

PRIMENA FILTRA ZA PRAĆENJE SA ESTIMACIJOM UBRZANJA
U SAMONAVOĐENIM PA RAKETAMA

Goran Dikić, Bojan Zmić, Vojnotehnička akademija VJ, Beograd
Milan Miltenović, Vojna akademija VJ, Beograd

Sadržaj: U radu je analizirana mogućnost primene filtra za praćenje koji koriste estimaciju ubrzanja cilja u odnosu na raketu, u sistemu samovođenja protivavionskih raketa malog dometa. Prikazani su rezultati simulacije rada navedenog filtra u različitim uslovima i upoređeni sa klasičnim Kalmanovim i filtrom za praćenje sa promenljivom dimenzijom stanja.

1. UVOD

Štohastička priroda okruženja kao i manevarske sposobnosti savremenih letelica, određuju stohastički karakter procesa samovođenja. Realizacija stohastičkog zakona vođenja podrazumeva poznavanje određenih stanja sistema samovođenja, čime se implicira primena stohastičkog estimatora stanja, koji pored informacije o stanjima treba da smanjuje grešku usled prisustva šuma merenja.

U ovom radu razmatrana je mogućnost uvođenja estimatora stanja u formi filtra za praćenje koji koristi estimaciju ulaznog ubrzanja. Izvorno je ovaj algoritam dat za slučaj praćenja cilja radarskim senzorom [1], a u literaturi se prema imenima autora pomnije pod imenom CHP filter. Ovaj, kao i filter za praćenje sa promenljivom dimenzijom stanja (VDF) [2], pripadaju klasi adaptivnih algoritama za praćenje, jer ne zahtevaju apriorno poznavanje karakteristika kretanja cilja.

U [2] je pokazano da VDF ima nešto bolje karakteristike od CHP filtra za slučaj radarskog praćenja. Međutim, sa aspekta primene u realnom vremenu VDF je nepogodniji [7] jer je u trenutku prelaska sa jednog reda filtra na drugi potrebno napraviti daleko više operacija nego u slučaju CHP filtra, čiji se red nemenja. Imajući u vidu ove činjenice i rezultate date u [3], provedena je analiza rada CHP filtra sa motivacijom da se sagledaju mogućnosti i ograničenja primene jedne takve šeme za praćenje u sistemu samovođenja protivavionskih raketa.

2. SIMULACIJA RADA CHP FILTRA

Šema praćenja sa CHP filtrom [1] obuhvata klasičan Kalmanov filter, estimator ubrzanja cilja u odnosu na senzor i detektor manevara. Osnovna ideja je da se proces praćenja započne klasičnim Kalmanovim filtrom, uz pretpostavku da cilj ne manevara. Pri tom se na osnovu podataka dobijenih u poslednjih "s" merenja, u svakom koraku izvrši procena ubrzanja cilja prema kriterijumu najmanjih kvadrata.

Na osnovu procenjenog ubrzanja, računa se kontrolna veličina koja se poredi sa unapred zadatom vrednošću praga, kako bi se ustanovilo da li se manevar desio ili ne. Ako je manevar detektovan, procenjena vrednost ubrzanja se koristi za korekciju aktuelnog estimiranog vektora stanja dobivenog Kalmanovim filtrom i vrši se korekcija (uvećanje) kovarijacione matrice greške estimacije, posle čega se proces praćenja nastavlja. Korekcijom procenjenog vektora stanja eliminiše se pomeraj u proceni izazvan odstupanjem cilja sa pretpostavljene pravolinijske putanje.

Model procesa praćenja dat je sa

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} F & 0_2 \\ 0_2 & F \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} B & 0_1 \\ 0_1 & B \end{bmatrix} u(k) + w(k) \quad (1)$$

pri čemu je

$$F = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} T^2 / 2 \\ T \end{bmatrix} \quad T - \text{perioda odabiranja}$$

a 0_1 i 0_2 su nula matrice dimenzija (2×2) i (2×1) respektivno, $u(k)$ je vektor ubrzanja a $w(k)$ je Gausovski beli šum sa kovarijansom Q .

