

**Dr Žarko Barbarić,**  
dipl. inž.  
Elektrotehnički fakultet,  
Beograd  
**mr Boban Bondžulić,**  
kapetan, dipl. inž.  
Vojna akademija – Odsek logistike,  
Beograd

## STATISTIČKA ANALIZA TERMOVIZIJSKE I TELEVIZIJSKE SLIKE I PRAG DETEKCIJE POKRETA NA SCENI

UDC: [621.348.3 : 536.5] : 621.397.13 : 621.391.837

### Rezime:

*U ovom radu prikazana je uporedna analiza osobina televizijske i termovizijske slike iste scene. Analizirani su raspodela nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija, entropija i korelacija televizijske i termovizijske slike bliske i daleke scene. Rezultati analize ukazuju na razlike i sličnosti televizijske i termovizijske slike iste scene. Razlike u vrednostima statističkih parametara televizijske i termovizijske slike bliske scene posledica su dominantnosti komponenata radijanse scene, dok je za slike daleke scene dominantan uticaj transmittivnosti atmosfere. Sličnost postoji zbog fizičkih dimenzija objekata na sceni i sličnih principa vizuelizacije scene termovizijskom i televizijskom kamerom. Analiza je sprovedena i za slike razlike dobijene oduzimanjem sukcesivnih frejmova, posebno za televizijsku i termovizijsku sliku. Ova analiza slika razlike sukcesivnih frejmova ukazuje na veliku saglasnost statističkih parametara ova dva tipa slika iste scene, što je iskorišćeno za određivanje praga detekcije pokreta istim postupkom na oba tipa slika razlike.*

*Ključne reči: televizijska i termovizijska slika, statističke osobine slika, statistička analiza, prag detekcije pokreta.*

---

## STATISTICAL ANALYSIS OF TELEVISION AND THERMOVISION IMAGE AND CHANGE DETECTION THRESHOLDING

### Summary:

*A comparative analysis of statistical properties of television and thermovision images of the same scene is analyzed. Histogram, mean value, standard deviation, entropy, and correlation of gray level both images we studied, for near and far scenes. Results show differences and similarities between television and thermo vision image of the same scene. Differences in values of statistical properties of television and thermo vision images of near scene are consequence of scene radiance. The transmittance of atmosphere is dominated effect for far scene images. Similarities are consequence of scene objects dimensions and similar concepts of visualization television and thermovision cameras. In addition, statistical analysis on the difference images, obtained as difference two successive frames, for television and thermovision image, is given. This analysis shows good agreement on statistical properties of two types of images of the same scene. We used this fact (data) for change detection thresholding with the same procedure.*

*Key words: television and thermovision images, statistical properties of image, statistical analysis, change detection thresholding.*

---

### Uvod

Potreba za sve većim saznanjima o sceni dovela je do proširenja elektromagnetskog spektra koji se koristi za vizueli-

zaciju scene. Tako se danas koriste televizijske, fotografske, laserske, termovizijske i radarske slike iste scene, radi potpune kontrole i praćenja procesa na sceni. Scenu predstavljaju objekti, njih-

va okolina (pozadina) i atmosfera. Slike scene zavise od njenog tipa, uslova prostiranja elektromagnetskog zračenja od objekata do senzora i vrste senzora koji se koristi za formiranje slike scene.

Pored obrade slika iste scene sa različitim sensorima [1] često se koristi obrada slike razlike jednog senzora radi detekcije i praćenja objekata na sceni [2]. Na primer, za detekciju pokreta na sceni koristi se više senzora, kao i slike razlike formirane oduzimanjem sukcesivnih frejmova sa jednog senzora [3].

U ovom radu upoređeni su statistički parametri televizijske i termovizijske slike iste scene, kao i statistički parametri slike razlike formirane oduzimanjem dve sukcesivne slike sa istog senzora. Odre-

đen je prag detekcije pokreta slike razlike, na osnovu sprovedene analize statističkih parametara slike razlike.

### Statistički parametri slike scene

Slike scene dobijene su pomoću televizijske crno-bele kamere firme Samsung, tip SCL860, u vidljivom delu spektra (0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ ) i termovizijske kamere firme ATIS (Advanced Thermal Imaging System), u dalekom infracrvenom delu spektra (8 do 12  $\mu\text{m}$ ). Formirane su baze od po jedanaest sekvenci televizijskih i termovizijskih slika dve scene, bliske scene na daljini oko 70 m (parking u VTI) i daleke scene na daljini oko 4 km (magistralni put Beograd – Obrenovac i



njegova okolina). Baza slika formirana je pomoću fiksnih kamera postavljenih na platformi zgrade u VTI, 19. novembra 2004. od 10<sup>30</sup> do 11<sup>50</sup> časova. Optička vidljivost bila je ograničena zbog oblačnosti i sumaglice.

