

Analiza mogućnosti detekcije manevra aviona praćenog infracrvenim video senzorom

Davorin Mikluc, Srđan T. Mitrović i Boban Bondžulić

Apstrakt—Detekcija manevra je značajna u sistemima za praćenje ciljeva u vazdušnom prostoru. U ovom radu se cilj prati infracrvenim video senzorom. Snimljene video sekvence su obradjenje i formirana merenja, koja su upotrebljena za izdvajanje obeležja cilja - orijentacija, površina i intenzitet. Predložen je pristup za detekciju različitih manevra cilja na osnovu analize izdvojenih obeležja tokom vremena. Analizirana su dva osnovna manevra cilja, rotacija oko centralne ose i promena stava u ravni. Data je osnova za detekciju složenijih manevra.

Cljučne reči—Detekcija manevra, avion, orijentacija, površina cilja na slici, intenzit nivoa sivog, infracrveni senzor

I. UVOD

PASIVNO određivanje daljine do objekta može biti od interesa za primenu u oblastima kao što su: video nadzor, sistemi za upravljanje vatrom, kontrola vazdušnog prostora, navigacija kroz područje sa preprekama. Stereovizija i optički tok podataka su najčešće korišćeni pristupi [1] i oba su zasnovana na principima triangulacije, ali realna ograničenja često nameću potrebu za procenom daljine do objekta na osnovu podataka sa jednog video senzora. Metode koje se koriste u ovom slučaju se mogu svrstati u tri grupe [2]. Prvoj grupi pripadaju metode koje su zasnovane na promeni karakteristika objekta u video sekvenci, koja može biti posledica kretanja samog objekta, kretanja senzora ili kretanja i objekta i senzora. Druga grupa metoda se zasniva na Beer-Lambertovom zakonu i modelu prostiranja talasa kroz atmosferu, dok treća grupa pristupa koristi parametre objektivna video senzora. Ovo istraživanje je orijentisano na prvu grupu pristupa upotrebom jednog infracrvenog senzora slike, sa ciljem smanjenja ograničenja njihove primene.

Pristupi zasnovani na promeni karakteristika objekta, kao što su površina, intenzitet i kontrast [3] imaju ograničenja [1] kao što su inicijalizacija, neodređenost ivica objekta u infracrvenoj slici, promenljive karakteristike pozadine ili zasićenje senzora [4]. Dodatnu poteškoću za uspešnu primenu ovih metoda predstavljaju situacije u kojima objekat menja stav u odnosu na senzor, tj. kada objekat manevriše.

Davorin Mikluc – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: miklucd@yahoo.com).

Srđan T. Mitrović – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: srdjan.mitrovic@va.mod.gov.rs).

Boban Bondžulić – Vojna akademija, Univerzitet odbrane u Beogradu, Generala Pavla Jurišića Šturma 33, 11000 Beograd, Srbija, (e-mail: bondzulici@yahoo.com).

Ovo istraživanje je orijentisano ka iznalaženju mogućnosti za uspešniju primenu metoda zasnovanih na promenama karakteristika objekta koji manevriše, a osnovni cilj je analiza orijentacije, površine i intenziteta sivog objekta u infracrvenoj video sekvenci i određivanje međuzavisnosti analiziranih parametara u toku manevra, sa ciljem njegove detekcije i karakterizacije.

II. PRIMENJENE METODE ZA DETEKCIJU MANEVRA

Infracrveni video senzor je senzor koji je veoma često u upotrebi kao jedan od pasivnih senzora. Prednost ovakvog senzora je u nemogućnosti određivanja pozicije senzora od strane posmatranog objekta, čime se postiže visoka bezbednost osmatrača, dok je mana nedostatak pojedinih informacija, a jedna od ključnih je daljina do cilja. Primenom infracrvenog senzora se formira siromašan skup informacija a sastoji se od obeležja cilja: rezolucije slike i intenziteta nivoa sivog. Obradom navedenih obeležja se dolazi do indirektnih dodatnih obeležja kao što je površina objekta na slici. Uzimajući u obzir obeležja cilja na slici procenjuje se stav cilja i daljina do cilja.

