

MODELOVANIE VZDUŠNÝCH CIEĽOV

Ing. Zsolt PASTOREK¹, Ing. Dušan CABALA¹, doc. Ing. Zdislav EXNAR, CSc.²

¹Vojenská Akadémia Liptovský Mikuláš, Kt. rádiolokácie a automatizácie.

²Žilinská univerzita, detašované pracovisko Liptovský Mikuláš

Abstrakt

V prípade, že sa uvažuje o rádiolokátore ako o jednom z prvkov väčšieho dynamického systému (napr.: automatizovaný systém riadenia vzdušnej prevádzky), vzniká pri analýze celého systému potreba u uvedeného rádiolokátora definovať jeho vlastnosti z pohľadu teórie automatického riadenia. Hlavné hodnotiace kritériá sú: úspešná detekcia cieľa a presnosť sledovania zachyteného cieľa. V oboch prípadoch je potrebné priviesť na vstup realizovaného modelu rádiolokátora určitý vstupný signál – referenčnú veličinu w .

Tento článok prezentuje možný spôsob vytvorenia matice dát prostredníctvom jednoduchého m - skriptu v prostredí MATLAB. Dáta zahŕňajú súradnice pohybu cieľa v 3D priestore (kartézské X, Y, Z ; sférické r, φ, ϑ) a efektívnu odrazovú plochu cieľa σ . Vytvorené dáta slúžia ako vstupný signál pre navrhnutý model rádiolokátora v prostredí SIMULINK a sú uložené do pracovného priestoru (workspace), odkiaľ sa načítavajú do daného modelu.

Úvod

Vlastnosti dynamických systémov možno posúdiť na základe odozvy systému na vybrané referenčné signály. Medzi najčastejšie používané referenčné vstupné signály patria:

- **jednotkový skok** (jednorázová zmena) vstupného signálu,
- **jednotkový impulz** vstupného signálu,
- **monotónne rastúca funkcia**,
- **sínusový** (periodicky sa meniaci) vstupný signál a pod.

V prípade rádiolokačných systémov za vstup môžeme považovať polohu cieľa. Pretože cieľ sa pohybuje v 3D priestore, vstupné údaje musia obsahovať minimálne 3 súradnice. V uvedenej aplikácii sú namodelované vstupné signály zodpovedajúce jednotkovému skoku, monotónne rastúcej funkcii a periodicky sa meniacemu signálu.