Na slici 1 prikazani su frejmovi termovizijske i televizijske sekvence bliske (parking) i daleke scene (magistralni put). Prikazane termovizijske i televizijske slike scena istih su dimenzija 410x610 piksela, a formirane su isecanjem originalnih slika scene dimenzija 480x640 piksela. Na slikama 1a i 1b prikazana je bliska scena, vidljivi su detalji na obe slike, iako je termovizijska slika formirana sa širokim vidnim poljem (7,9°x5,4°). Na slikama 1c i 1d prikazana je daleka scena na termovizijskoj i televizijskoj slici, gde se slabo vide detalji na sceni, iako je termovizijska slika formirana u uskom vidnom polju (2,2°x1,5°). Pri formiranju baze slika vidno polje televizijske kamere podešavano je prema vidnom polju termovizijske kamere. Na termovizijskoj slici 1a objekti sa većom emisijom (topli delovi objekata) prikazani su u svetlijoj, a na slici 1c u tamnijoj nijansi sivog.

Za slike bliske i daleke scene određeni su statistički parametri: histogrami, srednje vrednosti, standardne devijacije, entropije i korelacije nivoa sivog.

Na slici 2 prikazani su normalizovani histogrami nivoa sivog slika bliske scene (slike 1a i 1b).

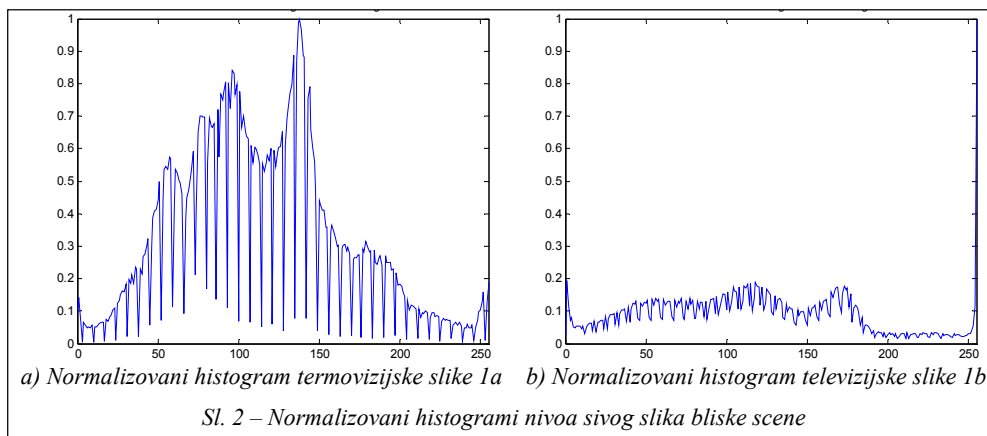
Sa slike 2 vidi se da su nivoi sivog ujednačeniji na televizijskoj nego na termovizijskoj slici bliske scene. Takođe, vidi se da su zastupljeni svi nivoi sivog (0 – 255) na obe slike.

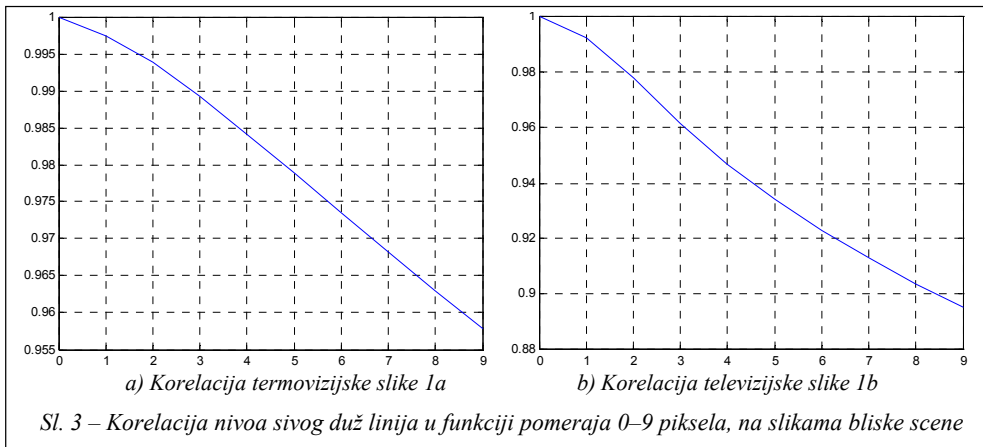
U tabeli 1 dati su: opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog, za slike 1a i 1b.

