

Rezime:

U radu je dat primer primene jedne vrste niskofrekventnog filtriranja sa usrednjavanjem, koje se primenjuje u sistemima za detekciju i praćenje ciljeva u vazдушnom prostoru primenom termovizije. Date su dve metode filtriranja slike. Prva metoda koristi niskofrekventno konvoluciono filtriranje a druga usrednjavajući filter na osnovu srednje vrednosti nivoa sivog. Ovi filteri su primenjeni u sistemima za praćenje uz pomoć infracrvenih senzora. Određivanje nivoa praga filtriranja vrši se uz pomoć statističkih osobina slike. Veoma važan korak u procesu praćenja je određivanje prozora praćenja, koji može biti, po dimenzijama, fiksna ili adaptibilan. Pogrešna procena o postojanju cilja u prozoru može se doneti u slučaju prisustva šuma pozadine, predpojačavača, detektora, itd. Filtriranje je neophodan korak u ovim sistemima, kao značajan činilac u povećanju brzine i tačnosti praćenja.

Ključne reči: filtriranje šuma, praćenje ciljeva, termovizija.

AN EXAMPLE OF IMAGE FILTERING IN TARGET TRACKING
SYSTEMS WITH THERMAL IMAGERY

Summary:

A case of image filtering in air target detecting and tracking systems is described in this paper. Two image filtering methods are given. The first method is performed using a low pass convolving filter and the second one uses the mean value of gray level filter. The main goal of the cited filtering is implementation in IR (infra red) systems. Some statistical features of the images were used for selecting the threshold level. The next step in the algorithm is the determination of a „tracking window“ that can be fixed or adaptive in size. A false estimation of a target existing in the window may be influenced by the background noise, low noise amplifier, detector, etc.

Key words: noise filtering, target tracking, thermal imagery.

Uvod

U slučaju filtriranja slike za otkrivanje i praćenje ciljeva u vazдушnom prostoru opisane su dve metode filtriranja slike koje su primenjene u konkretnom algoritmu za otkrivanje i praćenje, iz familije korelacionih algoritama. Projektovan je za sisteme praćenja pokretnih objekata u va-

zdušnom prostoru primenom termovizije. Proces praćenja pokretnih objekata primenom termovizije može se definisati u nekoliko koraka. Prvi korak je otkrivanje i identifikacija cilja i određivanje koordinata. Sledi odabiranje metode filtriranja slike, na osnovu praga koji je postavljen analizom njenih statističkih osobina. Sledeći korak je određivanje „prozora praće-

nja“, koji može biti fiksni ili adaptibilan. Šum na slici potiče od pozadine, detektora, kvantovanja, kanala, pretpojačavača slike, itd. U daljoj obradi ovaj šum može da dovede do pogrešne odluke o postojanju cilja, pomeranju pojedinih objekata na sceni, itd. Filtriranjem šuma dolazi do oštećenja neke od korisnih informacija na slici, pa je potreban određen kompromis između ova dva zahteva. Obrada se vrši u dva koraka – u prvom koraku se filtrira slika, a u drugom se formira „binarna“ (crnobela) slika.

Opis primenjenih metoda filtriranja

Prostorno filtriranje

Prostornim filtriranjem naziva se proces korišćenja prostornih maski za filtriranje slike, nasuprot filtriranju u frekvencijskom domenu, gde se najčešće koristi Furijeova transformacija. Ovi filtri mogu biti linearni ili nelinearni. U teoriji linearnih filtara transfer funkcija predstavlja inverznu Furijeovu transformaciju impulsnog odziva. Drugim rečima, niskofrekventni filtri slabe ili eliminišu komponentu visoke frekvencije u Furijeovom domenu, dok su komponente niskih frekvencija malo oslabljene. U slučaju visokofrekventnog filtra ova situacija je obrnuta, tj. slabe se i eliminišu komponente niske frekvencije.

