Sc Momčilo Đorović,
potpukovnik, dipl. inž.
VP 4954 Danilovgrad

KONCEPT SIMULACIONOG MODELA RADARSKOG SENZORA PREPREKA ZA NISKOLETEĆE PLATFORME

UDC: 629.735.052

Rezime:

U radu je predložen koncept simulacionog modela radarskog senzora prepreka za niskoleteće platforme. Zasnovan je na fenomenologiji refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od površine terena, odnosno na prostornoj selekciji vidljivih elementarnih reflektora (raspršivača) unutar rezolucionih ćelija na površini terena, kao i proceni njihovih doprinosa u odbircima tekućeg prijemnog signala. U suštini, to je koncept simulacionog modela tekućeg prijemnog signala, koji omogućava vernu karakterizaciju prostora (detekciju prepreka na trajektoriji leta) i ocenu parametara prijemnog signala, tj. merenje daljine do prepreke i ugla pod kojim se one vide sa NLP.

Ključne reči: radarski senzor prepreka, niskoleteće platforme, izbegavanje prepreka, automatsko praćenje terena, modeli raspršenja, simulacija, odmerak prijemnog signala.

CONCEPT OF COMPUTER SIMULATION MODEL OF OBSTACLE RADAR SENSORS FOR LOW-FLYING PLATFORMS

Summary:

A concept of computer simulation model of obstacle radar sensors for low-flying platform is presented in this paper. It is based on the phenomenology of electromagnetic wave reflection (scattering) from all visual surfaces (scattering) inside the resolutionary cell as well as on the evaluation of its contribution in sampling the current receiving signals. In fact, this concept is a computer simulation model of the current receiving signals, which enables the complete characterization of space: detection of obstacles on the fluent flight track and evaluation of receiving signal parameters (measurement of the range to the obstacle and the angle under which it is seen from a low-flying platform).

Key words: obstacle radar sensor, low-flying platform, obstacle avoidance, automatic terrain searching, scattering models, simulation, received signal sample.

Uvod

Savremena borbena dejstva izvode se po celoj dubini protivničke teritorije, u svim vremenskim i meteorološkim uslovima i uz maksimalno korišćenje iznenađenja. Zbog toga se od

savremenih sredstava ratne tehnike (SRT) zahteva: veliki domet, brzo otkrivanje i dejstvovanje po ciljevima u svim meteorološkim uslovima. Ovakvi zahtevi danas se realizuju sredstvima koja dejstvuju brzo, velikog su dometa i prostorne fleksibilnosti, što je od-

lika sredstava koja dejstvuju iz vazdušnog prostora. Dakle, borbena dejstva se sve više prenose u vazdušni prostor. U skladu sa tim, definisane su i koncepcije dejstva vodećih svetskih sila (trodimenzionalni rat, udar sa distance, itd.). Nosioi borbenih dejstava su: avioni, helikopteri, bespilotne letelice i krstareće rakete.

Sl. 1 — Ugroženost NLP u funkciji visine leta

Zbog ugroženosti od protivvazdušne odbrane (PVO) ova SRT su prinuđena da lete na malim i vrlo malim visinama [1—3], pa se zato i zovu niskoletеće platforme (NLP). Ukupan rizik pri letu na malim i vrlo malim visinama sastoji se od rizika da NLP udari o prepreku na zemlji i da bude oboren sistemima PVO sa zemlje (slika 1).

Radi izbegavanja udara o prepreke na zemlji, savremeni NLP opremaju se radarskim senzorima (RS) prednje polusfere [3] ili, kraće, radarskim senzorima prepreka (RSP). Za obavljanje ove funkcije primenjuju se RS iz prostog razloga što samo oni mogu da,

u svako doba dana i u otežanim meteorološkim uslovima, obezbede pouzdane informacije o preprekama na trajektoriji leta.

Istraživanja su pokazala [1] da minimalnu ugroženost imaju NLP opremljeni sa RSP i dobro uvežbanom posadom, pri letu na relativnoj visini od 60 m.