Tabela 1

Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika bliske scene

Parametar/slika	Termovizijska slika 1a	Televizijska slika 1b
Opseg nivoa sivog	0–255	0–255
Srednja vrednost	114,3083	117,1239
Standardna devijacija	50,1309	65,0493
Entropija	7,4817	7,6857





Iz table 1 vidi se da termovizijska slika bliske scene ima znatno manju standardnu devijaciju nivoa sivog od televizijske slike iste scene. Srednja vrednost i entropija termovizijske slike su nešto manje od istih parametara televizijske slike iste scene.

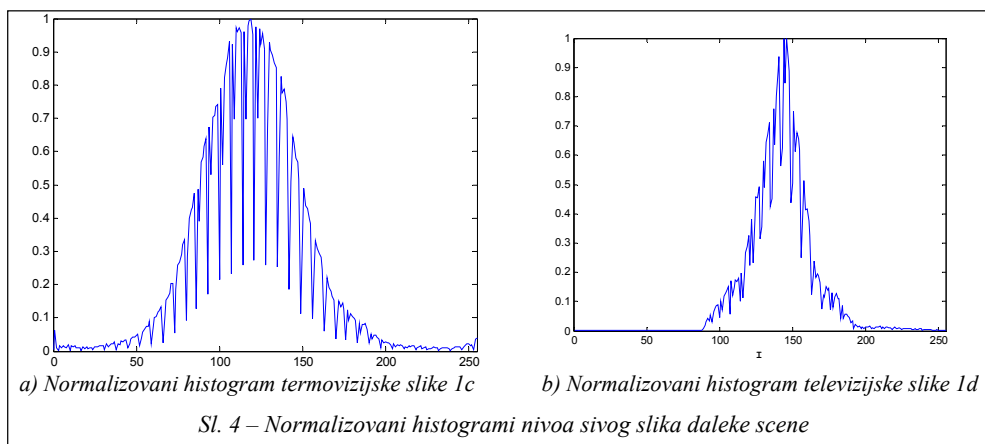
Na slici 3 prikazane su vrednosti korelacije nivoa sivog duž linija termovizijske i televizijske slike bliske scene u funkciji pomeraja 0–9 piksela.

Sa slike 3 vidi se da je visoka korelisanost nivoa sivog piksela na obe slike,

ali je veća za termovizijsku sliku, za sve pomeraje od prvog do devetog piksela. Za obe slike bliske scene vrednost korelacije opada sa pomerajem broja piksela. Slične vrednosti korelacije dobijene su i po kolonama slika bliske scene.

Isti parametri određeni su i za slike daleke scene. Na slici 4 prikazani su normalizovani histogrami nivoa sivog termovizijske i televizijske slike daleke scene.

Sa slike 4 vidi se da histogram termovizijske slike ima veći broj nivoa sivog od televizijske slike daleke scene.



Histogrami slika daleke scene ograničeni su po nivoima sivog. Najveći broj piksela televizijske slike uzima vrednosti nivoa sivog iz opsega 100–200, a termovizijske slike iz opsega 50–200 (slika 4). Poređenjem histograma sa slika 2 i 4 vidi se da je fluktuacija nivoa sivog veća na televizijskoj slici bliske scene i termovizijskoj slici daleke scene (histogrami 2b i 4a su širi).

U tabeli 2 dati su: opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog za slike 1c i 1d.

Tabela 2

Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika daleke scene

Parametar/slika	Termovizijska slika 1c	Televizijska slika 1d
Opseg nivoa sivog	0–255	1–255
Srednja vrednost	119,5990	142,6231
Standardna devijacija	31,3085	20,3547
Entropija	6,8731	6,2690

Iz tabele 2 vidi se da je standardna devijacija nivoa sivog veća na termovizijskoj nego na televizijskoj slici daleke

scene. Srednja vrednost je veća, a entropija nivoa sivog nešto manja na televizijskoj slici daleke scene.

