

Dr Dragoslav Ugarak,
pukovnik, dipl. inž.
Tehnički opitni centar,
Beograd

ODREĐIVANJE DALJINE CILJA POMOĆU VIDEO SENZORA I ANALIZA UTICAJA GREŠAKA I ŠUMA MERENJA

UDC: 621.397 : 623.4.023

Rezime:

U radu je opisan matematički model određivanja daljine cilja obradom video snimaka u toku praćenja. Analizirani su doprinosi parametara koji utiču na veličinu grešaka i određene su vrednosti standardnog odstupanja.

Ključne reči: video senzori, perspektivna projekcija, određivanje daljine cilja i standardna odstupanja.

TARGET RANGE EVALUATION USING VIDEO SENSOR AND ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF MEASUREMENT NOISE AND ERRORS

Summary:

This paper presents mathematical model of determining target range by analyzing video frame during the tracking. The contribution of effective parameters to accuracy are analyzed and values of standard deviation are determined.

Key words: pressure sensitive paints, wind tunnel, flow visualization, pressure distribution.

Uvod

Uspešno dejstvo sistema protivvazduhoplovne odbrane zasnovano je na pretpostavci tačnog poznavanja pozicije i kretanja cilja. Zato je potrebno obezbediti efikasno praćenje cilja u toku njegovog kretanja. U savremenim sistemima PVO uvedeni su uređaji za automatsko praćenje letećih ciljeva, zasnovani na radarskim i optoelektronskim sensorima za određivanje pozicije cilja. Najefikasniji su radarski sistemi, ali se oni lako otkrivaju i ometaju. Zato se često koriste pasivni optoelektronski sistemi zasnovani na televizijskim i termovizijskim kamerama. Oni se teže otkrivaju i ometaju, jeftiniji su od radarskih sistema i jednostavniji za ugradnju.

Kompatibilnost formata termovizijske slike sa standardnim televizijskim formatom omogućava primenu jedinstvenog procesa obrade slike i simultanu obradu slike sa televizijskog i termovizijskog senzora.

Upotreba elektronske kamere, televizijske i/ili termovizijske, kao senzora u sistemima praćenja ciljeva, omogućava stvaranje 2D vizije pogodne za obradu u računarima radi prepoznavanja cilja i određivanja njegovog položaja u prostoru, primenom tehnika procesiranja slike, prepoznavanja oblika i projektivne geometrije.

Procesiranje slike podrazumeva, pre svega, operacije koje imaju za cilj da poboljšaju kvalitet slike ili da naglase osobene crte i detalje važne za dalju obradu.

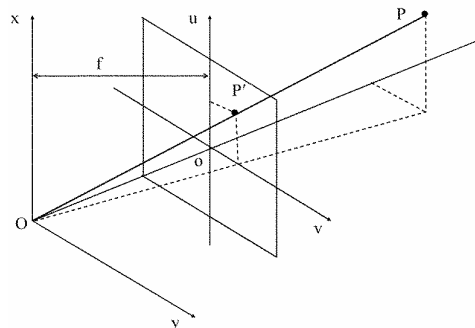
Prepoznavanje oblika povezano je sa identifikacijom ili tumačenjem slika i za cilj ima izdvajanje informacija o tome šta slikom namerava da se saopšti. Oblast projektivne geometrije zasniva se na principima perspektivnog preslikavanja geometrijskih oblika iz prostora scene 3D u prostor ravni slike 2D. Problem određivanja daljine cilja u optoelektronskim sistemima za praćenje rešavan je primenom laserskog daljinomera. Međutim, savremeni ciljevi opremljeni su uređajima za otkrivanje i ometanje laserskog zračenja, pa se ugradnjom lasera u nišanski uređaj gubi prednost pasivnih senzora. Radi stvaranja potpuno pasivnog uređaja za praćenje ciljeva u radu je razmatrano određivanje daljine cilja pomoću televizijske ili termovizijske kamere, primenom metoda projektivne geometrije.