Osnovne pretpostavke u kojima RSP, s obzirom na karakteristike dejstava NLP, obavljaju svoju funkciju su:

- različiti reljefi terena (ravničarski, brdovit, planinski, i njihove kombinacije),
- relativno široka rezoluciona površina i veliki broj različitih reflektora (raspršivača) na njoj,
- velika brzina obrade signala, s obzirom na visinu leta i relativno malu daljinu do prepreka,
- zahtev za veliku verovatnoću pravilne detekcije, uz minimalnu verovatnoću lažne uzbune.

Funkcije radarskog senzora prepreka na niskoletеćim platformama

Funkcija RSP na NLP jeste da obezbedi pouzdanu informaciju o preprekama na trajektoriji leta za sledeće modove rada [1]:

- ručno praćenje terena (terrain clearance radar);
- ručno izbegavanje prepreka (terrain avoidance radar);
- automatsko praćenje terena (terrain following radar).

Za razliku od prvih realizacija, gde je svaki mod rada ostvarivan posebnim RS, savremeni višefunkcijski avionski radari ne samo da obavljaju više funkcija već i funkcije dveju bitno različitih misija [4]: vazduh — zemlja i vazduh — vazduh.

Navedeni modovi rada RSP za NLP često se kombinuju sa ostalim funkcijama višefunkcijskih radara, kao što su: mapiranje terena, praćenje ciljeva na terenu, merenje brzine leta i dr. Takvi su, na primer, američki avionski višefunkcijski radari AN/APG-66 [5] i AN/APG-68 [6] i radari francuske proizvodnje RDM i RDI [7].

Kod modova rada u misiji vazduh — zemlja nosioci informacija o terenu — moru, ciljevima na njima i hidrometeorološkim pojavama su reflektovani (raspršeni) elektromagnetski talasi. Kod modova rada u misiji vazduh — vazduh situacija je sasvim dru-

htevaju primenu određenih metoda obrade signala radi njihove eliminacije. U ovom radu razmatrane su samo funkcije RSP u modovima rada ručnog izbegavanja prepreka i automatskog praćenja terena.

Slika 2 ilustruje funkciju RSP u modu ručnog izbegavanja prepreka — stvaranja konturne mape. Suština se svodi na preslikavanje terena u pravcima leta NLP na radarski pokazivač. Prepreke na terenu, koje nadvišuju tzv. bezbednosnu visinu NLP moraju se izbeći.

Funkcija RSP u sistemu upravljanja letom u modu automatskog praće-

Sl. 2 — Princip rada RSP za izbegavanje prepreka:
a) geometrija formiranja konturne mape terena, b) slika terena prednje polusfere na radarskom pokazivaču

gačija. Reflektovani — raspršeni elektromagnetski talasi od terena (mora) i ciljeva na njima su smetnje, koje za-

nja terena može se shvatiti pomoću strukturne šeme prikazane na slici 3. RSP i radarski visinomer su senzori

ovog sistema. Za svaku prepreku, koja nadvišava bezbednosnu visinu (h_0) RSP određuje njenu udaljenost (r) i ugao (ϵ). Funkcija sistema za upravljanje letom NLP u modu automatskog praćenja terena jeste generisanje upravljačkih signala za njegovo prevođenje iznad prepreka terena. Posle prelaska prepreke, dok RSP traži sledeću, spuštanjem NLP do bezbednosne visine, kao i upravljanje letom iznad

stoje u funkcijama koje obavlja računarski podsistem.

U modu ručnog izbegavanja prepreka u sistem upravljanja letom uključen je i pilot, koji, na osnovu radarske slike terena bira putanju leta, tj. odlučuje o manevru u levu ili desnu stranu od prepreke na koju nailazi [2]. Naravno, pri tome RSP obavlja sektorsko skaniranje po azimutu.

Sl. 3 — Strukturna šema sistema za praćenje reljefa terena

mora i ravnog terena, obavlja se na osnovu informacija od radarskog visinomera.