Vytvorenie vstupných signálov

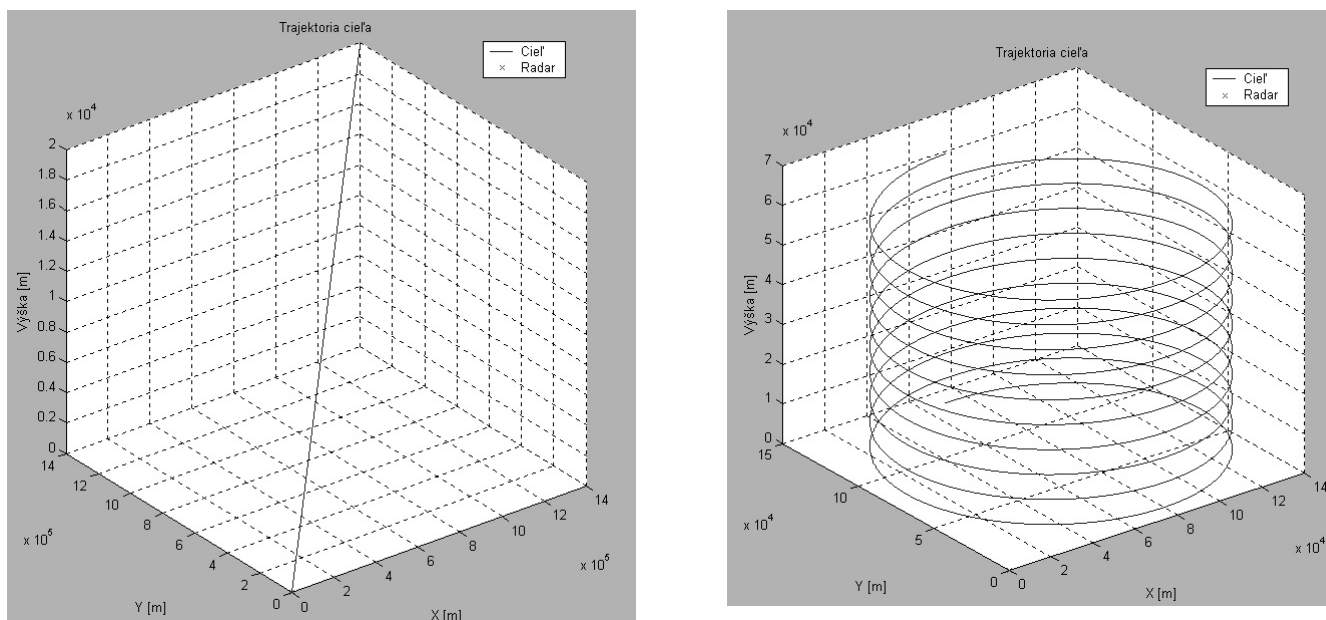
Jednotkový skok je zrealizovaný ako náhle objavenie sa stojacieho cieľa v priestore v určitom časovom okamžiku. Cieľ sa objaví po uplynutí určitého časového okamžiku (500 sekúnd od začiatku simulovaného času). Uvedená doba je postačujúca na prípadné odsimulovanie prechodných javov v systéme, na ktorý je uvedený vstupný signál privádzaný. Súradnice rádiolokátora sú v počiatku súradnicového systému tj. $X, Y, Z = 0$. Súradnice cieľa sú pevne zadané a to pre súradnice $X, Y, Z = 25$ km, čo predstavuje šikmú diaľku 43,3 km.

Monotónne rastúca funkcia na vstupe rádiolokátora môže byť predstavovaná cieľom, ktorý letí od stanoviska rádiolokátora s konštantným nárastom výšky a šikmej diaľky. Z praktického hľadiska je však výhodnejšie, ak sa tento cieľ k rádiolokátoru približuje. Zisťovaný parameter rádiolokátora je maximálna detekovaná vzdialenosť cieľa a čas, ktorý rádiolokátor potrebuje na zistenie cieľa od doby keď cieľ vletel do snímaného priestoru. Preto modelovaný cieľ je definovaný nie rastúcou, ale monotónne klesajúcou funkciou v čase, pričom jeho trajektória končí v počiatku súradnicovej sústavy (v stanovisku rádiolokátora). Cieľ sa približuje k rádiolokátoru zo šikmej diaľky 2000 km s počiatkovou výškou 200 km a s konštantnou rýchlosťou 1000 m.s⁻¹. Dané parametre cieľa boli navrhnuté na základe odporúčaní expertov v PVO.

Periodický vstupný signál je realizovaný krúživým pohybom cieľa, pričom mení svoju výšku (závitnica). Rádiolokátor je umiestnený mimo polomeru tejto závitnice a to preto,

aby šikmá diaľka tiež vykazovala periodicky meniaci sa priebeh. Cieľ opisuje kružnicu s priemerom 140 km a mení výšku z 0 na 63 km. Šikmá diaľka je zároveň modulovaná narastajúcou výškou. Obdobne je modulovaná aj sférická súradnica určujúca polohový uhol ϑ . Uhlová rýchlosť v azimute (uhol φ) sa mení v rozsahu $0,01 \text{ rad.s}^{-1}$ až $0,07 \text{ rad.s}^{-1}$.

