP za NLP koji je zasnovan na principu njihovog funkcionisanja. Kako je odbirak tekućeg prijemnog signala RSP na NLP određen trenutnim uzajamnim položajem snopa zračenja antene i elementarnih raspršivača-površina terena, to se u svakom momentu vremena t_{vm} formira m odbiraka tekućeg prijemnog signala, pri čemu u formiranju svakog od njih učestvuju n elementarnih površina. Sve vidljive elementarne površine iz osvetljene oblasti formiraju m jedinstvenih raspršnih površina ΔS_m — radarskih rezolucioni ćelija. Vrednosti elementarnih signala dobijaju se na osnovu podataka sadržanih u elektrodinamičkom DMT — bazi podataka o raspršnim karakteristikama pojedinih pokrivača i proračunatih upadnih uglova.

Razvijeni simulator vrlo je pogodan za istraživanja, jer je sasvim otvoren za dalje širenje, variranje i najrazličitije kombinovanje u prostoru parametara koji utiču na karakteristike odbiraka tekućeg prijemnog signala: brzine, visine i trajektorije leta NLP, osnovnih tehničkih parametara RSP, brzine, sektora i ravni skeniranja antene, i vrste reljefa terena i pokrivača-raspršivača na njemu.

Sprovedene simulacije (osnovna pilot istraživanja), radi eksperimental-

ne verifikacije razvijenog simulatora RSP za NLP i elektrodinamičkog DMT, pokazuju njihovu potpunu kompatibilnost. Produkt simulacije su odbirci anvelopa visokofrekventnog video signala u različitim trenucima i odgovarajućim odmercima po rastojanju, koji sadrže sve relevantne podatke o preprekama na trajektoriji leta NLP, parametrima RSP, i omogućavaju formiranje kompletne slike o sistemu u celini. Ovakav simulator ublažava potrebe za eksperimentisanjem sa signalima reflektovanim (raspršenim) od površine terena, što može da donese znatne materijalne uštede.

Realizovani simulator ima generalni karakter za ovu klasu RS, jer ne zavisi od konkretnih rešenja i otvoren je za širenje, ne samo u prostoru parametara već i u prostoru modova rada. Omogućava simulaciju RSP u celini, kao i projektovanje pomoću računara (definisanje parametara RSP, obrade signala, itd.).

S obzirom na podatke dostupne iz svetske i domaće literature, rezultat ovog istraživanja je:

— *koncept simulacionog modela RSP za NLP*, zasnovan na fenomenologiji formiranja tekućeg prijemnog signala, s ciljem da omogući karakterizaciju prostora (preko detekcije prepreka na trajektoriji leta), kao i ocenu parametara signala (putem merenja daljine i ugla do prepreke);

— *programski paket za generisanje elektrodinamičkog DMT*, pogodan za simulaciju RSP za NLP, a zasnovan je na: polju reljefa terena (u čijoj osnovi je postojeći DMV preuređen 2D interpolacijom uz dodavanje visine vegetacije), i polju raspršivača-vegetacije na terenu (u čijoj osnovi je srednji intenzitet raspršenja ili srednja specifična radarska površina, uzimajući u obzir dimenzije elementarnih raspršivača i upadne uglove elektromagnetskih talasa);

— *matematički i njemu odgovarajući simulacioni model RSP za NLP* (računarski program), koji je, zapravo, simulator odbiraka tekućeg prijemnog signala — nosioca informacija o preprekama na trajektoriji leta NLP.

Literatura:

- [1] Blake, I. V.: FORTRAN computer program to calculate range of a pulse radar, NRL Report — 7448, August 28, 1972.
- [2] Suresh-Babu, B. N.: Simulation of correlated clutter environment, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987., pp 246—250.
- [3] Cynemen, J. J.: Radar Computer simulation architecture & organization, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987., pp 241—245.
- [4] Potter, K. E.: Experimental desing study of an airborne interferometer for terrain avoidance, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987., pp 508—512.
- [5] Rigel, M. B.: An advanced computer calculation of graund clutter in airborne pulse-doppler radar, Proceedings of the IEEE NAECON-77, Dayton, 1981. pp 921—928.
- [6] Đorović, M.: Digitalni model terena za modeliranje radarskih senzora prepreka na niskoletećim platformama, Naučno-tehnički pregled, № 7—8, 1991., str. 56—63.
- [7] Salapura, V.: Analiza dijagrama pokrića rada-ra na temelju digitalnog modela reljefa, NIR zadatak 516F, CVTŠ KoV JNA, Zagreb, 1986.