U obezbeđenju sigurnog leta NLP, bilo da je reč o modu ručnog izbegavanja prepreka ili o automatskom praćenju terena, funkcija RSP svodi se na jednu te istu [2—7]: merenje udaljenosti do prepreka na terenu i uglova pod kojima se one vide. U prvom slučaju radi se o azimutu, a u drugom o elevaciji, respektivno. Veće razlike po-

U modu automatskog praćenja terena, u sistemu upravljanja nema pilota. Istina, on se može javiti kao nadzorni organ, koji ima mogućnost da koriguje let. Sistem upravljanja letom NLP u ovom modu koristi informacije još i od radarskog visinomera, merača brzine, itd. [2]. Antena RSP u modu automatskog praćenja terena skanira sektorski, u pravcu leta, po elevaciji.

Dostupna literatura i baze podataka ne nude puno informacija o RSP.

Zna se samo da su savremeni avioni bombarderi, npr.: TORNADO ISD, MIRAGE 2000, A/F-18 i drugi, opremljeni radarima za praćenje terena. S druge strane, savremene krstareće rakete ALCM¹, SLCM² (TOMAHAVK), SS-N3 (SNADDOK) i druge koriste tzv. TERCOM³ navigacioni sistem. One lete na osnovu podataka o visini terena, koji se nalaze u memoriji računara, uz korigovanje putanje leta na kontrolnim tačkama. Korekcija se vrši na osnovu razlike između podataka o visini terena, koji postoje u memoriji računara i izmerenih visina terena iznad kojeg raketa trenutno leti. Funkciju senzora u ovom sistemu vrši radarski visinomer.

Očito funkcije RS na NLP spadaju u misiju vazduh — zemlja, gde su reflektovani (raspršeni) elektromagnetski talasi od površine terena (mora) nosioci informacije o prisustvu prepreka na trajektoriji leta, daljini do njih i uglovima pod kojima se sa trenutne lokacije NLP one vide.

Osnovni predmet istraživanja u ovom radu je koncept matematičkog, i njemu odgovarajućeg simulacionog modela RSP za NLP, koji treba da bude otvoren za različite vrste terena, visine i brzine leta NLP, načine i brzine skaniranja snopa zračenja antene, kao i dalje mogućnosti proširenja u prostoru parametara RSP sa osnovnom funkcijom da pribavlja informacije o preprekama na trajektoriji leta.

Dakle, RSP svoju funkciju u sistemu vođenja NLP ostvaruju vršeći detekciju prepreka na terenu i merenjem daljina do njih, i jednog od uglova pod kojim se prepreke vide (azimut ili elevaciju). Oblast istraživanja, matematičko modelovanje RS i simulacija njihovog rada na računaru, dosta je razvijena. To se posebno odnosi na modele refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od različitih vrsta terena, a i analizu i sintezu RS. Značajni radovi iz ove oblasti, devedesetih godina, objavljeni su i u našoj zemlji.

Teorijska i fenomenološka zasnovanost modela

Radarske senzorske prepreke spadaju u aktivne monostatičke RS kod kojih nosilac informacije — signal, biva raspršen (reflektovan) od objekata u posmatranom prostoru. U teoriji radio-lokacije to su tzv. ciljevi s raspodeljenom radarskom površinom, pod kojima podrazumevamo ciljeve većih dimenzija (površina ili zapremina) od rezolucione površine (zapremine) RS. U osnovi svega leži sam proces raspršenja elektromagnetskih talasa od objekata u prostoru ili od površine terena i objekata na njemu. Elektromagnetski talasi, padajući na površinu terena pokrivenu prirodnim objektima (biljnim pokrivačem, obradive kulture, šume, pašnjaci, goleti i dr.) ili veštačkim objektima (putevi, željezničke pruge, naselja, itd.), raspršuju se od velikog broja slučajno raspoređenih elementarnih raspršivača. Model raspršenja od površine terena, kao skupa velikog broja nezavisnih elementarnih raspršivača, zasnovan je na tzv. Hajgens-Kirkofovom (Huyghens-Kirchoff) principu, po kome svaki elementarni raspršivač, na koji padaju elektromagnetski talasi, postaje sekundarni izvor zračenja (slika 4).