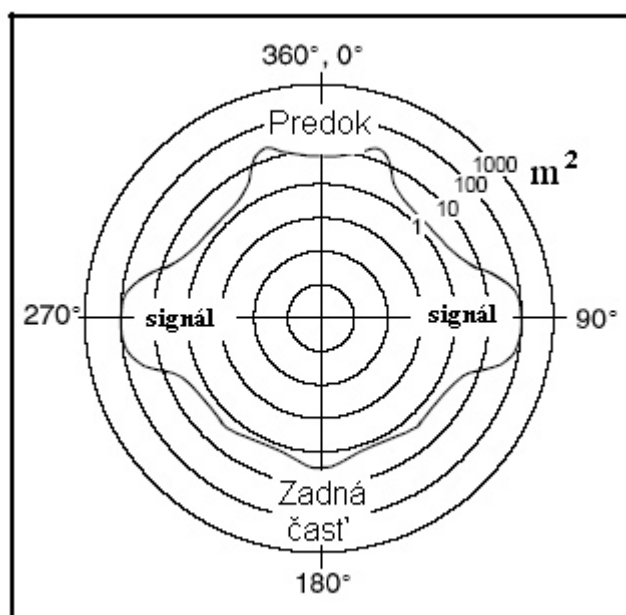
Dráhy cieľa pre klesajúcu a pre periodickú vstupnú funkciu sú zobrazené na obrázku 1. Doba simulovaného letu je 2000 sekúnd, čo je dostatočne dlhý interval pre odsimulovanie ľubovoľných prechodových procesov.



Obrázok 1. Priebehy vygenerovaných signálov pohybu cieľa.

Známe je, že do procesu detekcie cieľa vstupujú i náhodné veličiny ako šum prijímača a odrazná plocha cieľa. Šum prijímača je zohľadnený samotným modelovaným systémom, avšak efektívna odrazná plocha cieľa je vlastnosťou vstupného signálu. Efektívna odrazná plocha cieľa môže byť po celú dobu konštantná alebo sa môže meniť – potom odrazený signál od cieľa fluktuuje. Prípady, keď signál od cieľa fluktuuje vyriešil P. Swerling¹. Podľa neho sú definované štyri základné typy cieľov. Ciele typu Swerling I a Swerling III fluktuujú pomaly, ciele typu Swerling II a IV fluktuujú rýchlo. Merítkom pre uvedené rozdelenie je opakovaná frekvencia vysielaných impulzov a rýchlosť otáčok antény rádiolokátora. V uvedenom riešení sa ráta s cieľmi, ktoré majú Rayleighovo rozloženie pravdepodobnosti amplitúdy a sú tvorené rádovo rovnakými odraznými centrami. Ide o ciele typu Swerling I a II.

V prípade cieľa typu Swerling I je fluktuácia vzhľadom k opakovacej frekvencii rádiolokátora malá, ale vzhľadom k otáčkam antény rýchla.