Perspektivna projekcija tačke na ravan slike

Osnovni izvor informacija o objektima posmatranja je digitalna kamera koja formira sliku scene 2D postupkom perspektivne projekcije na fokusnu ravan kamere. Objekti posmatranja, posebno oni koje je izradio čovek, mogu imati poznate geometrijske oblike, kolinearne tačke, duži i površine. To su tipični geometrijski oblici koje treba interpretirati i razumeti kroz viziju perspektivne projekcije [1].

Osnovni zadatak perspektivne projektivne geometrije je inverzan problem, odnosno rekonstrukcija položaja i daljine objekta. Rešenje tog problema zasniva se na uspostavljenoj korespondenciji između prostora 2D i 3D putem matematičkih relacija. Ti odnosi posmatraju se u koordinatnom sistemu vezanom za kameru, tako da

se centar sistema O nalazi u centru objekti-va (sočiva) i naziva se tačka vizije, slika 1.



Sl. 1 – Perspektivna projekcija tačke P na ravan

Posmatrano iz tačke vizije O , z -osa se poklapa sa optičkom osom kamere, x -osa je orijentisana naviše, a y -osa je desno orijentisana. Ravan $z=f$ naziva se ravan slike, gde je f fokusno rastojanje i predstavlja konstantu kamere. Tačka scene $P(x, y, z)$ projektuje se na ravan slike preko zraka iz tačke vizije O , kao tačka P' prodora zraka OP kroz ravan slike $z=f$. U ravni slike formira se koordinatni sistem ou, v , kojem su ose u i v paralelne sa osama x i y , a koordinatni početak se nalazi u tački $o(0, 0, f)$. Veza koordinata tačke $P(x, y, z)$ i njenog lika $P'(u, v)$, kao što se može videti sa slike 1, data je izrazima:

$$\begin{aligned} u &= f \frac{x}{z} \\ v &= f \frac{y}{z} \end{aligned} \quad (1)$$

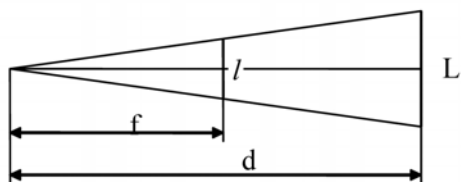
Koordinate lika P' u sistemu $Oxyz$ su (u, v, f) . Pošto se koordinatni početak nalazi u centru sočiva kamere, zrak koji prolazi kroz tačku $P'(u, v, f)$ sadrži sve tačke sa multipliciranim koordinatama (u, v, f) . Znači da sve tačke na projektiv-

nom zraku L imaju istu perspektivnu projekciju P' . Jednačinu projektivnog zraka L (2) nazivamo inverzna perspektivna projekcija tačke (u, v) :

$$L: \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \lambda \begin{pmatrix} u \\ v \\ f \end{pmatrix} \quad (2)$$

Određivanje fokusne daljine snimka

Pri određivanju veličina sa snimka kamere potrebno je odrediti odnos merenih dužina na snimku i njima odgovarajućih vrednosti u vidnom polju kadra. To je verifikacija mernog sistema i može se uraditi tako da se snimi reper poznate dužine L na poznatom rastojanju d , takvom da veličina lika repera l ispuni 90% kadra (slika 2).



Sl. 2 – Odnos dužina lika L i repera R

Merenjem dužine lika u pikselima iz prostog geometrijskog odnosa dobija se fokusna daljina slike f , takođe izražena u pikselima:

$$f = d \frac{l}{L} \quad (3)$$

Na osnovu snimaka repera u horizontalnom položaju duž ose ov i u vertikalnom položaju duž ose ou mogu se zbog nesavršenosti mernog sistema dobi-

ti različite vrednosti za fokusnu dužinu f . Tada se u formulama za merenja duž v ose za f uzima vrednost utvrđena za horizontalni reper f_v , a u vertikalnom smeru vrednost utvrđena za vertikalni reper f_u . U slučaju merenja u kosom smeru, na snimku scene vrednosti za f određuju se pomoću formule:

$$f = \sqrt{(f_v \cos \varphi)^2 + (f_u \sin \varphi)^2} \quad (4)$$

$$\varphi = \arctg \frac{u}{v}$$

Ovde je φ ugao između v ose i vektora položaja merene tačke u ravni snimka.