Prijemni signal, raspršen od ciljeva s raspodeljenom radarskom površinom, nastaje uz pretpostavke da:

— signal od jednog elementarnog raspršivača ne zavisi od drugih,

— broj osvetljenih raspršivača na rezolucionalnoj površini mora biti veliki, a njihove raspršne osobine su približ-

¹ ALCM — Air Launched Crouse Missiles — krstareće rakete lansirane iz vazduha;

² SLCM — Sea Launched Crouse Missiles — krstareće rakete lansirane s mora;

³ TERCOM — TERRain CONtour Matching technique ili TERRain COMparison Method — tehnika praćenja konture terena.

no jednake — nema dominantnih raspršivača.

Radarska površina rezolucione ćelije, po modelu relativne faze, iznosi:

$$\sigma = \left| \sum_{i=1}^N \sqrt{\sigma_i} \exp(-j\beta d_i) \right|^2 \quad (1)$$

gde je:

$$\beta = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda} \quad \text{— fazna konstanta,}$$

$$\sigma_i = \sigma_{oi} \cdot A \quad \text{— radarska površina elementarnog raspršivača } A,$$

Polazeći od modela (2), za signal koji nastaje raspršenjem od N elementarnih signala (slika 4), može se napisati:

$$u_s = \sum_{i=1}^N u_i \cos(\omega \cdot t - \omega t_i + \varphi_i) = U \cos(\omega \cdot t + \Phi) \quad (3)$$

gde je:

u_i — amplituda elementarnog signala, koja zavisi od energetskeg potencijala radarskog senzora, njegove udaljenosti od i-tog raspr-

Sl. 4 — Princip raspršenja elektromagnetskih talasa od ciljeva s raspodeljenom radarskom površinom:

a) elementarni signali, b) sumarni signal-suma svih fazora elementarnih signala »osvetljenih« raspršivača

d_i — relativna razdaljina između raspršivača.

Kako je, zbog prostornih fluktuacija elementarnih površina σ_i , teško odrediti međusobna relativna rastojanja d_i , makar u granicama reda veličine talasne dužine λ , u upotrebi je najčešće tzv. model slučajne faze:

$$\sigma = \left| \sum_{i=1}^N \sqrt{\sigma_i} \exp(-j\varphi_i) \right|^2 \quad (2)$$

gde je:

φ_i — slučajna faza uniformne distribucije u granicama $[0, 2\pi]$.

šivača, kao i od raspršnih osobina samog raspršivača;

t_i — vreme prostiranja talasa do i-tog raspršivača i natrag;

φ_i — slučajni fazni pomak (uniformna distribucija u granicama $[0, 2\pi]$);

N — broj elementarnih raspršivača na rezolucionalnoj ćeliji »osvetljene« površine;

U — amplituda sumarnog signala,

Φ — faza sumarnog signala.

S obzirom na to da RSP rade u impulsnom režimu, broj elementarnih

raspršivača u rezolucionim ćelijama »osvetljenih« površina određuje se iz vremenskih odnosa prikazanih na slici 5. Za impuls trajanja τ_i prijemni signal u trenutku t nastaje sumiranjem elementarnih signala raspršenih od raspršivača u oblasti $r_1 = c(t - \tau_i)/2$ i $r_2 = c \cdot t/2$. Elementarni signali raspršeni od raspršivača na udaljenosti $r < r_1$ već su prošli, a od raspršivača na udaljenosti $r > r_2$ još nisu došli do prijemne antene. Tako je površina terena, sa kojeg elementarni signali istovremeno dolaze u prijemnu antenu, u obliku isečka kružnog prstena s unutrašnjim i spoljnim poluprečnikom respektivno:

$$r_{01} = \sqrt{\left[\frac{c(t - \tau_i)}{2}\right]^2 - h_o^2},$$

$$r_{02} = \sqrt{\left(\frac{c \cdot t}{2}\right)^2 - h_o^2}.$$

Za $t_o < t < t_o + \tau_i$ ($t_o = 2h_o/c$), površina terena sa koje istovremeno stižu raspršeni elementarni signali je u obliku kruga (slučaj radarskog visinomera), dok se kod RSP radi o većim udaljenostima ($t - t_o \geq \tau_i$), pa su unutrašnji i spoljni poluprečnik prstena u

odnosu $r_{02} = r_{01} + c \cdot \tau_i/2 \cdot \sec \varepsilon$, a rezoluciona površina je samo deo prstena — površina S (slika 5).

Površina radarske rezolucione ćelije izračunava se pomoću izraza:

$$S = 2 \cdot r \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\Delta\beta}{2} \right) \cdot \frac{c \cdot \tau_i}{2} \sec \varepsilon \quad (4)$$

gde je:

$$\operatorname{tg} \varepsilon < \frac{2 \cdot r \cdot \operatorname{tg}(\Delta\beta/2)}{(c \cdot \tau_i)/2},$$

$$r = (r_1 + r_2)/2,$$

$\Delta\beta$ — širina snopa zračenja antene po azimutu na nivou pola snage.

Za male širine snopa zračenja antene, koje kod RSP iznose 1 do 3° , izraz (4) dobija jednostavniji oblik:

$$S = r \cdot \Delta\beta \frac{c \cdot \tau_i}{2} \sec \varepsilon \quad (5)$$

pri čemu je:

$$\operatorname{tg} \varepsilon < \frac{r \cdot \Delta\beta}{(c \cdot \tau_i)/2}.$$

Princip preslikavanja terena na pokazivač RSP, u modu ručnog izbe-

Sl. 5 — »Osvetljena« i rezoluciona ćelija površinskog cilja za impulsni signal i mali ugao nagiba snopa zračenja antene

gavanja prepreka, zasnovan je na serijskom pretraživanju prostora po azimutu u sektoru (β_1, β_2) oko pravca leta, dok je $\epsilon = \text{const.}$ Sa druge strane, funkcija RSP u modu automatskog praćenja terena svodi se na specijalan slu-

čaj moda ručnog izbegavanja prepreka, gde je $\beta = \text{const.}$, a snop zračenja antene skanira po elevaciji u sektoru (ϵ_d, ϵ_g) oko horizontalnog pravca leta $\epsilon_o = 0$.

Koncept simulacionog modela RSP za NLP zasnovan je na fenomenologiji refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od površine terena, odnosno na prostornoj selekciji vidljivih elementarnih reflektora (raspršivača) unutar rezolucioni celija na površini terena, koji učestvuju u formiranju tekućeg prijemnog signala, kao i proračunu njihovog doprinosa u odmerku tekućeg prijemnog signala na ulazu u antenu. U suštini, to je koncept simulacionog modela tekućeg prijemnog signala, koji omogućava vernu karakterizaciju prostora (detekciju prepreka na trajektoriji leta), i ocenu parametara prijemnog signala, tj. merenje daljine do prepreke i ugla pod kojim se ona vidi sa NLP.

Struktura simulacionog modela

Na osnovu opisanog principa rada RSP za NLP (modovi ručnog izbegavanja prepreka i automatskog praćenja terena), jedna od mogućih struktura simulacionog modela prikazana je na slici 6. Model je dekomponovan na odvojene blokove, pri čemu svaki od njih može biti realizovan u simulacionom programu, kao deo jedinstvenog programa ili kao potprogram. Za istraživanja širokog spektra problema pogodnija je realizacija blokova u obliku potprograma, jer omogućava struktuiranje modela RSP različite složenosti uz minimalne prepravke programa.

U blok za formiranje tekućeg prijemnog signala spadaju:

- elektrodinamički DMT⁴;
- model snopa zračenja antene;
- generator šuma,
- blok za formiranje tekućeg prijemnog signala.