Obrázok 2. Závislosť σ na uhle ožiarenia

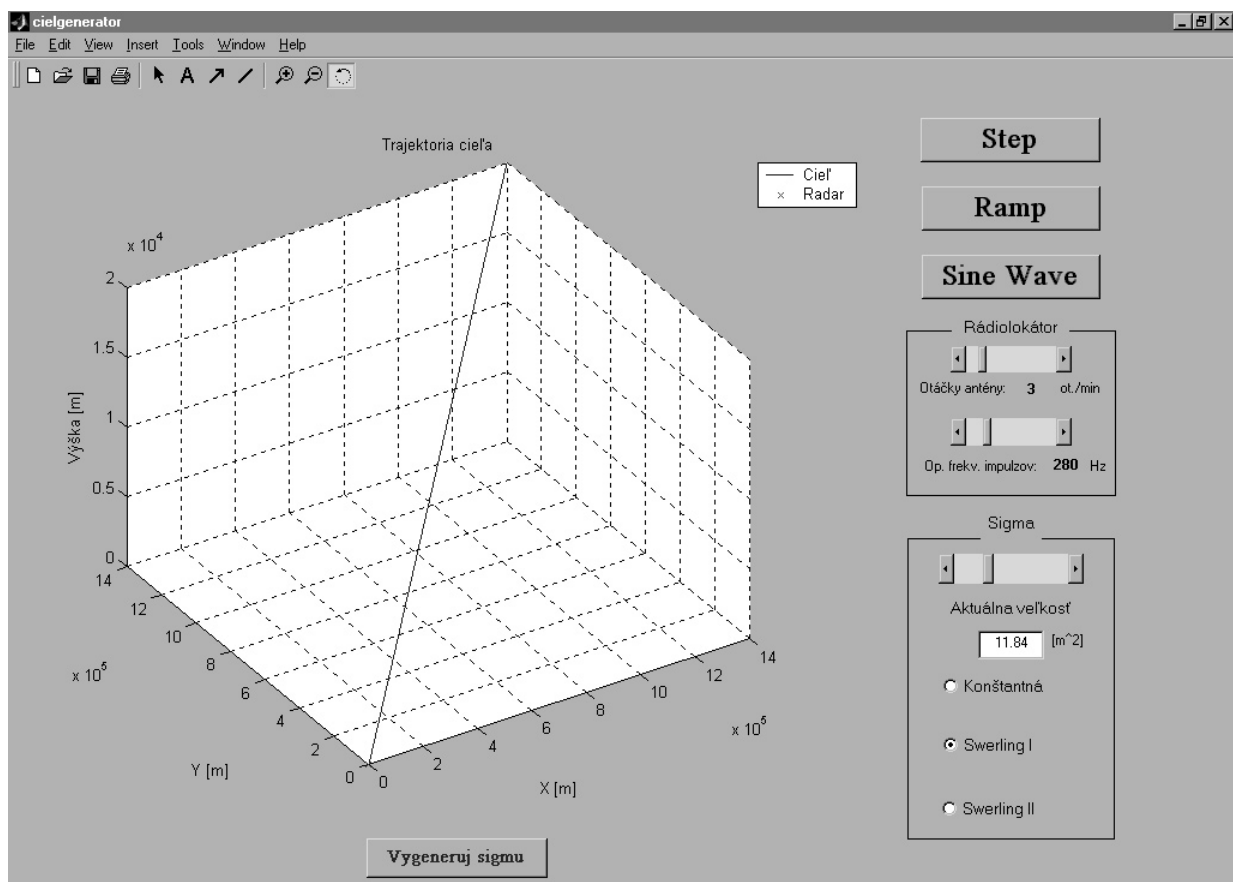
¹ Swerling, P.: Probability of Detection for Fluctuating Targets.

Znamená to, že počas ožiarenia jednou skupinou N impulzov sa odrazná plocha nemení, ale pri nasledujúcom ožiarení už dochádza k určitej zmene orientácie cieľa voči anténe a odrazná plocha je celkom nekorelovaná s odraznou plochou pri predchádzajúcom ožarovaní. Typickým predstaviteľom takýchto cieľov sú lietadlá. Cieľ typu Swerling II fluktuuje veľmi rýchlo, takže amplitúda odrazeného signálu a teda i odrazná plocha σ je impulz od impulzu nekorelovaná. Takéto odrazy možno zaznamenať u lietadla v prípade, že rádiolokátor mení náhodne svoju frekvenciu vysielачa pri každom impulze alebo je takýto odraz typický pre atmosférické zrážky pri veľkej turbulencii. Zmenu veľkosti odraznej plochy lietadla v závislosti na jeho natočení voči rádiolokátoru objasňuje obrázok 2. V aplikácii je možné nastaviť veľkosť σ v rozmedzí od 0 po 40 m^2 .