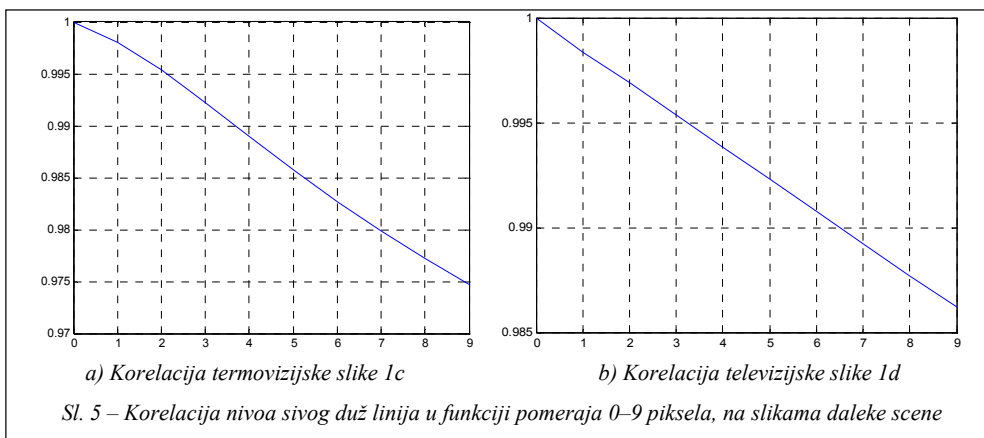
Na slici 5 prikazane su vrednosti korelacije nivoa sivog duž linija termovizijske i televizijske slike daleke scene u funkciji pomeraja 0–9 piksela.

Sa slike 5 vidi se da je visoka korelisanost nivoa sivog piksela na obe slike, ali je veća na televizijskoj nego na termovizijskoj, za sve pomeraje od 1 do 9 piksela. Slične vrednosti korelacije dobijene su i po kolonama slika daleke scene.

### Analiza slika scene

Na slikama bliske scene (slike 1a i 1b) dominantan je uticaj kontrasta na sceni, jer je transmitivnost atmosfere velika za mala rastojanja od kamere do objekta (oko 70 m). Sa druge strane, na slikama daleke scene (slike 1c i 1d) dominantan je uticaj atmosferskog slabljenja, posebno za vidljivo područje talasnih dužina.

Televizijska i termovizijska slika predstavljaju površinsku raspodelu radi-



janse na sceni, koja se redukuje zbog slabljenja u atmosferi i translira u sliku optičkim sistemom senzora [4].

Za formiranje televizijske slike važna je promena reflektovane komponente spektralne radijanse,  $\Delta L_{\lambda}^R$ . Promena se može proceniti pomoću ukupnog priraštaja [5]:

$$\Delta L_{\lambda}^R = \frac{\rho_{\lambda}}{\pi} \Delta(E_{\lambda}^S + E_{\lambda}^N) + \frac{E_{\lambda}^S + E_{\lambda}^N}{\pi} \Delta \rho_{\lambda} \quad (1)$$

gde su priraštaji spektralnih iradijansi od Sunca  $\Delta E_{\lambda}^S$  i neba  $\Delta E_{\lambda}^N$  i spektralne reflektivnosti  $\Delta \rho_{\lambda}$  funkcije koordinata na sceni.

Prvi sabirak sa desne strane jednačine (1) predstavlja promenu spektralnih iradijansi od Sunca i neba, između dve tačke na sceni. Pošto spektralne iradijanse od Sunca i neba u kratkom intervalu imaju konstantne vrednosti, do promene dolazi samo zbog senke na sceni. Drugi član sa desne strane jednačine (1) predstavlja promenu reflektovane spektralne radijanse usled promene spektralne refleksivnosti između dve tačke na sceni. Spektralna refleksivnost površina na sceni zavisi od hemijskog sastava i hrapavosti površine, tako da zavisi od tipa scene. Iz navedenih razloga na televizijskoj slici bliske scene, gde se uticaj transmitivnosti atmosfere može zanemariti, prosečan nivo sivog zavisi, uglavnom, od obasjanosti scene, a fluktuacija nivoa sivog od fluktuacije refleksivnosti na sceni.

Termovizijska slika scene predstavlja raspodelu emisione komponente radijanse scene. Promena emisione komponente spektralne radijanse scene  $\Delta L_{\lambda}^E$  može se proceniti na osnovu ukupne pro-

mene emitovane spektralne radijanse. Na osnovu poznatog Plankovog zakona za realne scene dobija se promena emitovane spektralne radijanse:

$$\Delta L_{\lambda}^E = L_{\lambda}^{CT} \Delta \varepsilon_{\lambda} + \varepsilon_{\lambda} \Delta L_{\lambda}^{CT} \quad (2)$$

gde je  $L_{\lambda}^{CT}$  spektralna radijansa crnog tela temperature T.