⁴ Pojam elektrodinamički digitalni model terena (DMT) autor uvodi u svom radu [18]. Za potrebe razvoja simulacionog modela tekućeg prijemnog signala RSP za NLP dat je algoritam i, specijalno za tu namenu razvijen; programski paket za generisanje elektrodinamičkog DMT. Programski paket je razvijen na računaru CYBER 170/825 u programskom jeziku FORTRAN-5.

Uticaj parametara RSP trajektorije leta NLP i načina skaniranja snopa zračenja antene na formiranje tekućeg prijemnog signala, kao što se vidi i sa slike 6, direktan je.

Pri eksperimentisanju sa simulacionim modelima veoma je važno dobro izabrati početne podatke. Loše izabrani početni podaci daju neočekivane rezultate i dovode u sumnju valjanost razvijenog modela.

U početne podatke računarskog simulacionog modela RSP za NLP spadaju:

- parametri kretanja NLP (visina h_o , i vektor brzine $\bar{V}_1$);
- oblik trajektorije leta (pravolinijska ili manevarska);
- način kretanja (jednolikom ili promenljivom brzinom);
- parametri RSP (talasna dužina λ , impulsna frekvencija f_i , impulsna snaga P_i , dužina impulsa τ_i , osetljivost prijemnika,...);
- dimenzije snopa zračenja antene (širina po azimutu $\Delta\beta$, i elevaciji $\Delta\epsilon$),
- širina sektora osmatranja (po elevaciji ili azimutu).

Trajektorija leta NLP određuje se na osnovu njegovih početnih koordinata i parametara kretanja. Kako je modelovanje trajektorije leta NLP u re-

Sl. 6 — Struktura simulacionog modela

alnim uslovima složen problem, u ovom radu se predlažu jednostavni modeli kretanja, iz najmanje dva razloga. Prvo, zato što je on temeljito obrađen u nizu klasičnih monografija iz oblasti vođenja i upravljanja, i drugo, zato što postoji čitava lepeza problema koja se može rešavati ne uzimajući u obzir realne uslove leta konkretnog NLP. Primena prostih modela kretanja znatno će uprostiti razvoj simulacionog modela RSP za NLP i ubrzati njegov rad.

Skaniranje snopa zračenja antene može biti po elevaciji (u sektoru ε_d , ε_g) ili po azimutu (u sektoru β_1 , β_2), u pravcu leta NLP što zavisi od moda rada. U oba slučaja, snop zračenja antene skanira jednolikom brzinom.

Elektrodinamički DMT treba da sadrži sve elemente koji omogućavaju što realniji opis procesa raspršenja elektromagnetskih talasa od realnog terena. Osnovna karakteristika, koja se koristi za opis procesa raspršenja,

jeste srednji intenzitet raspršenja, tj. srednja specifična radarska površina σ_0 .

Vrednost σ_0 zavisi od: upadnog ugla elektromagnetskih talasa na površinu raspršivača, talasne dužine, vrste raspršivača (vegetacija, golet, itd.), godišnjeg doba (vlažnost, vodljivost površine), trenutnih vremenskih prilika, brzine vetra i vrste polarizacije elektromagnetskih talasa, gde dominantni uticaj ima upadni ugao. Do ove karakteristike terena dolazi se merenjem. U klasičnoj literaturi iz oblasti radarske teorije nalaze se rezultati mnogobrojnih merenja σ_0 za različite vrste reljefa terena, vegetacije, godišnja doba, noseće frekvencije itd., provedena pedesetih i šezdesetih godina. Svi navedeni faktori imaju slučajan karakter.

U osnovi elektrodinamičkog DMT, s obzirom na proizvoljan izbor trajektorije, visinu i brzinu leta NLP kao i brzinu, ravan i sektor skeniranja snopa zračenja antene, nalaze se dva slučajna površinska polja [18]:

— polje reljefa terena, koje zavisi od uzajamnog rasporeda visina određenog dela terena,

— polje raspršivača, koje zavisi od vrste raspršivača: prirodnih (pašnjaci, šume, oranice, itd.), ili veštačkih (putevi, piste, gradsko zemljište, pruge, mostovi, reke itd.).