Koncepcia aplikácie

Výpočet dráhy a efektívnej odrazovej plochy je riadený z grafického užívateľského prostredia (ďalej GUI). Algoritmus výpočtu je obsiahnutý v samotnom m – súbore sčasti generovaného automaticky pri tvorbe GUI alebo je prevádzaný pomocou modelov zostrojených v Simulinku, ktoré potom sú volané príkazom *sim* (názov.mdl). Celý program je tvorený nasledujúcimi súčasťami:

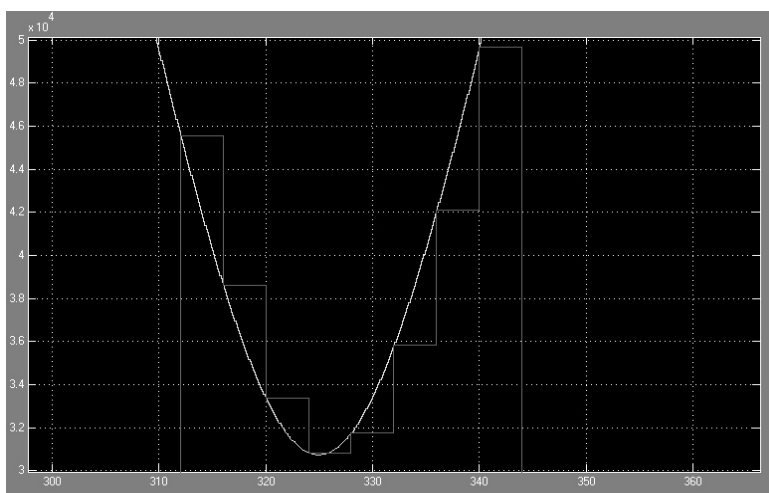
- **cielgenerator.m, cielgenerator.fig**, - tvoriace GUI a obsahujúce nastavenia pre spúšťané modely v SIMULINKU;
- **cieldata.mdl, cieldata2.mdl** – modely generujúce dáta do pracovného priestoru. Ide o matice dát určujúce pohyb cieľa v 3D priestore;
- **sigma.mdl** - model vytvárajúci maticu dát pre efektívnu odrazovú plochu σ .



Obrázok 3. Užívateľské prostredie pre generovanie cieľov.

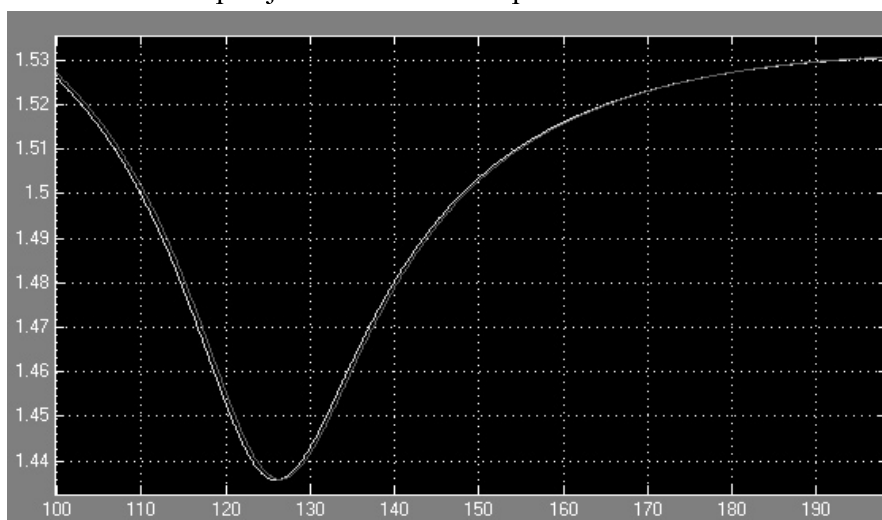
Na vygenerovanie dráhy cieľa slúžia tlačidlá s nápismi *Step*, *Ramp*, *Sine Wave* (obrázok 3). Posledné menované tlačidlo negeneruje sínusový signál v pravom slova zmysle, ale názov zostal zachovaný v duchu vstupných signálov deklarovaných v knižnici SIMULINK. Po stlačení jedného z uvedených tlačidiel sa vygenerujú do workspace vstupné hodnoty pre model, ktorý je zároveň volaný tým istým stlačením. Volaný model načíta trojrozmerné pole údajov u predstavujúce súradnice cieľa (X,Y,Z) a maticu pre určenie časovej postupnosti t (čas). Daný model vykoná simuláciu a uloží späť do workspace štruktúrované polia premenných **RealDc** – šikmá diaľka, **RealPhi** – azimut a **RealTheta** – poloha. Vygenerovanie dráhy cieľa je ukončené a údaje možno načítať z workspace do ktoréhokolvek modelu alebo m - skriptu. Efektívna odrazová plocha σ sa generuje stlačením tlačidla *Vygeneruj sigma*, ktoré spustí simuláciu modelu *sigma.mdl* s parametrami nastavenými pomocou ovládačov umiestnených v poliach *Rádiolokátor* a *Sigma*. Výstup je opäť uložený ako štruktúrovaná premenná pod názvom **RealSigma**, pričom v prípade cieľa typu Swerling I je fluktuácia cieľa 5 krát vyššia ako otáčky antény rádiolokátora. V prípade typu Swerling II je to 5 násobok opakovacej frekvencie rádiolokátora.