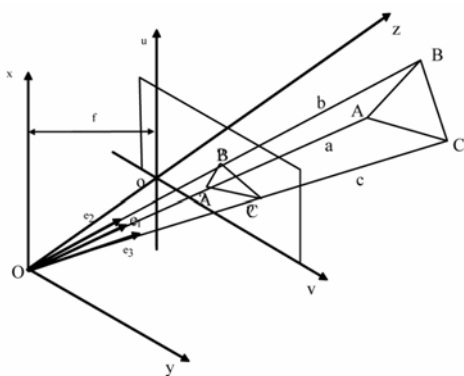
Kod video sistema za praćenje letućih ciljeva, zbog relativno brze promene daljine cilja u toku praćenja, dolazi do znatnih promena veličine lika cilja. Zato se u ovim sistemima koriste objektivni sa promenljivim uvećanjem, takozvani zum objektivni, kod kojih veličina fokusne daljine zavisi od veličine zuma. Veličina zuma registruje se u toku praćenja cilja za svaki snimljeni kadar. Pomoću opisane metode snimanjem repera za razne vrednosti zuma može se odrediti zavisnost $f=f(\text{zum})$.

Lokacija trougla poznatih stranica u prostoru 3D

Na osnovu posmatranja perspektivne projekcije trougla sa poznatim dužinama strana moguće je odrediti poziciju njegovih temena 3D. To se naziva problemom prostornog spajanja tri tačke. Problem je rešavalo niz autora, a poznata rešenja dali su Grunert, koji je to prvi rešavao (1841), zatim Fisterwalder (1887), pa Miler (1925), Merritt (1949), Fischler

(1981), Grafarend (1989) i drugi. Ovdje će se razmotriti rešenje koje su dali Linainmaa, Harwood i Davis (1988) [2]. Oni su izveli formule za određivanje lokacije datog trougla u koordinatnom sistemu kamere kada su poznate koordinate lika svakog od njegovih temena.

Slika trougla ABC označena je sa A'B'C', a jedinični vektori pravaca OA', OB' i OC' označeni su sa e_1, e_2, e_3 . Poznate dužine stranica trougla označene su sa $AB=d_1, AC=d_2$ i $BC=d_3$, a njihova nepoznata rastojanja od koordinatnog početka označena su sa $OA=a, OB=b$ i $OC=c$, kao što je prikazano na slici 3.



Sl. 3 – Perspektivna projekcija trougla na ravan slike

Primenom skalarnog proizvoda vektora dobija se:

$$\begin{aligned} (ae_1 - be_2) \cdot (ae_1 - be_2) &= d_1^2 \\ (ae_1 - ce_3) \cdot (ae_1 - ce_3) &= d_2^2 \\ (be_2 - ce_3) \cdot (be_2 - ce_3) &= d_3^2 \end{aligned} \quad (5)$$

Ako se uvedu oznake za skalarne proizvode jediničnih vektora:

$$\begin{aligned} p_1 &= e_1 \cdot e_2, \quad p_2 = e_1 \cdot e_3, \quad p_3 = e_2 \cdot e_3 \\ e_1 \cdot e_1 &= e_2 \cdot e_2 = e_3 \cdot e_3 = 1 \end{aligned} \quad (6)$$

tada jednačine (5) dobijaju sledeći oblik:

$$\begin{aligned} a^2 - 2p_1ab + b^2 &= d_1^2 \\ a^2 - 2p_2ac + c^2 &= d_2^2 \\ b^2 - 2p_3bc + c^2 &= d_3^2 \end{aligned} \quad (7)$$

To se može zapisati u vidu sledećih jednačina:

$$\begin{aligned} q_1a^2 + t^2 &= d_1^2 \\ q_2a^2 + w^2 &= d_2^2 \\ q_3a^2 - 2p_3tw + q_4 &= q_5at + q_6aw \end{aligned} \quad (8)$$