Šum potiče od samog RSP kao posledice termičkih efekata u antenskom delu i prijemniku. Modelira se kao aditivni beli šum i dodaje korisnom signalu. Atmosferske pojave su, takođe, izvori šuma, ali u ovom radu ne uzimaju se u obzir.

U bloku za formiranje tekućeg prijemnog signala, na osnovu proračuna trenutne lokacije i položaja pokretnog snopa zračenja antene, određuje se presek elektrodinamičkog DMT i modela snopa zračenja antene, što, zapravo,

predstavlja izdvajanje »vidljivih« elementarnih površina.

Odmerak tekućeg prijemnog signala formira se vektorskim sumiranjem svih elementarnih signala reflektovanih od »vidljivih« elementarnih površina unutar rezolucione ćelije. Simulacija efekata raspršenja elektromagnetskih talasa uzima u obzir karakteristike raspršivača koji se na elementarnim površinama terena nalaze, šum prijemnika, kretanje NLP i snopa zračenja antene. Vreme se uzima u obzir

kroz računanje trenutne vrednosti prijemnog signala za svaki reflektovani impuls, koji se zove tekući prijemni signal. Pod tekućim prijemnim signalom podrazumeva se kompleksna anvelopa signala $u_s(t)$ raspršenog od terena. Efekti sekundarnog i viših redova difrakcije elektromagnetskih talasa, uz pretpostavku da predajni signal trpi samo jednu transformaciju na putu RSP — teren i obratno, zanemareni su.

Struktura simulacionog modela RSP za NLP i njemu odgovarajućeg računarskog programa, zasnovana je na principu njegovog rada i mehanizmu preslikavanja terena na radarski pokazivač. Predloženi model je dekomponovan na blokove, pri čemu bi se svaki od njih, u računarskom programu, realizovao kao potprogram, što bi omogućavalo različito struktuiranje modela RSP za NLP, uz minimalne intervencije na glavnom programu, kao i istraživanja oba moda njegovog rada.

Zaključak

U obezbeđenju sigurnog leta NLP, bilo da je reč o modu ručnog izbegavanja prepreka ili o automatskom praćenju terena, funkcija RSP svodi se na [2—7]: detekciju prepreka na terenu i merenje udaljenosti do njih, kao i ugla pod kojim se one vide. U prvom slučaju radi se o azimutu, a u drugom o elevaciji, respektivno. Za ova dva moda veće razlike postoje samo u funkciji koje obavlja računarski podsistem.

U modu ručnog izbegavanja prepreka u sistem upravljanja letom uključen je i pilot, koji, na osnovu radarske slike terena, bira putanju leta, tj. odlučuje o manevru u levu ili desnu stranu od prepreke na koju nailazi [2]. Pri tome RSP vrši sektorsko skaniranje po azimutu.

U modu automatskog praćenja terena, pilota u sistemu upravljanja nema, mada se on može pojaviti kao nadzorni organ, koji ima mogućnost da koriguje let. Sistem upravljanja letom NLP u ovom modu koristi informacije i od radarskog visinomera, merača br-

zine, itd. [2]. Antena RSP u modu automatskog praćenja terena skanira sektorski (u pravcu leta), po elevaciji.

U radu je predložen koncept simulacionog modela RSP za NLP koji je zasnovan na fenomenologiji refleksije (raspršenja) elektromagnetskih talasa od površine terena, odnosno na prostornoj selekciji vidljivih elementarnih reflektora (raspršivača) unutar rezolucioni ćelija na površini terena, koji učestvuju u formiranju tekućeg prijemnog signala, kao i proceni njihovog doprinosa u odmerku tekućeg prijemnog signala na ulazu u antenu. U suštini, to je koncept simulacionog modela tekućeg prijemnog signala, koji omogućava vernu karakterizaciju prostora (detekciju prepreka na trajektoriji leta), i ocenu parametara prijemnog signala, tj. merenje daljine do prepreke i ugla pod kojim se one vide sa NLP.