Ako se sa Y označi početna slika, dimenzija (W, Q) , i ako je H prenosna funkcija filtra, u opštem slučaju važi za filtriranu sliku [1], gde je $*$ oznaka konvolucije u prostornom domenu:

$$G(x, y) = H(x, y) * Y(x, y) \quad (1)$$

Filtriranje usrednjavanjem vrednosti nivoa sivog

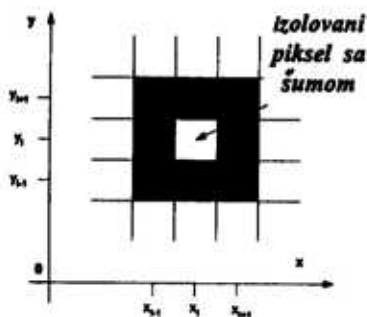
Prvi korak u predobradi slike je niskofrekvencijsko filtriranje, odnosno primena filtra, zasnovanog na izračunavanju srednje vrednosti grupe piksela, odnosno filtra sa usrednjavanjem. Srednja vrednost S , nivoa sivog L , grupe $k \times k$ piksela, može se predstaviti pomoću izraza:

$$S = \frac{1}{k^2} \sum_{x_i}^{x_{i+k}} \sum_{y_j}^{y_{j+k}} L_{ij} \quad (2)$$

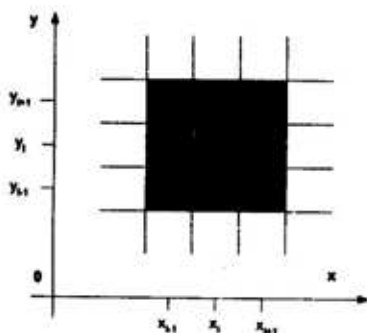
Prilikom procesa filtriranja slike postiže se efekat „glačanja“, što može da dovede do gubitka nekih značajnih detalja na slici ili takozvanog „razmazivanja“ ivica. Ove pojave izazivaju gubitak finih detalja u slici. Ako je filtriranje slike od šuma važnije od procesa ublažavanja ivica, kao alternativna metoda koristi se „usrednjavajući“ filter. Na slici koja je filtrirana ovom metodom svaki piksel je zamenjen usrednjenom vrednošću nivoa sivog nekoliko susednih piksela. U izrazu (3) navodi se nekoliko najčešće korišćenih „maski“, veličine 3×3 , 4×4 i 5×5 piksela, koje se pomeraju za po jedan piksel po redovima i kolonama, množeći odgovarajuću matricu piksela [1].

$$S = \frac{1}{9} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} S = \frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

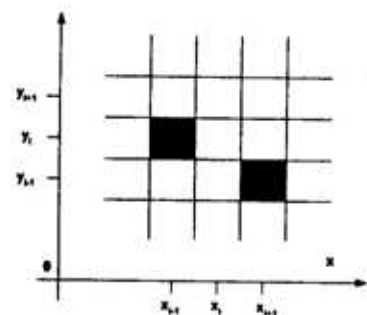
$$S = \frac{1}{25} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$



a)



b)



c)

Sl. 1 – Primer filtriranja šuma grupe piksela: a) sa izolovanim šumom u sredini; b) posle NF filtriranja usrednjavanjem; c) posle filtriranja sa zadatim pragom

Radi lakše analize, razmatraće se primer matrice dimenzija 3×3 piksela ($k = 3$), koji su raspoređeni kao što pokazuje slika 1a. Na slici 1b prikazani su re-

zultati primene maske ove matrice, u kojoj svi elementi imaju vrednost nivoa sivog S . Sledeći korak predstavlja formiranje binarne slike. Ona je dobijena iz slike filtrirane usrednjavanjem, tako što su sve vrednosti nivoa sivog piksela iznad praga ϵ , dobile vrednost 1 (beli piksel), a vrednosti ispod ovog praga imaju vrednost 0 (crni piksel). Na slici 1c data je ista matrica piksela sa primenjenim filtrom za binarnu sliku. Unutar nje svi elementi matrice slike moraju da zadovolje uslov da njihova srednja vrednost bude veća od unapred zadatog praga. Ako ϵ predstavlja unapred zadati prag, dobijen ekvalizacijom histograma ili nekom drugom metodom, tada je za svaki piksel L_{ij} filtrirane slike ispunjen uslov:

$$|S - L_{ij}| > \epsilon \quad (4)$$

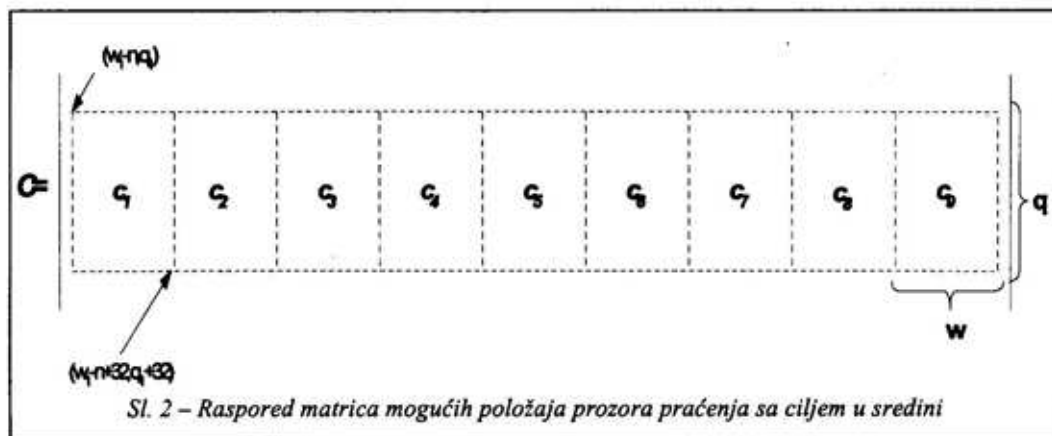
Formiranje baze slika za testiranje filtra

Početni korak pri testiranju algoritma predstavlja formiranje baze podataka. Naime, potrebno je formirati bazu sukcesivnih slika u kojima se cilj kreće po nekoj zadatoj putanji. Parametar koji se koristi pri komparaciji kvaliteta primenjenih filtera jeste uspešnost otkrivanja i praćenja pokretnog cilja metodom korelacionih koeficijenata [2]. U ovoj fazi potrebno je odrediti mehanizam podešavanja korelacionog operatora, u odnosu na pomeraj cilja. Ova baza je formirana digitalizacijom 100 sukcesivnih slika (25 slika u sekundi) jedne video sekvence kretanja cilja u trajanju od četiri sekunde.

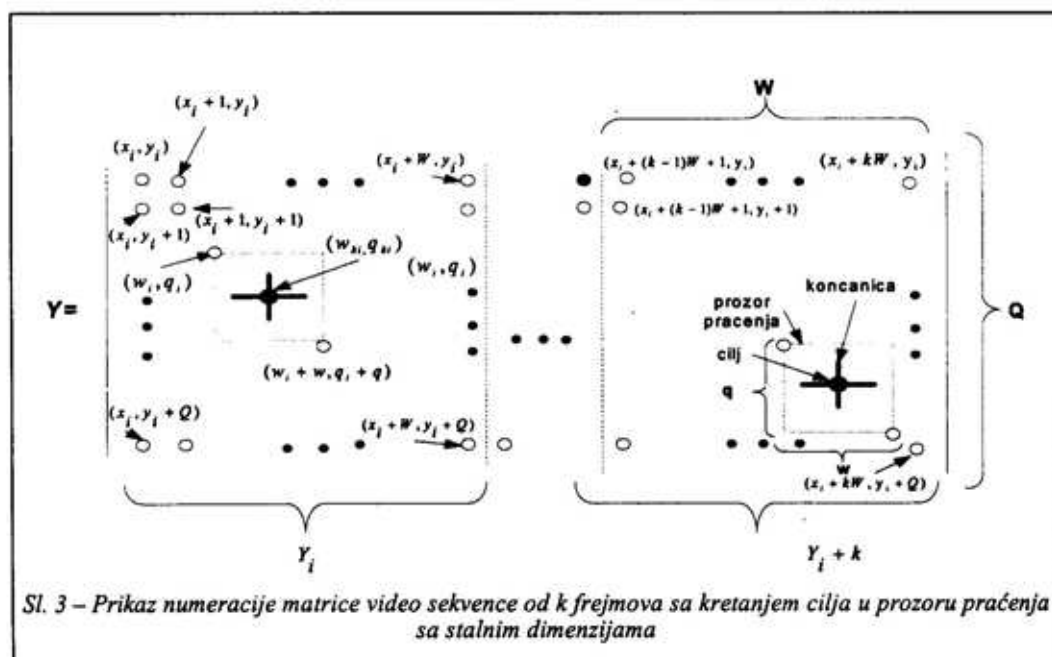
Korelacione matrice za izračunavanje koeficijenta korelacije