Prvi sabirak sa desne strane jednačine (2) predstavlja priraštaj emisione komponente spektralne radijanse usled promene spektralne emisivnosti između dve tačke na sceni. Ovaj član, uglavnom, zavisi od tipa scene, jer za realne scene važi  $\varepsilon_{\lambda} \cong 1 - \rho_{\lambda}$ . Drugi sabirak u (2) predstavlja promenu emitovane spektralne radijanse usled promene temperature na sceni. Na osnovu Plankovog zakona promena spektralne radijanse crnog tela usled promene temperature data je relacijom [5]:

$$\Delta L_{\lambda}^{CT} = L_{\lambda}^{CT} \frac{C_2}{\lambda T} \frac{\Delta T}{T} \frac{1}{1 - \exp(-C_2 / \lambda T)} \quad (3)$$

gde je  $C_2$  druga radijaciona konstanta ( $C_2 = 14387,90 \mu\text{mK}$ ).

Iz relacije (3) vidi se da je promena spektralne radijanse crnog tela veća na manjoj temperaturi, za konstantnu relativnu promenu (kontrast) temperature na sceni  $\Delta T/T$ . Treba napomenuti da temperaturna razlika između objekta i pozadine na prirodnim scenama nije skokovita nego eksponencijalna funkcija rastojanja i vremena. Zbog toga je promena emisione komponente spektralne radijanse na sceni blaga i po pravilu ne određuje fizičke dimenzije objekta. Na termovizijskoj sli-

ci bliske scene  $L_{\lambda}^{CT}$  određuje srednju vrednost nivoa sivog, a fluktuacije nivoa sivog zavise od promene spektralne emisivnosti i relativne promene temperature na sceni, što pokazuju relacije (2) i (3).

Na slikama daleke scene dominantan je uticaj spektralne transmitivnosti atmosfere, koja redukuje kontrast scene na slici. Relacija za procenu transmitivnosti atmosfere prema eksponencijalnoj aproksimaciji je:

$$\tau_{\lambda} = \exp\left(-\frac{a_{\lambda}}{R_V} R\right) \quad (4)$$

gde je:  $R_V$  – optička vidljivost za talasnu dužinu  $0,55 \mu\text{m}$ ,  $R$  – koso rastojanje od kamere do objekta na sceni i  $a_{\lambda}$  – spektralni koeficijent slabljenja u atmosferi.

Koeficijent slabljenja, u funkciji talasne dužine, po Košiderovoj formuli [6], dat je u obliku:

$$a_{\lambda} = 3,912 \left(\frac{0,55}{\lambda}\right)^q \quad (5)$$

gde se  $q$  računa iz relacije  $q = 0,585(R_V)^{1/3}$ .

Iz izraza (4) i (5) vidi se da je spektralna transmitivnost atmosfere najmanja u vidljivom opsegu talasnih dužina. Dakle, na slikama daleke scene veća je redukcija nivoa sivog i fluktuacija nivoa sivog na televizijskim nego na termovizijskim slikama iste scene.

### Statistički parametri slike razlike

Pored analize iste scene na slikama različitih senzora sprovedena je i analiza slike razlike sukcesivnih frejmova sa istih senzora. Slika razlike dobijena je oduzimanjem dva sukcesivna frejma:

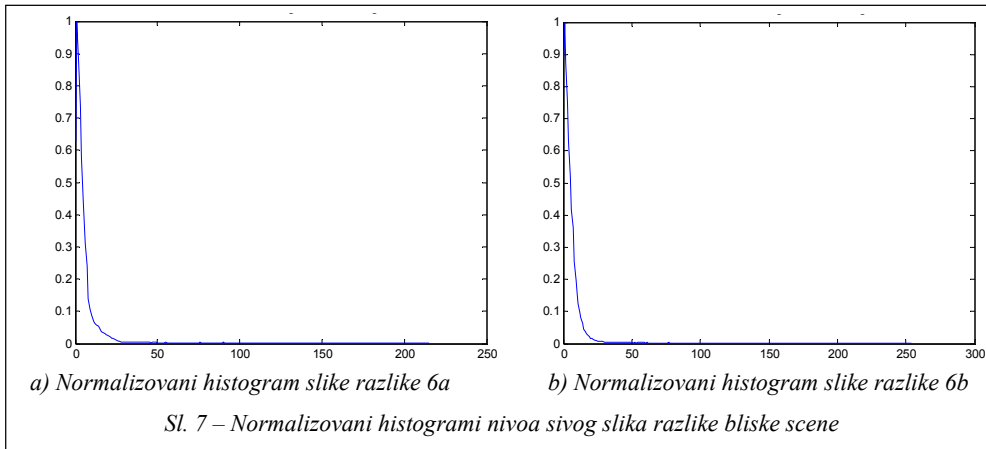
$$R(x, y) = |F_1(x, y) - F_2(x, y)| \quad (6)$$

gde su  $F_1$  i  $F_2$  sukcesivni frejmovi istog senzora, a  $(x, y)$  koordinate na slici. Frejmovi su uzeti sa vremenskim razmakom  $1/6$  s za blisku, a  $1/10$  s za daleku scenu.