Ovde su varijable t i w određene sa:

$$\begin{aligned} t &= b - p_1a \\ w &= c - p_2a \end{aligned} \quad (9)$$

a koeficijenti q_i iznose:

$$\begin{aligned} q_1 &= 1 - p_1^2 \\ q_2 &= 1 - p_2^2 \\ q_3 &= 2(p_1^2 + p_2^2 - p_1p_2p_3 - 1) \\ q_4 &= d_1^2 + d_2^2 - d_3^2 \\ q_5 &= 2(p_2p_3 - p_1) \\ q_6 &= 2(p_1p_3 - p_2) \end{aligned} \quad (10)$$

Kvadriranjem obe strane poslednje jednačine u (8) i eliminacijom t^2 i w^2 pomoću preostale dve jednačine, dobija se:

$$r_1a^4 + r_2a^2 + r_3 = (r_4a^2 + r_5)tw \quad (11)$$

gde su koeficijenti r_i određeni relacijama:

$$\begin{aligned}
r_1 &= q_3^2 + 4q_1q_2p_3^2 + q_1q_5^2 + q_2q_6^2 \\
r_2 &= 2q_3q_4 - 4(d_1^2q_2 + d_2^2q_1)p_3^2 - d_1^2q_5^2 - d_2^2q_6^2 \\
r_3 &= 4d_1^2d_2^2p_3^2 + q_4^2 \\
r_4 &= 4p_3q_3 + 2q_5q_6 \\
r_5 &= 4p_3q_4
\end{aligned} \tag{12}$$

Ponovnim kvadriranjem i eliminacijom t^2w^2 iz (11), dobija se:

$$s_1a^8 + s_2a^6 + s_3a^4 + s_4a^2 + s_5 = 0 \tag{13}$$

gde su:

$$\begin{aligned}
s_1 &= r_1^2 - q_1q_2r_4^2 \\
s_2 &= 2r_1r_2 + (d_1^2q_2 + d_2^2q_1)r_4^2 - 2q_1q_2r_4r_5 \\
s_3 &= r_2^2 + 2r_1r_3 - d_1^2d_2^2r_4^2 + \\
&\quad + 2(d_1^2q_2 + d_2^2q_1)r_4r_5 - q_1q_2r_5^2 \\
s_4 &= 2r_2r_3 + (d_1^2q_2 + d_2^2q_1)r_5^2 - 2d_1^2d_2^2r_4r_5 \\
s_5 &= r_3^2 - d_1^2d_2^2r_5^2
\end{aligned} \tag{14}$$

Jednačina (13) može se smatrati jednačinom četvrtog stepena od a^2 . Pošto su prihvatljive samo pozitivne vrednosti za a , to znači da mogu biti nađena četiri rešenja za dužinu a . Kada je a određeno, dužine b i c mogu se lako odrediti pomoću (8) i (9). Problem određivanja daljine sveden je na određivanje parametara p_i , q_i , r_i i koeficijenata polinoma s_i , a zatim se daljina trougla određuje nalaženjem nula polinoma (13).

Merenje daljine cilja na osnovu video snimaka

Za određivanje daljine cilja na osnovu video snimaka koristimo se

metodama perspektivne projektivne geometrije, pri čemu je potrebno poznavati prirodnu veličinu cilja. Ovde će biti korišćena metoda lokacije trougla poznatih dužina strana.

Metoda lokacije trougla poznatih dužina strana može poslužiti za određivanje lokacije cilja na kojem se mogu uočiti tri tačke čija međusobna rastojanja su poznata. To su obično vrh, rep i krajevi krila letelice koja se prati i čiji tip je poznat. Rastojanja od kamere a , b i c uočenih tačaka A , B i C , cilja koji se prati i čija međusobna rastojanja su poznata (slika 3) dobijaju se rešavanjem jednačina (13), (8) i (9). Koeficijenti u ovim jednačinama q_i , r_i i s_i su funkcije rastojanja uočenih tačaka cilja d_1 , d_2 i d_3 i skalarnih proizvoda jediničnih vektora linija viziranja izabranih tačaka na cilju:

$$\begin{aligned}
p_1 &= \vec{e}_1\vec{e}_2 = e_{1x}e_{2x} + e_{1y}e_{2y} + e_{1z}e_{2z} \\
p_2 &= \vec{e}_2\vec{e}_3 = e_{2x}e_{3x} + e_{2y}e_{3y} + e_{2z}e_{3z} \\
p_3 &= \vec{e}_1\vec{e}_3 = e_{1x}e_{3x} + e_{1y}e_{3y} + e_{1z}e_{3z}
\end{aligned} \tag{15}$$