Teorijska razmatranja digitalizacije matrice slike iz jednačina daju nam parametre za formiranje odgovarajućih matrica mogućeg položaja cilja u narednom frejmu pokretne sekvence slike. Matrica korelacionih „maski“ C sastoji se od devet submatrica, c_1, c_2, \dots, c_9 , adekvatno

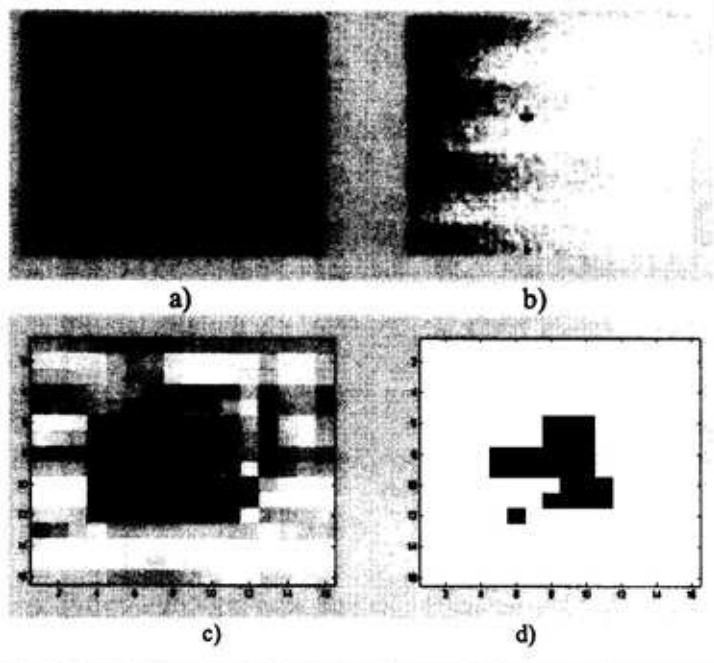
moogućim narednim pravcima pomeranja prozora praćenja u okviru matrice slike. Submatrice imaju isti broj redova (linija) kao i matrica C , i 9 puta manje kolona. To su pravci zapad, severozapad, sever, severoistok, istok, jugoistok, jug, jugozapad i nepromenjen položaj respektivno u odnosu na elemente matrice C . Oni su poredani kao elementi matrice, kao što pokazuje slika 2.



Sl. 2 – Raspored matrice mogućih položaja prozora praćenja sa ciljem u sredini



Sl. 3 – Prikaz numeracije matrice video sekvence od k frejmova sa kretanjem cilja u prozoru praćenja sa stalnim dimenzijama



Sl. 4 – Faze procesa praćenja:
 a) početna slika sa realnom pozadinom i ciljem;
 b) posle filtriranja usrednjavanjem 4×4
 c) cilj u prozoru praćenja;
 d) formiranje crno-bele slike postavljanjem praga

Numeraciju piksela pokazuje slika 3. Na njoj je prikazan izgled matrice Y koja predstavlja video sekvencu dužine k „frejmova“. Ona je formirana od k sukcesivnih slika $y_1, y_{1+1}, y_{1+2}, \dots, y_{1+k}$ u kojima se cilj, zajedno sa prethodno definisanim prozorom praćenja, pomera određenom brzinom u nekom od devet pravaca, kako je dato u prethodnoj matrici C .

Svaki „frejm“ u sekvenci je dimenzija $W \times Q$, a matrica Y je dimenzija $kW \times Q$. U svakom frejmu nalazi se prozor praćenja u kojem se cilj nalazi u centru. Dimenzije prozora praćenja su hipotetički stalnih dimenzija $w \times q$, ali se on može menjati u zavisnosti od dimenzija cilja. Pored toga, pretpostavka je da se dimenzije cilja u celoj video sekvenci ne menjaju, i da se on nalazi u centru prozora praćenja. Početne koordinate cilja, koje se izračunavaju u prvom frejmu su

(w_{k1}, q_{k1}) . Na osnovu njih se izračunavaju koordinate prozora praćenja (w_p, q_p) , tako što su koordinate cilja centar prozora praćenja.