A. Izdvajanje objekta na slici

Prvi problem koji je potrebno obraditi je izdvajanje objekta od interesa na slici od pozadine. Većina metoda se zasniva na matematičkim algoritmima u cilju što preciznijeg određivanja ivice objekta na slici. Osnova za to je prag detekcije, koji predstavlja vrednost intenziteta nivoa sivog. Najpoznatije metode koje se koriste za proračun praga detekcije na slici su predstavljene u [5] i [6]. Osim Otsu [5] i Tsai [6] metode postoje i druge čija je komparativna analiza predstavljena u [7]. U ovom radu je primenjen metod Tsai [6], kojim je proračunat prag detekcije na slici za izdvajanje objekta. Prag detekcije se proračunava i primenjuje na svakom prozoru tokom video sekvence, čime se postiže adaptacija praga prema promeni intenziteta pozadine ili intenziteta objekta na slici. Ovo za posledicu ima da prag detekcije $I_T(t)$ nije konstantan već promenljiv tokom vremena.

B. Obeležja cilja

Izdvojeni objekat se sastoji od piksela sa jediničnom vrednosti na binarnoj slici nakon primene praga detekcije. Upravo ti pikseli se koriste za informaciju o intenzitetu objekta. Broj piksela čija vrednost nivoa sivog zadovoljava uslov praga detekcije, predstavlja informaciju o površini objekta $S(t)$ na slici i upotrebljena je za procenu daljine do cilja [2]. Izraz kojim se može proceniti daljina $D(t)$ do cilja je:

$$D(t) = D_0 \sqrt{\frac{S_0}{S(t)}} \quad (1)$$

pri čemu je D_0 početna daljina do cilja u trenutku $t=0$, a S_0 početna površina cilja.

Procena daljine do cilja opisuje kretanje cilja u odnosu na senzor. Dakle, osim procene daljine do cilja može se znati da li se cilj kreće ka ili od senzora. Međutim, ovom metodom je teško detektovati manevar cilja.

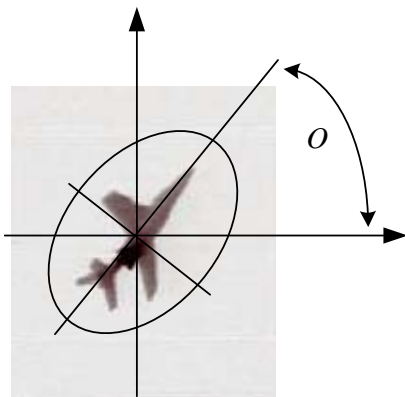
Kada je reč o intenzitetu objekta na slici, kao jednom od obeležja cilja, određuje se kao srednja vrednost nivoa sivog piksela koji čine površinu objekta na slici, dok je izraz za proračun intenziteta sledeći:

$$I(t) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N I_i(t) \quad (2)$$

gde je $I_i(t)$ vrednost nivoa sivog i -tog piksela objekta i N je broj piksela koji čine objekat na slici.

Intenzitet objekta ukazuje slično proračunatoj površini objekta a to je da ukoliko je viša vrednost intenziteta, ujedno je veća vrednost površine, a to znači da se cilj kreće ka senzoru i obrnuto. Zaključak je da sa opisana dva obeležja nije moguće detektovati i odrediti manevar cilja.

Značajno obeležje cilja koje može da se iskoristi za detekciju manevra je njegov stav na slici. U ovom radu cilj praćenja je avion. Promena stava aviona na slici je sporija jer su njegova kretanja inertnija sa blažim i karakterističnim manevarima. Stav ili orijentacija cilja na slici se zasniva na položaju osnovne duži cilja. Tačnije avion se može opisati pomoću dve duži, osnovne i pomoćne. Duži su pod uglom od 90° a razlikuju se prema veličini. Osnovna duž je brojno veća i predstavlja najčešće dužinu aviona od vrha do repa u vidu broja piksela, dok je pomoćna kraća i može predstavljati raspon krila. Ugao koji zaklapa osnovna duž sa Dekartovim koordinatnim pravougaonim sistemom na slici predstavlja orijentaciju cilja a vrednosti su u opsegu $[-90^\circ +90^\circ]$. Vrlo je bitno i to da orijentacija govori o manevaru i stavu ali ne i o rotaciji aviona oko svoje ose.