Jedinični vektori pravaca viziranja izabranih tačaka u koordinatnom sistemu kamere (ksk) određuju se na osnovu merenja pozicije lika tih tačaka u ravni snimka, tako da njihove komponente iznose:

$$\begin{aligned}
e_x &= \frac{u}{m} \\
e_y &= \frac{v}{m} \\
e_z &= \frac{f}{m}
\end{aligned} \tag{16}$$

Ovde je m rastojanje lika tačke u ravni snimka od koordinatnog početka u ksk:

$$m = \sqrt{u^2 + v^2 + f^2} \quad (17)$$

pri čemu je f fokusno rastojanje određeno prema (4).

Daljina do centra cilja, koji se obično nalazi na sredini jedne od strana posmatranih trouglova (dužina letilice ili razmah krila), iznosi:

$$s = \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \quad (18)$$

gde su s_1 i s_2 daljine od senzora do krajeva duži na čijoj sredini se nalazi centar cilja.

Primer određivanja daljine cilja obradom video snimaka

Merenje putanje cilja u ovom primeru izvršeno je pomoću dva teodolita sa automatskim praćenjem cilja u toku leta. Izvršeno je praćenje putanje borbene aviona G2, koji je u toku leta sniman televizijskom kamerom. Za potrebe obrade podataka izvršena je digitalizacija video zapisa pomoću A/D video konvertora MIRO DV500 i programom Adobe Premijer 6.5, čime je dobijen niz digitalnih poluslika pogodnih za dalju obradu. Procesiranje i poboljšavanje kvaliteta slike urađeno je programom Adobe Photoshop 7.0. Stvarna daljina (S) aviona u toku leta određena je metodom presecanja pravaca viziranja sa dva teodolita u toku praćenja.

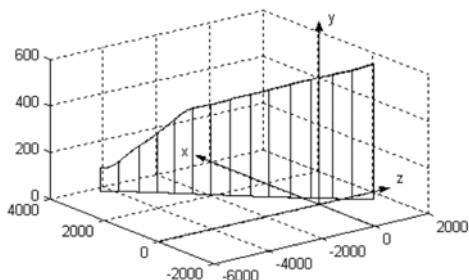
Za potrebe određivanja daljine cilja sa snimaka TV kamere izvršeno je očitavanje koordinata vrha, dna i vrhova krila aviona u ravni snimka. Očitavanje je izvršeno automatskim markiranjem i istovremenim postavljanjem četiri trekera (tragača) pomoću programa 3D Studio – 3ds max5, kao što je prikazano na slici 4. Ovaj program ima mogućnost postavljanja više trekera na ivične tačke cilja. Oni se vežu za izabranu tačku i određuju njene koordinate u ravni snimka za sve vreme praćenja.



Sl. 4 – Automatsko čitanje koordinata tačaka cilja

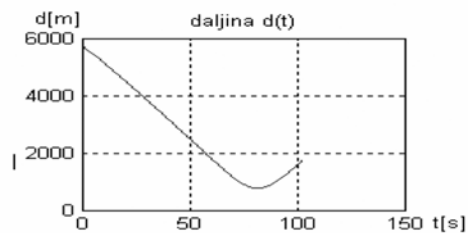
Putanja aviona predstavlja let sa manevrom propinjanja u vertikalnoj ravni (slika 5). Uređaj za praćenje cilja („sky track“ teodolit) sa čijih kamera su korišćeni snimci aviona za obradu u ovom primeru nalazi se u koordinatnom početku. Promena daljine cilja sa vremenom prikazana je na slici 6.

Određivanje daljine cilja na osnovu poznavanja veličine cilja i koordinata karakterističnih tačaka (dna, vrha i krajeva krila) izvršeno je metodom lokacije trougla poznatih dužina stranica pomoću programa urađenih u programskom jeziku Matlab. Određivanje daljine cilja meto-



Sl. 5 – Putanja aviona G2 snimljena sa dva teodolita

dom trougla izvršeno je na osnovu merenja pozicije četiri karakteristične tačke cilja, tako što su formirana četiri trougla i za svaki od njih određena je daljina.