Na slici 6 prikazane su termovizijske i televizijske slike razlike bliske scene, formirane prema (1).

Na slici 6 uočavaju se promene nivoa sivog zbog pokreta putničkog automobila i čoveka, dok su ostali delovi scene





sa slika 1a i 1b iščezli. Na termovizijskoj slici 6a nisu oštre ivice objekata kao na televizijskoj slici 6b.

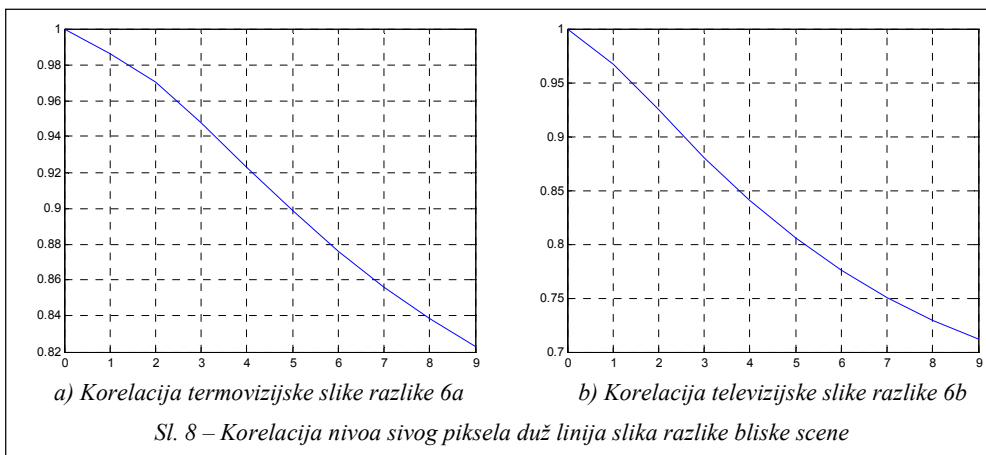
Normalizovani histogrami nivoa sivog slika razlike sa slike 6 prikazani su na slici 7.

Normalizovani histogrami sa slike 7 pokazuju da su nivoi sivog na slikama razlike redukovani i da je srednja vrednost pomena ka nuli, u odnosu na histograme termovizijske i televizijske slike bliske scene (slika 2).

Na slici 8 prikazane su korelacije nivoa sivog piksela za slike razlike sa slike 6.

Sa slike 8 vidi se da je korelisanost piksela veća na termovizijskoj nego na televizijskoj slici razlike za sve pomeraje od 1 do 9 piksela. Međutim, vrednost koeficijenta korelacije na slikama razlike mnogo je manja nego na originalnim slikama (slika 3).

U tabeli 3 date su vrednosti statističkih parametara slika razlike bliske scene, sa slike 6.





*Tabela 3*  
Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika razlike bliske scene

Parametar/slika	Termovizijska slika razlike 6a	Televizijska slika razlike 6b
Opseg nivoa sivog	0–215	0–254
Srednja vrednost	9,7013	9,1408
Standardna devijacija	24,339	23,266
Entropija	4,1988	4,2165

Rezultati iz tabele 3 pokazuju da je standardna devijacija veća od srednje vrednosti nivoa sivog na slikama razlike bliske scene, iako je redukovana u odnosu na standardnu devijaciju datu u tabeli 1. Sa druge strane, ne postoji značajna razlika između vrednosti statističkih parametara termovizijske i televizijske slike razlike. Ova činjenica može se iskoristiti za dalju obradu obe slike razlike.

Kompletna analiza sprovedena je i za slike razlike daleke scene, koje su prikazane na slici 9, a u tabeli 4 date su vrednosti statističkih parametara.

Na slici 9 uočavaju se regioni promena nivoa sivog, ali se iz kontura ne

može zaključiti da li se radi o šumu ili o objektima.