Struktura simulacionog modela RSP za NLP i njemu odgovarajućeg računarskog programa, zasnivala bi se na principu njegovog rada i mehanizmu preslikavanja terena na radarski

pokazivač. Predloženi model je dokomponovan na blokove, pri čemu bi se svaki od njih u računarskom programu realizovao kao potprogram, što bi omogućavalo različito struktuiranje modela RSP za NLP uz minimalne inter-

vencije na glavnom programu, kao i istraživanja oba moda njegovog rada. Razlika je samo u ravni i granicama sektora skaniranja snopa zračenja antene.

Literatura:

- [1] Rode, R. & Hessel, A.: Automatic controled terrain following flight, Conference Proceedings, Military Microwaves, 1980.
- [2] Hovanessian, S. A.: Radar detection & Tracking systems, Artech House, inc., Dedham, MA., 1982.
- [3] Andreev, G. A., Potapov, A. A.: Aktivnije sistemi orijentaciji po geofizičeskim poljam, Zarubežnaja radioelektronika, Moskva, 9/1988.
- [4] Clarke, J. & Stewart, C. M.: Airborne radar, Part I: Air-to-surface, Microwave Journal, January 1986. pp. 32—46, & Airborne radar, Part II: Air-to-surface, Microwave Journal, February 1986. pp. 44—54.
- [5] Rigel, M. B., Mooney, D. H. & Long, N. H.: F-16 Pulse doppler radar (AN/APG-66) performance, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. AES-19, №1., January 1985. pp 301—311.
- [6] White, R. E.: Multiple role radar designed for F/A-18, Defence Elektronics, January 1980.
- [7] Bordeaux.: RDM Enters productions for MIRAGE 2000, Flight Internacional, April 1980.
- [8] Wenisch, G.: Pre'vision des e'chos radar du sol d'apre's la topographie' du terrain l'onde elektrique, Sept. 1971. Vol. 51., fasc. 8, pp. 696—703. (Prevod na ruski jezik: Zarubežnaja radioelektronika, Moskva, №4., 1972).
- [9] Cynemen, J. J.: Radar computer simulation arhitecture & Organization, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp 241—245.
- [10] Haucok, R. J., Autonik, P., Sherrill, F. G., McKay, J. A. & Clary, J. C.: Interaktive Radar Environment Simulation Model (IRESM), Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp 272—274.
- [11] Potter, K. E.: Experimental desing study of an airborne interferometer for terrain avoidance, Conference Proceedings, Computer Simulations, Montreal, Quebec, July 1987, pp 508—512.
- [12] Kostić, A., Kovačević, B., Radosavljević, Lj., Stanković, S. & Živojinović, V.: Funkcionalna simulacija radara, Naučno-mehanički pregled, №7-8, 1991, str. 49—55.
- [13] Zubkovič, S. G.: Statističeskie karakteristiki radiosignalov, otraženih ot zemnoj poverhnosti, Sovjetskoe radio, Moskva, 1968.
- [14] Friedlander, A. L. & Greenstein, L. J.: A generalized clutter computation procedure for airborne pulse-doppler radars, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, №1., 1970, pp 51—61.
- [15] 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.
- [16] Kulemin, G. P. & Raskazovskij, V. B.: Rasejanie milimetrovih radiovoln poverhnostju zemlji pod malimi uglami, Naukova dumka, Moskva, 1968.
- [17] Barton, D. K.: Land clutter models for radar desingn and analysis, Proceedings of the IEEE, Vol. 73, №2., 1985.
- [18] Đorović, M.: Digitalni model terena za modeliranje radarskih senzora prepreka na niskoletećim platformama, Naučno-mehanički pregled, №7-8, 1991, str. 56—63.