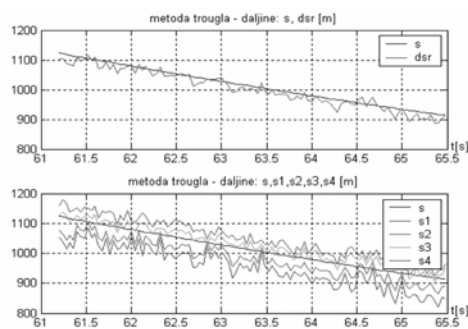


Sl. 6 – Promena daljine cilja u funkciji vremena

Dobijeni rezultati pokazuju da se za razne trouglove dobijaju različite vrednosti daljine cilja. Njihovim usrednjavanjem dobija se daljina koja najbolje aproksimira stvarnu daljinu cilja. Primer određivanja srednje daljine cilja za segment putanje prikazan je na slici 7.

Na slici je sa s označena daljina izmerena sistemom teodolita, sa d_{sr} je označena srednja vrednost daljine, a sa s_1 , s_2 , s_3 i s_4 označene su daljine cilja dobijene obradom pojedinih trouglova formiranih spajanjem karakterističnih tačaka cilja (dna, vrha i krajeva krila). Iz dobijenih rezultata može se zaključiti da je za određivanje daljine metodom trougla potrebno

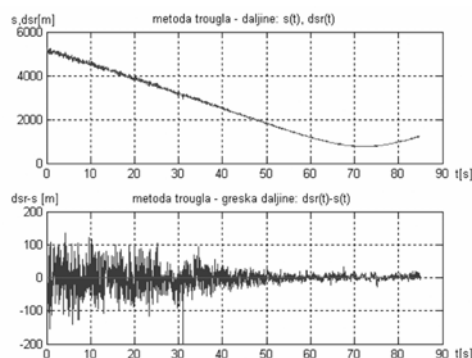
koristiti četiri tačke, dok se pri određivanju daljine cilja sa samo jednim trouglom mogu napraviti veće greške.



Sl. 7 – Daljina cilja u funkciji vremena, stvarna s i merena d_{sr} i s_i

Primer određivanja daljine cilja u toku praćenja njegovog leta na daljinama od 5 do 1 km metodom lokacije trougla, na osnovu merenja četiri karakteristične tačke sa snimaka TV kamere, dat je na slici 8.

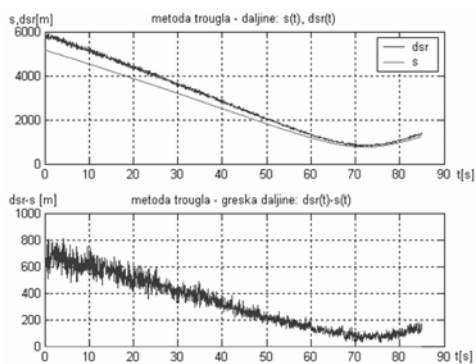
Kao što se može videti, daljina određena obradom snimaka osciluje oko njene stvarne vrednosti, što je posledica slučajnih grešaka merenja. Odstupanja daljine od njene stvarne vrednosti su veća na većim daljinama, zato što je lik cilja



Sl. 8 – Daljina cilja određena sa snimaka TV kamere

tada sitniji, a time je i relativna greška merenja veća. Srednja greška određivanja daljine na rastojanju od 5 do 2,5 km kreće se oko 50 m, a na manjim rastojanjima naglo pada do vrednosti oko 10 m, odnosno do veličine praćenog cilja.