Rezultati simulacije praćenja

Radi ispitivanja pouzdanosti metode zadata je putanja kretanja cilja, koja obuhvata neke brze manevarske pokrete letelice, kao i pravolinijsko kretanje, za sve moguće slučajeve kretanja cilja. Na slici 4 prikazane su četiri faze algoritma praćenja. Posle dvostrukog filtriranja prvog frejma video sekvence, određivanjem početnih koordinata detektovanog cilja, formira se prozor praćenja, sa končanicom u centru cilja. Dimenzije prozora se menjaju u zavisnosti od dimenzija cilja. Usvojeno je da dimenzija prozora bude dva puta veća od dimenzija cilja [3].

Sledeći korak predstavlja množene matrice tako formirane slike sa matricama koje su dobijene isecanjem originalne slike, na način kako je definisano korelacionim „maskama“ [2].

$$c(s,t) = \frac{\sum_x \sum_y [f(x,y) - \bar{f}(x,y)][w(x-s,y-t) - \bar{w}]}{\left\{ \sum_x \sum_y [f(x,y) - \bar{f}(x,y)]^2 \sum_x \sum_y [w(x-s,y-t) - \bar{w}]^2 \right\}^{1/2}} \quad (5)$$

gde je:

$s = 0, 1, \dots, W-1$, $t = 0, 1, \dots, Q-1$ a \bar{w} i \bar{f} predstavljaju srednje vrednosti posmatranih matrica. Tako se formira 9 koeficijentata korelacije, za svaki novi mogući pomeraj cilja po jedan. Najvećem koeficijentu korelacije ujedno pripada stvarni smer pomeraja cilja. Veličina pomeraja određena je predikovanim vrednostima koje se dobijaju primenom Kalmanovog filtra, odnosno estimacijom budućeg stanja na osnovu vektora kretanja cilja. Za inicijalizaciju Kalmanovog filtra koriste se prva tri položaja cilja. Zato prve vrednosti merenja efikasnosti predloženih filtera (slika 7) počinju od 4. kadra. Na slici 5 prikazano je devet mogućih položaja cilja u matrici prozora praćenja, sa predloženim filtriranjem slike, vezano za izračunavanje korelacionih koeficijentata.

Na slici 6 prikazana je binarna slika „prozora“ praćenja, na osnovu praga nivoa sivog definisanog, kao aritmetička sredina nivoa sivog u celom prozoru. Svaki od ovih položaja ima svoj koeficijent korelacije koji je vezan sa prethodnom slikom, a koristi se samo onaj sa najvećim koeficijentom korelacije.

Daljom i detaljnijom analizom dobijenih slika u prozoru praćenja moguće je preciznije izračunati koeficijente korela-

Koeficijenti korelacije c , dve matrice slike ($f(x,y)$ i $w(x,y)$) izračunavaju se po literaturi [1], imaju normalizovane vrednosti između 0 i 1, na osnovu izraza:

cije, postavljanjem adaptibilnog praga na vrednost dobijenu na osnovu neke druge statističke vrednosti nivoa sivog [4].

Za ilustraciju rezultata postignutih simulacijom izabran je grafik odnosa potrebnog procesorskog vremena za izračunavanje korelacionih koeficijentata sa filtriranjem (T_f) i bez filtriranja (T_w), dat izrazom:

$$T_f = \frac{t_f}{t_i} 100[\%] \quad (6)$$

odnosno

$$T_w = \frac{t_w}{t_i} 100[\%] \quad (7)$$

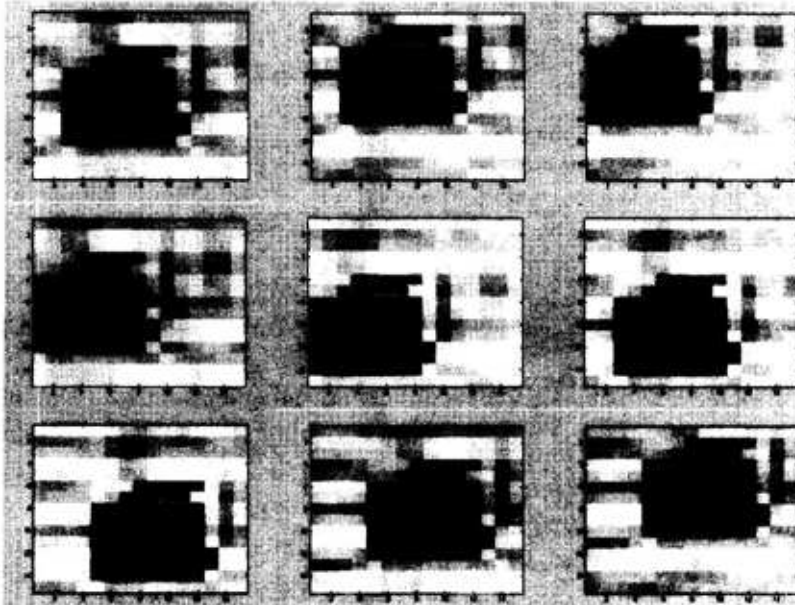
pri čemu je:

t_f – vreme potrebno za izračunavanje koeficijentata korelacije bez filtriranja (time without filtering);

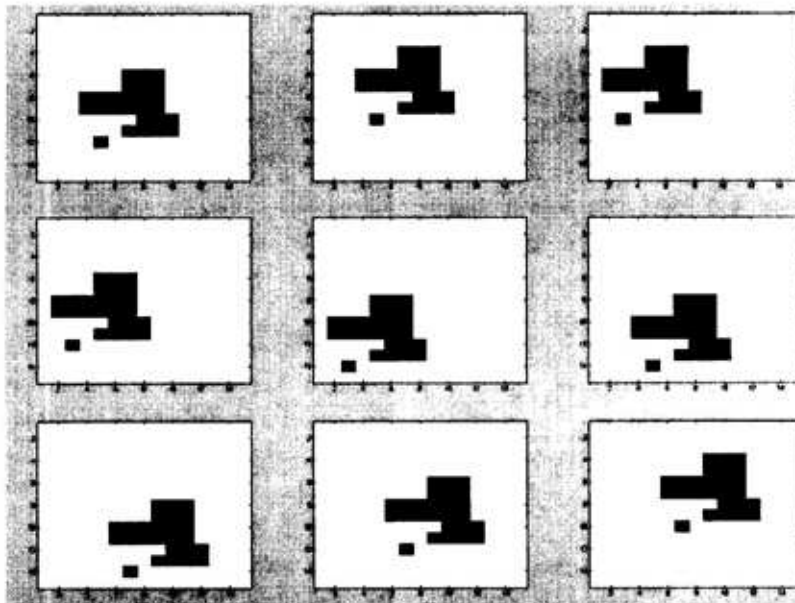
t_w – vreme potrebno za izračunavanje koeficijentata korelacije sa filtriranjem (time for filtering);

t_i – ukupno vreme jednog ciklusa praćenja (total time).

Na slici 7 prikazani su dijagrami izmerenih odnosa vremena za predobradu slika u procentima, korišćenjem simulacionog paketa MATLAB 5.2 IMAGE



Sl. 5 – Rezultati simulacije filtriranja metodom usrednjavanja u prozoru praćenja (matrice korelacionih koeficijenata od c_1 do c_9 respektivno)



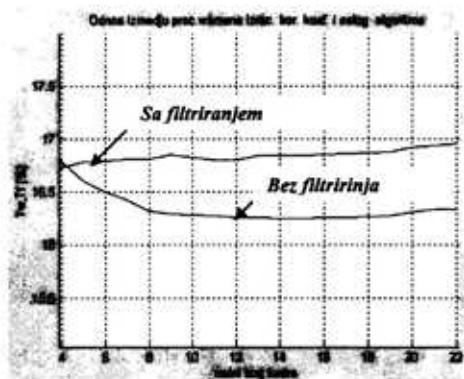
Sl. 6 – Rezultati simulacije formiranja crno-bele slike u prozoru praćenja za svih devet korelacionih matrica