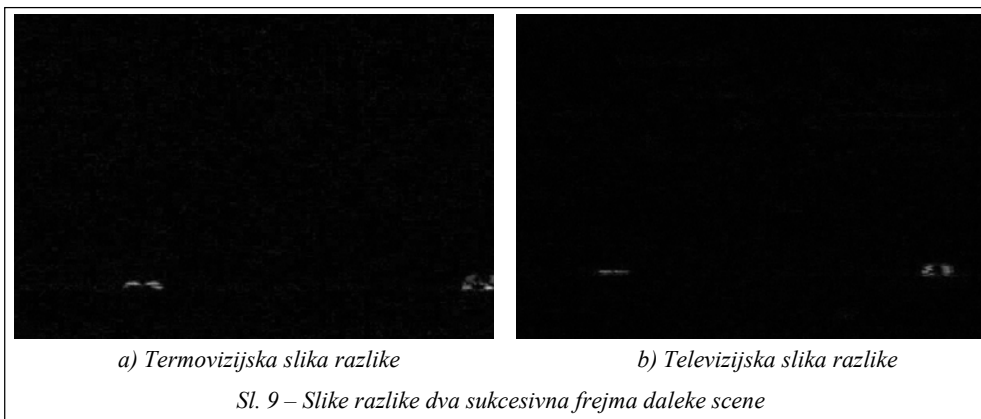
*Tabela 4*  
Opseg nivoa sivog, srednja vrednost, standardna devijacija i entropija nivoa sivog slika razlike daleke scene

Parametar/slika	Termovizijska slika razlike 9a	Televizijska slika razlike 9b
Opseg nivoa sivog	0–201	0–136
Srednja vrednost	3,9544	2,6515
Standardna devijacija	5,1168	3,6419
Entropija	3,4848	2,9433

Iz tabele 4 vidi se da su srednja vrednost, standardna devijacija i entropija na termovizijskoj slici razlike veće nego na televizijskoj slici razlike. U poređenju sa istim parametrima iz tabele 2, vidi se da su vrednosti parametara u tabeli 4 znatno manje.

#### **Prag detekcije pokreta na slikama razlike**

Na slike razlike primenjen je prag detekcije pokreta, koji su predložili autori [7]. Prag detekcije pokreta određen je



za poznatu raspodelu nivoa sivog slike razlike i zadatu verovatnoću da nivo šuma pređe prag (verovatnoća lažnog alarma). Vrednost praga  $T$ , za Gausovu raspodelu nivoa sivog slike razlike, data je relacijom [7]:

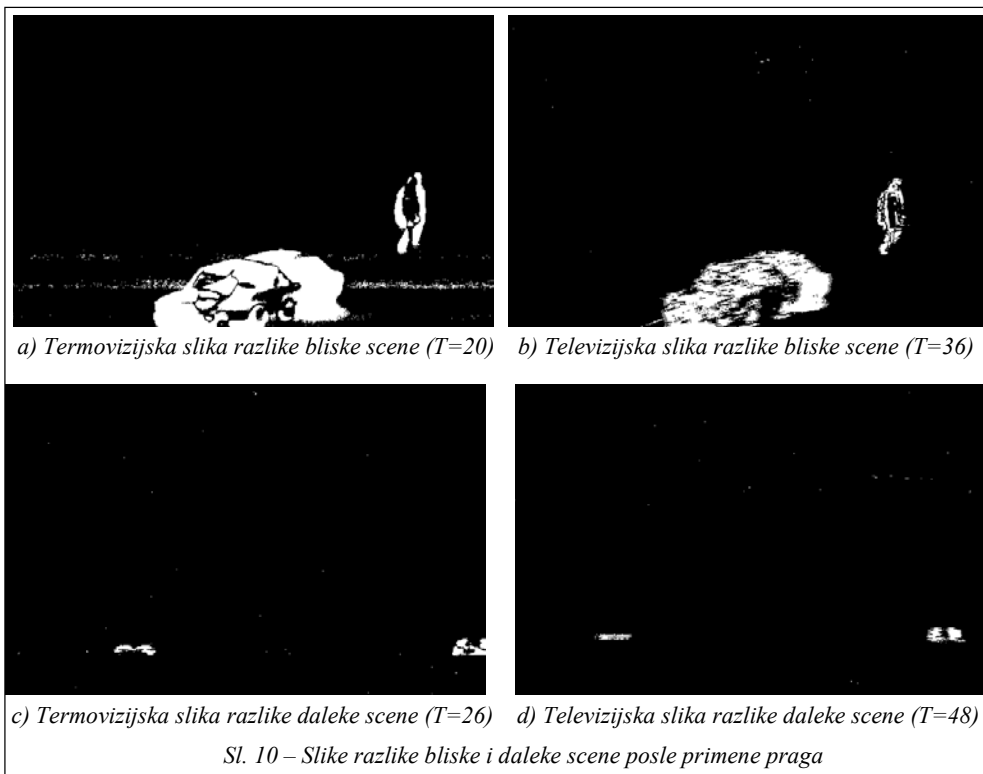
$$T = \sqrt{2}\sigma_0 \operatorname{erf}^{-1}(1 - P_{la}) \quad (7)$$

gde je  $\sigma_0$  – standardna devijacija slike razlike kada ne postoji pokret,  $P_{la}$  – zadata verovatnoća lažnog alarma, a  $\operatorname{erf}^{-1}(x) = \operatorname{erf}^{-1}(x)$ .