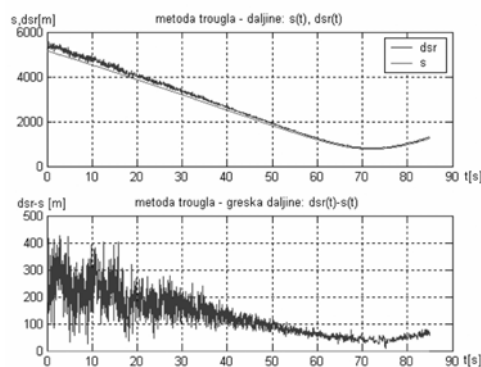
Osnovni parametri od kojih zavisi određivanje daljine cilja sa video snimaka su zum kamere, odnosno fokusna daljina i veličina cilja. Osetljivost metode na promene ovih parametara testirana je tako što su njihove vrednosti uvećane za 5% od stvarnih vrednosti. Dobijeni rezultati prikazani su na slikama 9 i 10.



Sl. 9 – Daljina određena pri povećanju zuma za 5%

Vidi se da je metoda višestruko osetljivija na promenu zuma nego na promenu veličine cilja. Naime, pri uvećanju zuma za 5% daljina cilja se uvećava za 15% (slika 9), dok se pri uvećanju veličine cilja za 5%, daljina cilja uvećava takođe za 5% (slika 10).

Ova činjenica može se iskoristiti za korekciju daljine cilja određene sa video snimaka, kada dimenzije cilja nisu dobro identifikovane. Na osnovu daljine izmerene u nekom trenutku ili periodu praćenja, sa laserom ili radarom, sa istog ili nekog drugog uređaja za praćenje, odre-



Sl. 10 – Daljina određena pri povećanju veličine cilja za 5%

đuje se faktor korekcije usvojene veličine cilja kao količnik daljine izmerene nekim daljinomerom i daljine cilja određene na osnovu video snimaka. Korekcija veličine cilja vrši se množenjem prethodno usvojene veličine cilja sa izračunatim faktorom korekcije

Standardna odstupanja merenja daljine cilja

Kao što je prethodno pokazano, daljina cilja može se određivati obradom pozicije karakterističnih tačaka cilja sa video snimaka. Kvalitet podataka dobijenih obradom snimaka cilja prvenstveno zavisi od kvaliteta i rezolucije slike, odnosno od uticaja šuma u video slici i grešaka kvantizacije video signala.

Uzroci slabljenja kvaliteta video slike su višestruki, a osnovni su: neujednačenost zračenja površine cilja, slabljenje elektromagnetnog zračenja cilja na putu do senzora, termički šum senzora i mehanički šumovi izazvani vibracijama senzora u toku praćenja cilja. Uobičajena pretpostavka je da se šum u video slici smatra stacionarnim slučajnim procesom sa

normalnom raspodelom gustina verovatnoća i nultom sredinom. U literaturi se, pre svega zbog dominantnog uticaja termičkog šuma, smatra da je šum u video slici beli, aditivan i nekorelisan sa uglavnom korisnim signalom.

Pored šuma, na tačnost određivanja pozicije karakterističnih tačaka cilja u video slici utiče i prostorna i nivoska diskretizacija, odnosno kvantovanje pri formiranju digitalne video slike. Intenzitet svetla i koordinate pojedinih tačaka cilja u koordinatnom sistemu kamere su kontinualne funkcije koje se diskretizuju sa određenom greškom. Ako je broj nivoa diskretizacije veliki tada je zajednička funkcija gustine verovatnoće Gausova, pa se pokazuje da se šum kvantizacije, takođe, može posmatrati kao aditivni i beli.

Određivanje daljine cilja obradom video snimaka zasniva se na poznatoj relaciji:

$$d = f \frac{L}{l} \quad (19)$$

gde je d (m) daljina cilja, f (piksel) fokusna daljina, L (m) veličina cilja, a l (piksel) veličina lika cilja. Sa promenom daljine d menja se i veličina lika l , dok su fokusna daljina f i veličina cilja L konstantne veličine.