Využitie uvedených údajov je možné prezentovať napríklad na modely rádiolokátora, ktorý je súčasťou DEMA vo verzii MATLABu 6.5 release 13. Uvedený model pod názvom *aero_atc.mdl* bol z časti upravený na model reálneho rádiolokátora. Ako vstup sa zavádza šikmá diaľka cieľa a jeho efektívna odrazová plocha. Výstup je zobrazený na obrázku 4.



Obrázok 4. Detekovaná šikmá diaľka cieľa priehľadovým rádiolokátorom

Ďalšou možnosťou je využitie pri modelovaní systémov ovládania polohy antén (SOPA). Na obrázku 5 je znázornený výstup sledovacieho servosystému rádiolokátora na základe sledovania cieľa opisujúceho zvitnicu v polohe.



Obrázok 5. Odozva SOPA na vstupný signál polohy cieľa.

Záver

Navrhnutá aplikácia obsahuje niekoľko zjednodušení oproti reálnemu systému, ale bola navrhovaná ako jednoduchý zdroj simulovaných rádiolokačných dát pre následnú vedeckú úlohu riešenú na Katedre rádiolokácie a automatizácie na Fakulte protivzdušnej obrany v Liptovskom Mikuláši. Výhodou je hustota generovaných dát v čase, ktoré je obtiažne získať z reálneho systému. Ďalšou výhodou je zavedenie teoretickej efektívnej odrazovej plochy s možnosťou meniť jej vlastnosti na základe rôznych typov rádiolokátorov.

Hlavnou nevýhodou riešenia je náročnosť na výpočtovú techniku, čo bolo spôsobené veľkým objemom generovaných dát. Predovšetkým na operačnú pamäť (minimum 256MB RAM). Vytvorením takto generovaných rádiolokačných dát sa zistilo, že je potrebné dodatočne upraviť generovanie efektívnej odrazovej plochy (modulovanie σ v závislosti na polohe cieľa v 3D priestore).

Zoznam použitej literatúry.

- [1] KOŠČOVÁ, M. – EXNAR, Z. – KŘUPKA, J.: Systémy automatického riadenia. VALM, Liptovský Mikuláš, 1997.
- [2] KUPČÁK, D.: Antény radiolokátorů pro řízení letového provozu, Díl III. Pardubice, 1986.
- [3] NISE, S. Norman: Control System Engineering. John Wiley & sons, Inc., New York, 2000.
- [4] ŠPIRKO, Š.- BOKA, L. – VARGA, D.: Súbor otázok a odpovedí zo základov rádiolokácie a rádioelektronického boja. VALM, Liptovský Mikuláš, 1999.
- [5] The Math Works Inc.: Internet: <http://www.mathworks.com>.