Sl. 1. Predstava orijentacije cilja na slici.

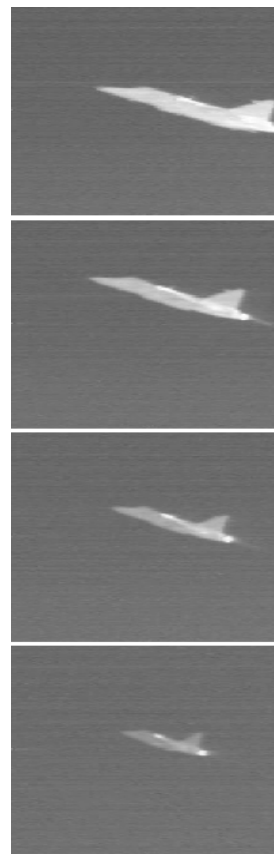
U narednom poglavlju će biti pokazana primena opisana tri obeležja cilja za detekcije.

III. REZULTATI

Četiri trajektorije aviona snimljene su infracrvenim video senzorom. Formirane video sekvence su ilustrovane prikazom nekoliko karakterističnih slika iz video sekvenci, kao i graficima vrednosti obeležja tokom cele video sekvence. U svim video sekvencama je rezolucija ista i iznosi 720×576 piksela². Formiran je prozor za proračun obeležja cilja konstantne veličine od 250×216 piksela na kojem se primenjuje Tsai metod za proračun praga detekcije. Video sekvence su snimane sa 25 slika u sekundi.

A. Video sekvenca 1

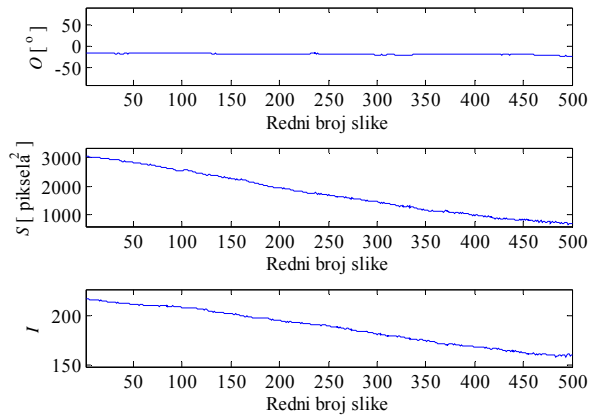
Prva video sekvenca sadrži kretanja aviona bez manevara pri čemu se udaljava od senzora. Dužina video sekvence je 500 slika. Četiri odabrane slike na jednakim vremenskim distancama su predstavljene na Sl. 1., tako da su odabrane slike koje su u video sekvenci 1., 150., 300. i 450. po redu.



Sl. 2. Slike iz video sekvence 1 (redni brojevi slika 1, 150, 300 i 450).

Proračunate su i prikazane vrednosti obeležja: orijentacija, površina i intenzitet cilja, Sl. 3.

Razmatranjem Sl. 2. i Sl. 3. se može potvrditi da se cilj kreće od senzora. Potvrda se vidu u smanjivanju proračunate površine izdvojenog cilja na slici. Analogno tome primetno je da udaljavanjem cilja opada i intenzitet.

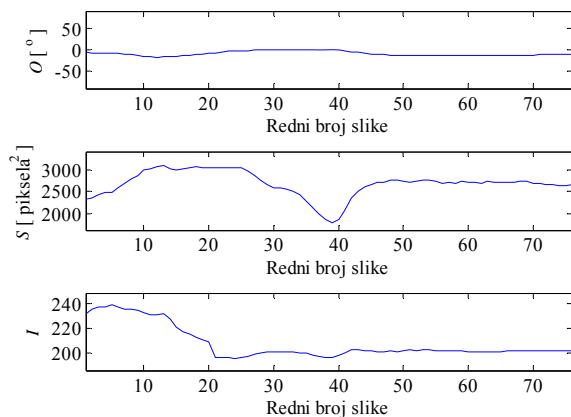


Sl. 3. Orijentacija, površina i intenzitet izdvojenog cilja tokom video sekvence 1