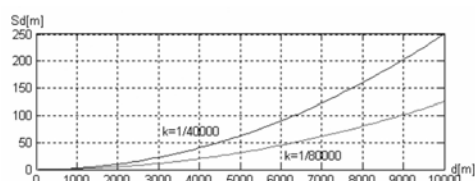
Standardno odstupanje daljine cilja može se odrediti na osnovu standardnog odstupanja veličine lika cilja iz odnosa njihovih varijansi:

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{\partial d}{\partial l} \right)^2 \sigma_l^2 \quad (20)$$

Iz gornje relacije dobija se uprošćena zavisnost za standardno odstupanje daljine cilja u sledećem obliku:

$$\sigma_d = \frac{d^2}{fL} \sigma_l \quad (21)$$

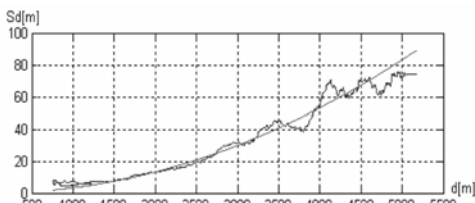
Ako se usvoji da je greška određivanja veličine lika $\sigma_l = 1$ piksel, veličina lika cilja $L = 10$ m i fokusna daljina šater kamere $f = 40\,000$ piksela, odnosno $f = 80\,000$ piksela, dobija se zavisnost standardnog odstupanja određivanja daljine cilja od daljine cilja $\sigma_d(d)$, prikazana na slici 11.



Sl. 11 – Standardno odstupanje daljine cilja

Dobijenu zavisnost potvrđuju i eksperimentalni rezultati dati na slici 12 za TV kameru. Standardno odstupanje daljine cilja određeno je u prozoru od sto tačaka, za sredinu prozora, a zatim je prozor pomeran za po jednu tačku do kraja praćenja.

Na slici 12 prikazane su eksperimentalna i teorijska kriva standardnog odstupanja daljine cilja.



Sl. 12 – Standardno odstupanje određivanja daljine cilja

Zaključak

U radu je pokazano da je moguće dovoljno tačno odrediti daljinu cilja obradom podataka merenja pozicije karakterističnih tačaka cilja u ravni video snimka, uz primenu kvalitetne optike sa preciznim očitavanjem fokusne daljine pri zumiranju i fokusiranju cilja. Utvrđeno je da procentualno izražena greška u veličini zuma trostruko uvećava procentualno odstupanje daljine cilja od tačne vrednosti, dok se procentualno izražena greška u identifikaciji veličine cilja srazmerno odražava na procentualno odstupanje daljine. Ova činjenica se može iskoristiti za uvođenje popravki daljine cilja na osnovu poređenja sa tačno određenom daljinom, korekcijom identifikovane daljine cilja ili zuma. Utvrđena je zakonitost promene standardnog odstupanja pri određivanju daljine cilja u funkciji daljine. Pokazano je da je tačnost određivanja daljine obrnuto srazmerna fokalnoj daljini video sistema. Znači da će se sa povećavanjem fokusne daljine video sistema povećati tačnost određivanja daljine udaljenih ciljeva. Dobijeni rezultati

greške određivanja daljine cilja obradom video snimaka ukazuju na potrebu filtriranja dobijenih podataka.

Primena metode za određivanje daljine cilja obradom video snimaka može imati veliki praktični značaj, jer se praćenje cilja odvija u pasivnom radu senzora koji se teško otkriva i ometa, ali ima i ograničenja zbog zahteva za apriornim poznavanjem veličine cilja, sensorima visokog kvaliteta video snimaka sa velikim uvećanjem i računarima velike brzine i kapaciteta za obradu velikog broja podataka u realnom vremenu. Ova ograničenja mogu se prevazići, pa se preporučuje primena ove metode u SUV PVO samostalno ili kao dopuna uz postojeće načine određivanja pozicije cilja pomoću aktivnih senzora, radara ili lasera.

Literatura:

- [1] Haralik, R. M.: Computer and Robot Vision, Volume I, II, Addison-Wesley Publishing Company, 1992.
- [2] Linnainmaa, S.: Pose Determination of a Three-Dimensional Object Using Triangle Pairs, IEEE Trans. PAMI, Vol 10, No 5, pp. 634-647, 1988.
- [3] Ugarak, D.: Doprinos izučavanju parametara sistema za upravljanje vatrom pri praćenju objekata u uslovima smanjene senzorske vidljivosti, Doktorski rad, Mašinski fakultet u Beogradu, 2004.