Standardna devijacija  $\sigma_0$  procenjuje se tako što se slika razlike podeli na blokove i izračunaju standardne devijacije blokova dimenzija  $n \times m$ . Za  $\sigma_0$  uzima se

srednja vrednost minimalnih standardnih devijacija blokova slike razlike (postupak je dat u [7]). Prag detekcije pokreta (7) određen je za slike razlike bliske i daleke scene (prikazane na slikama 6 i 9). Vrednosti praga za slike razlike bliske i daleke scene dobijene su za  $P_{la} = 10^{-9}$ , dok je standardna devijacija  $\sigma_0$  određena podelom slika razlike na blokove  $8 \times 8$  piksela. Na slici 10 prikazane su slike razlike bliske i daleke scene posle primene pragova.

Na slikama razlike bliske i daleke scene, posle primene praga detekcije pokreta (slika 10), vidljivi su regioni u kojima je detektovana promena nivoa sivog. Na slikama 10a i 10b mogu se videti konture putničkog automobila i čoveka u



pokretu, dok su na slikama daleke scene (slike 10c i 10d) uočljivi regioni promene nivoa sivog, a konture vozila nisu jasne. Poređenjem slika razlike bliske i daleke scene (slike 6 i 9) sa binarnim slikama (slika 10) uočljivi su efekti praga, jasnije su izdvojeni regioni promene i dobijena je digitalna slika sa dva nivoa sivog (binarna slika). Na slici 10a detektovane su linije piksela koje se ne vide na slici razlike 6a, a mogu poticati od toplog traga putničkog automobila u pokretu. Pored toga, na slici 10 uočljivi su i usamljeni pikseli, čija je detekcija posledica šuma na slikama razlike.

### Zaključak

Nivo sivog na slikama bliske scene predstavlja raspodelu radjanse na sceni, pod pretpostavkom da je atmosfera idealna. Osnovna karakteristika slika bliske scene je relativno visoka vrednost standardne devijacije nivoa sivog, ali je veća na televizijskim nego na termovizijskim slikama. Na slikama daleke scene vrednost standardne devijacije je mnogo manja, a veća je na termovizijskim nego na televizijskim slikama, što je posledica veće transmittivnosti atmosfere u opsegu talasnih dužina 8 do 12  $\mu\text{m}$  nego u opsegu 0,4 do 0,7  $\mu\text{m}$ . Na slikama obe scene uočena je visoka entropija, koja ukazuje na potrebu za 7 do 8 bita po pikselu, za

slike daleke i bliske scene, respektivno. Visoka korelisanost piksela na slikama obe scene može se objasniti relativno velikim korelacionim rastojanjem emisivnosti, reflektivnosti i temperature prirodnih scena. Veća korelisanost na slikama daleke scene posledica je slabljenja u atmosferi i konačne prostorne rezolucije kamera.

Analiza slika razlike pokazuje veliku saglasnost parametara termovizijske i televizijske slike razlike za obe scene. Ova činjenica iskorišćena je za obradu slika razlike. Prag detekcije pokreta na televizijskim i termovizijskim slikama razlike određen je istim postupkom. Rezultati primene praga na slike razlike pokazuju da je taj postupak opravdan.

### Literatura:

- [1] Blackman, S.; Popoli, R.: Design and analysis of modern tracking systems, Artech House, Boston-London, 1999.
- [2] Pratt, K. W.: Digital image processing, John Wiley & Sons, New York, 1978.
- [3] Foresti, G. L.: Active Video-Based Surveillance System, IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 22, No. 2, March 2005., pp. 25-37.
- [4] Barbarić, Ž.: Thermal-image generation by line-scanning technique: a new computer model, Applied Optics, Vol. 33, No. 14, 1994., pp. 2883-2890.
- [5] Barbarić, Ž.: Uporedna analiza televizijske i termovizijske slike iste scene, XLV Konferencija za ETRAN, Zbornik radova, Sveska 2, jun 2001., pp. 277-280.
- [6] Barbarić, Ž.; Nikolić, M.: Analiza primljene snage reflektovanog sunčevog zračenja od objekta i pozadine u laserskim sistemima, XLVIII Konferencija za ETRAN, Zbornik radova, Sveska 2, jun 2004., pp. 333-336.
- [7] Bondžulić, B.; Barbarić, Ž.: Određivanje praga detekcije pokreta analizom slike razlike, XLIX Konferencija za ETRAN, Sveska 2, jun 2005.