U ovoj video sekvenci nema manevara niti rotacije. Vrednost površine se smanjuje a time i procenjena daljina do cilja koja je recipročna vrednosti kvadratnog korena površine [2], što je opisano (1), dok intenzitet opada linearno. Orijentacija je još jedan pokazatelj da tokom sekvence nije bilo manevara, jer je konstantna.

B. Video sekvenc 2

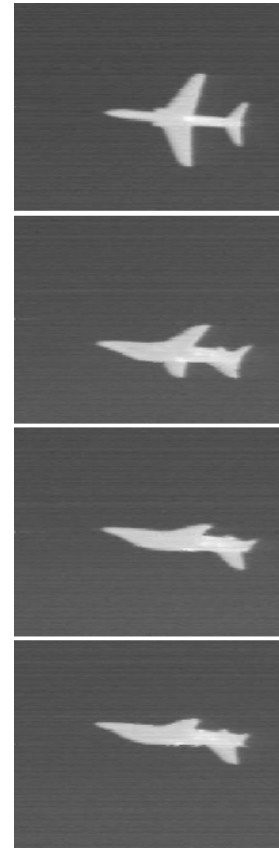
U ovoj video sekvenci avion je izvršio rotaciju oko svoje ose za približno 90 stepeni. Rotacija aviona je relativno kratkotrajan proces, zbog čega je video sekvenca 2 trajanja 75 slika, odnosno 3 sekunde. Izdvojena obeležja cilja iz video sekvence 2 su prikazana na Sl. 4, dok su na Sl. 5 prikazane svaka dvadeseta slika iz videosekvence.



Sl. 4. Orijentacija, površina i intenzitet izdvojenog cilja tokom video sekvence 2

Vrednost orijentacije cilja je gotovo nepromenljena tokom sekvence, jer avion rotira oko svoje ose, kreće horizontalno i ne menja stav u odnosu na senzor. Međutim, kako se usled rotacije menja oblik aviona na slici, za posledicu ima promenu površine cilja, što se vidi na Sl. 4. S obzirom da je najpre cilj bio vidljiv frontalno, a zatim bočno, površina cilja se smanjila.

Rotacija je bila izvršena sa manjom fluktuacijom, što se vidi u periodu 35-45 frejma, kada je avion prešao više od 90 stepeni rotacije, a zatim se vratio u položaj u kome je veća površina u odnosu na senzor.



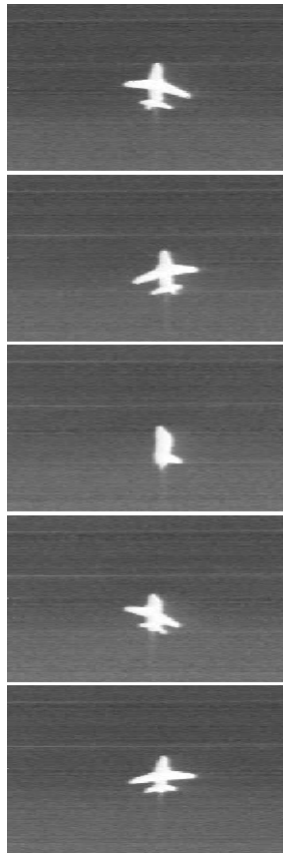
Sl. 5. Slike iz video sekvence 2 (redni brojevi slika 10, 30, 50 i 70).

Objašnjenje za veću vrednost površine u odnosu na očekivanu nakon rotacije je u tome da se avion ujedno i blago približavao senzoru. Na osnovu vrednosti intenziteta može se reći i koju vrstu rotacije je izvršena, jer viši nivo intenziteta pre rotacije ukazuje da je avion bio okrenut donjim delom prema senzoru, dok nakon rotacije pad intenziteta ukazuje da je avion okrenut gornjim delom, odnosno pilotskom kabinom ka senzoru.