Vektor stanja je, zbog prirode merenja, definisan u sfernorn koordinatnom sistemu čije se ishodište nalazi u centru mase rakete i dat je kao

$$x(k) = \begin{bmatrix} \phi \\ \phi \\ \alpha \\ \alpha \end{bmatrix}^T$$

gde su ϕ i α uglovi linije viziranja cilja (LVC) u vertikalnoj i horizontalnoj ravni.

Jednačina merenja ima oblik

$$y(k) = Hx(k) + v(k) \quad (2)$$

gde je

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

jer senzor meri ugaonu brzinu LVC, dok $v(k)$ predstavlja šum merenja sa kovarijansom R .

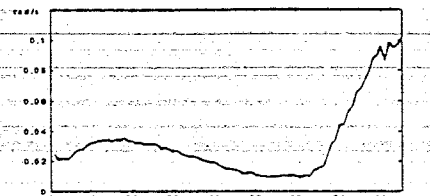
U cilju provere rada CHP filtra izvršena je simulacija kompletnog procesa samovođenja. Simulacioni model procesa samovođenja je koncipiran modularno [4,5] i obuhvata: model hipotetičke rakete sa šest stepeni slobode kretanja (6DOF), model kretanja cilja, model relativne kinematike i model slučajnih poremećaja. Model rakete obuhvata: model glave za samovođenje sa pasivnim senzorom, model zakona vođenja, model autopilota i model filtra za praćenje. Kao metoda vođenja uzeta je klasična proporcionalna navigacija.

Izvršeno je 30 Monte Carlo simulacija gadanja cilja u odlasku, koji počinje manevar od $4g$ ($g=9.81m/s^2$) u vertikalnoj i $7g$ u horizontalnoj ravni 1.5 sekundu (odgovara 60. koraku na vremenskoj osi) posle lansiranja rakete. Merni šum je modeliran preko tri komponente: termički šum senzora, komponenta direktno proporcionalna daljini do cilja i komponenta obrnuto proporcionalna daljini do cilja.

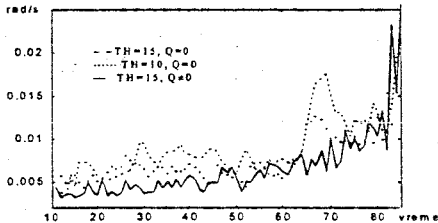
3. REZULTATI

Na slici 1. data je vremenska promena ukupne ugaone brzine LVC za dati scenario leta. Karakteristično je postojanje promene ukupne ugaone brzine u vreme kada nije bilo manevara što je posledica prelaznih procesa na

putanji rakete neposredno posle lansiranja kao i činjenice da postoji relativno kretanje cilja u odnosu na raketu usled čega dolazi do rotacije LVC.



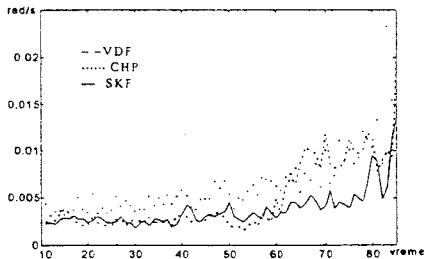
Sl. 1 Promena ukupne ugaone brzine LVC



Sl.2 Rezultati rada CHP filtra za različite uslove

Na slici 2 data je srednjekvadratna greška estimacije ugaone brzine LVC dobijena radom CHP filtra za različite vrednosti kovarijansne šuma procesa Q i praga detekcije manevara TH . Vrednost praga se, nakon detekcije, privremeno uvećava da bi se privremeno sprečile nove detekcije dok se ne smiri prelazni proces u filtru. Najbolji rezultati, u celini, se dobijaju za slučaj kada je vrednost praga TH bila 15, uz dijagonalnu formu matrice Q . Međutim, u intervalu na kome nema promene ugaone brzine (45-60 vremenski korak) CHP filter sa $TH=10$ i $Q=0$ daje slične, neznatno bolje, rezultate što je u skladu sa rezultatima prezentiranim u [1].