Zaključak

Rezultati prikazani u radu opravdavaju primenu predobrade filtriranjem slike u algoritmu za praćenje ciljeva u vazдушnom prostoru. Pojavom veoma brzih procesora slike omogućena je brza i jednostavna izmena pojedinih parametara u sistemu, na softverskom nivou. Softverski paket je urađen sekvencijalno sa mogućnošću promene svih parametara (dimenzija prozora praćenja, dimenzija maski „usrednjavajućeg“ filtra, izbor vidnog polja kamere, itd.) koji su ovde dati hipotetički, kao početni uslovi za rad algoritma.

Analiza primene dva algoritma za filtriranje i praćenje pokretnih ciljeva u vazдушnom prostoru u funkciji je preciznosti i brzine rada. Pokazano je da vreme potrebno za filtriranje slike ne ugrožava brzinu rada algoritma u celini. Drugim rečima, postignuto je povećanje efikasnosti rada algoritma praćenja bez smanjenja preciznosti određivanja koordinata cilja, pa je zbog toga opravdana primena predloženog filtriranja.

Mogućnost primene oglada se u izradi hardverskog modela uređaja za praćenje pokretnih objekata u vazдушnom prostoru. Radi toga bi bilo potrebno izraditi mehaničku platformu na kojoj će biti postavljena kamera, i koja će biti pokretana signalima iz ovog uređaja koji predstavljaju naponske signale za korekciju pozicije platforme, koja treba da dovede cilj u centar slike. Pored toga, ovaj algoritam može se primeniti za testiranje sistema za praćenje pokretnih ciljeva u vazдушnom prostoru, merenjem greške pozicioniranja i promenom odgovarajućih ulaznih parametara algoritma.



Sl. 7 – Odnos vremena potrebnog za izračunavanje korelacionih koeficijenata sa filtriranjem i bez filtriranja slike

PROCESSING TOOLBOX (komande *tic* i *toc*), odnosno, dat je procentualni odnos participiranja izračunavanja korelacionih koeficijenata sa i bez filtriranja i celokupnog vremena algoritma za praćenje.

Dijagram počinje rezultatima za četvrti kadar, zbog inicijalizacije algoritma u smislu otkrivanja i pozicioniranja koordinata cilja, upisivanjem rezultata u vektor stanja kretanja cilja i predviđanja narednih stanja. Iz dijagrama se može videti da je utrošak procesorskog vremena za filtriranje slike neznatan (od 0,1% do 0,65%) u odnosu na vreme koje je potrebno za izvršavanje celog procesa praćenja.

Iz ovog dijagrama vidi se da upotreba filtra neznatno utiče na proces formiranja korelacionih maski i izračunavanje korelacionih koeficijenata, koji inače „troši“ oko 16% procesorskog vremena. S druge strane, upotreba filtera je neophodna zbog povećanja preciznosti algoritma i otklanjanja mogućnosti pojave „lažnih“ ciljeva na slici. Za dalje povećanje efikasnosti filtera za predobradu slike potrebno je posmatrati svaki „frejm“ kao stohastički promenljivi signal, kao što je dato u literaturi [5] i [6].

Literatura:

- [1] R. C. Gonzales, P. Wintz: Digital image processing, Addison-Wesley Publishing Company, 1977.
- [2] Y. Bar-Shalom: Multitarget-multisensor tracking: applications and advances Vol. II, Artech House, Boston, London, 1996.
- [3] H. J. Lee, L. F. Huang, Z. Chen: Multi-frame ship detection and tracking in an infrared image sequence, Pattern Recognition, Vol. 23, No 7, pp. 781–798, 1990. Pergamon Press.
- [4] Z. M. Radosavljević: Detekcija i pozicioniranje objekata u vazduhu primenom termovizije, Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2000.
- [5] L. P. Yaroslavky: Digital image processing applications, Course 0505.5404. Lecture 11. Image restoration and enhancement: Linear filters, Haifa, Israel, 2001.
- [6] M. Popović: Digitalna obrada signala, Elektrotehnički fakultet, Beograd 1994.