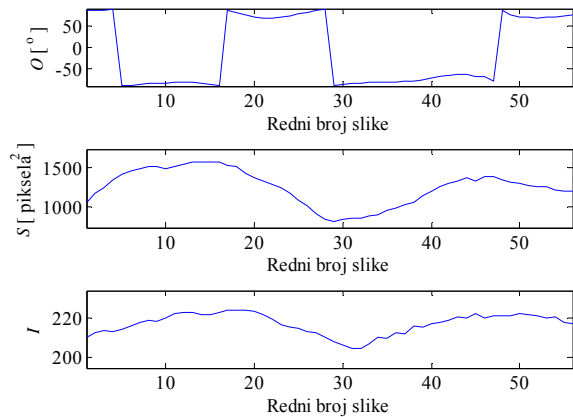
C. Video sekvenc 3

Nastavak analize manevara u vidu rotacije aviona je dat kroz video sekvencu 3, gde je rotacija izvršena duž vertikalne ose, a avion se penje u visinu. Trajanje videosekvence je 56 slika, što je u skladu sa analizom prethodne video sekvence 2, da je rotacija oko ose kratak manevar. Odabrane slike iz video sekvence 3 su prikazane na Sl. 6, sa vremenski konstantnim razmakom od 0.4 s.

Orijentacija, površina i intenzitet su prikazani na Sl. 7. Kako je poznato da se avion kreće vertikalno, orijentacija bi trebala da iznosi +90 stepeni, ali primetan je problem u proceni, zbog čega se vrednost orijentacije menja sa +90° na -90° i obrnuto.



Sl. 6. Slike iz video sekvence 3 (redni brojevi slika 10, 20, 30, 40 i 50).



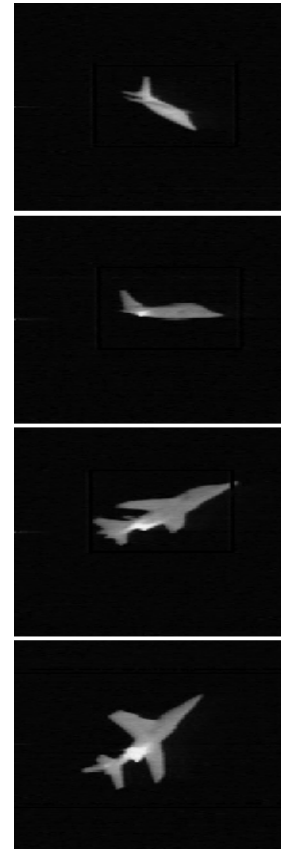
Sl. 7. Orijentacija, površina i intenzitet izdvojenog cilja tokom video sekvence 3

Ovakav događaj je tehnički nemoguć, a matematički se može prevazići estimatorom ili nekim drugim algoritmom, koji bi procenjivao kvalitetnije orijentaciju u slučaju vertikalnog kretanja aviona. Na osnovu prikazanih vrednosti obeležja, Sl. 7, analogno zaključcima analiza video sekvenci 1 i 2, može se reći da je avion na istoj udaljenosti od senzora tokom sekvence. Površina sada odražava pravu vrednost i potvrđuje da promena vrednosti ukazuje na rotaciju, kao što je

bio zaključak u prethodnoj analizi. Takođe i vrednost intenziteta objašnjava da je izvršena potpuna rotacija od 360° , jer više vrednosti kada je avion okrenut frontalno ka senzoru od vrednosti kada je u bočnom stavu. Treća slika na Sl. 6. je 30 slika sekvence, gde se upravo vidi niža vrednost intenziteta usled bočnog stava.