Na slici 3 prikazani su rezultati dobijeni klasičnim Kalmanovim filtrom (SKF), filtrom za praćenje sa promenljivom dimenzijom stanja (VDF), i filtrom za praćenje sa estimacijom ubrzanja (CHP). Najbolje rezultate na kompletnoj trajektoriji dao je klasični Kalmanov filter sa matricom Q uzetom u skladu sa Singerovim modelom kretanja cilja [6].



Sl. 3 Prikaz rezultata CHP, VDF i SKF filtra

4. ZAKLJUČAK

Iz provedene analize, može se zaključiti da CHP filter ne bi dao zadovoljavajuće rezultate prilikom primene u sistemu samovođenja PA raketa malog dometa, bez obzira na određene pogodnosti, u odnosu na VDF pristup, u smislu manjih računarskih zahteva u slučaju detekcije manevara. To se pre svega odnosi na loše rezultate na delu trajektorije kada ne postoji stvarni manevar cilja, ali postoji promena ugaone brzine usled već iznetih razloga. To se objašnjava samim načinom vršenja korekcije vektora stanja filtra u slučaju da je detektovan manevar, jer se kod CHP korekcija vrši samo u datom koraku, dok VDF algoritam vrši korekciju stanja i u predistoriji. Interesantan je rezultat dobijen na delu trajektorije kada postoji stvarni manevar cilja gde je CHP dao manju grešku od VDF pristupa, što nije u skladu sa rezultatima dobijenim u [2] za slučaj radarskog praćenja. U skladu sa rezultatima dobijenim u [3], a potvrđenim i u ovom radu, kao jedno rešenje filtra za praćenje u sistemima samovođenja PA raketa malog dometa nameće se klasični Kalmanov filter sa kovarijansom šuma procesa Q uzetom u duhu Singerovog modela kretanja cilja.

LITERATURA

- [1] Chan, Y.T., Hu, A.G., and Plant, J.B., "A Kalman filter based tracking scheme with input estimation", IEEE Transactions on AES, pp. 237-244, March 1979.
- [2] Bar-Shalom, Y. and Birmiwal, K., "Variable dimension filter for maneuvering target tracking", IEEE Transactions on AES, pp. 621-629, Sept. 1982.
- [3] Dikić G., "Izbor estimatora stanja sistema za sintezu stohastičkog zakona samovođenja PA raketa", magistarski rad, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, 1994.
- [4] Slamić M., "Statistička analiza sistema samovođenja PA rakete primenom Monte Karlo simulacija", Naučno-tehnički pregled, Vol XXXIX, br. 4, VTI Beograd, 1989.
- [5] Tanjga R., "Prilog stohastičkoj sintezi zakona vođenja samonavedenih raketa", doktorska disertacija, Univerzitet Vojske Jugoslavije, Beograd, 1992.
- [6] Singer R.A., "Estimating optimal tracking performance for manned maneuvering targets", IEEE Transactions on AES, pp.473-483, July 1970.
- [7] Bar-Shalom Y., Chang K.C., Blom H.A., "Tracking a maneuvering target using input estimation versus the interacting multiple model algorithm", IEEE Transactions on AES, pp.296-300, March 1989.

Abstract - In this paper the possibility to apply a Kalman filter based tracking scheme with input estimation in short range surface-to-air(SA) homing missiles is analysed. The capability of this filter is illustrated and compared with variable dimension and simple Kalman tracking filters.

THE APPLICATION OF KALMAN FILTER WITH INPUT ESTIMATION IN HOMING SA MISSILES

Goran Dikić, Bojan Zrnić, Milan Miltenović