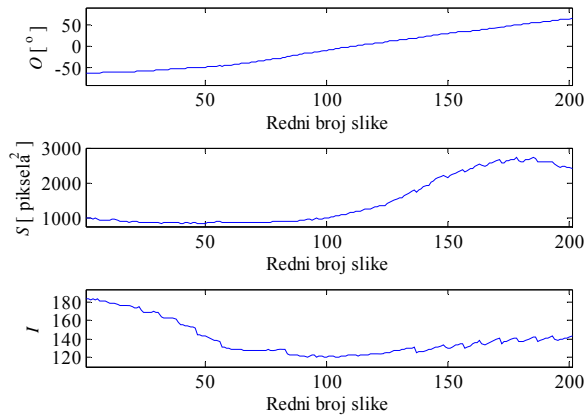
D. Video sekvence 4

Poslednja analizirana video sekvence u ovom radu je analiza detekcije složenijeg manevra, koji sadrži i rotaciju i promenu stava. Trajanje video sekvence 4 je 8 s, a prikazane slike su 50., 100., 150. i 200. po redu, Sl. 8.



Sl. 8. Slike iz video sekvence 4 (redni brojevi slika 50, 100, 150 i 200).

Proračunata obeležja cilja su data na Sl. 9. Vrednost orijentacija je u porastu, usled promene stava aviona, Sl. 8. Porast površine tokom sekvence je posledica kretanja aviona ka senzoru, dok od 170 slika se vidi blagi pad vrednosti površine, usled rotacije aviona. Na kraju, intenzitet opada usled promene stava u bočni stav, koji ima najnižu vrednost intenziteta, a zatim kasniji blagi porast što govori o rotaciji aviona.



Sl. 9. Orijentacija, površina i intenzitet izdvojenog cilja tokom video sekvence 4

IV. ZAKLJUČAK

U radu su analizirane video sekvence snimljene infracrvenim video senzorom, pri praćenju aviona u vazдушnom prostoru. Formirana merenja su upotrebljena za proračun i izdvajanje obeležja cilja. Orijentacija, površina i intenzitet cilja na slici se mogu upotrebiti za detekciju manevra. Analizirajući promene vrednosti proračunatih obeležja, detektovano je kretanje aviona bez manevra, rotacija oko horizontalne ose aviona uz približavanje senzoru, rotacija oko vertikalne ose aviona i detektovan je složen manevr koji se sastojao od promene stava i rotacije aviona. Ovime je postavljena dobra osnova za dalji rad u određivanju složenijih tipova manevra primenom infracrvenih video senzora.

LITERATURA

- [1] Y. Barniv, "Error analysis of combined optical-flow and stereo passive ranging", *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, 28, (4), pp. 978–989 1992.
- [2] B. P. Bondžulić, S. T. Mitrović, Ž. P. Barbarić, M. S. Andrić, "A comparative analysis of three monocular passive ranging methods on real infrared sequences". *Journal of Electrical Engineering*, 64(5), pp. 305-310, 2013.
- [3] Z. P. Barbaric, B. P. Bondzulich, S. T. Mitrovic. "Passive ranging using image intensity and contrast measurements", *Electronics Letters* 48(18), pp. 1122-1123, 2012
- [4] S. T. Mitrović, B. P. Bondžulić, M. S. Andrić, Ž. P. Barbarić, "The Statistical Approach for Overcoming the Sensor Saturation Effect in Passive Ranging". *Elektronika ir Elektrotehnika*, 20(2), pp. 52-57. 2014.
- [5] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms." *Automatica* 11.285-296, 23-27. W. 1975.
- [6] W. H. Tsai, "Moment-preserving thresholding: A new approach." *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* 29(3), pp. 377-393. 1985.
- [7] A.-E., Zaher, G. Abdel-Azim, "A Novel Algorithm for Image Thresholding Using Non-Parametric Fisher Information." *1st International Electronic Conference on Entropy and Its Applications*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2014.

ABSTRACT

The manoeuvre detection is important for the target tracking systems in the air space. In this paper, the target was tracking using infrared video sensor. The recorded video sequences are processed and formed measurements, which are used for target feature extraction – orientation, area and intensity. It was suggested approach for the manoeuvre detection based on analysis of the feature extraction due time. Two basic manoeuvres, rotation around its central axis and attitude change in plane, were analysed. The basis for the complex manoeuvre detection was given.

Analyse of possibilities of aeroplane manoeuvre detection tracked by infrared video sensor

Davorin Mikluc, Srđan T. Mitrović and Boban Bondžulić