

Analiza šuma na termalnoj slici scene

Nataša Vlahović, Žarko Barbarić, Ljubiša Tomić, Peđa Tomić

Apstrakt— Termovizijski sistemi imaju široku primenu u velikom broju vojnih i civilnih aplikacija. Primena termovizijskih sistema podrazumeva poznavanje performansi samog sistema koji se koristi, njegovih ograničenja i mogućnosti. Radi tačne predikcije, odnosno estimacije stanja u svim sistemima, modelovanje i analiza šuma koji se javlja, je od primarnog značaja. Zbog toga je predmet ovog rada analiza šuma koji se javlja u termalnoj slici. Postoji više faktora, odnosno uzroka šuma u termalnoj slici i samo razlaganje tog šuma na komponente doprinosi poboljšanju kvaliteta same slike, tako što se neke komponente mogu smanjiti ili potpuno eliminisati. Dakle, osnovna ideja jeste razlaganje šuma koji se javlja na šum koji potiče od samog detektora i na šum koji potiče od fluktuacije zračenja u sceni, što se postiže obradom podataka koji su dobijeni eksperimentalno. Eksperimenti su pokazali da je dominantan šum scene na termovizijskim slikama. Vizuelno je uočljiva razlika na objektu posmatranja slika razlike bez i sa fluktuacijom šuma. Objektivne mera, na primer standardna devijacija nivoa sivog na termovizijskoj slici razlike dva susedna frejma, za posmatrani objekat, je oko 4 puta manja od standardne devijacije slike razlike dva frejma snimljena u vremenskom intervalu 1 sat.

Gljučne reči— obrada slike, termovizija, analiza šuma, Matlab, šum detektora, šum fluktuacije zračenja scene

I. UVOD

Termovizijski, odnosno infracrveni (IC) sistemi predstavljaju sisteme koji snimaju temperaturnu raspodelu posmatrane scene detekcijom zračenja objekata na sceni. Termovizijski sistemi se koriste za veliki broj vojnih i civilnih aplikacija, od primene u sistemima za nadzor, noćno osmatranje, praćenje ciljeva, kao sastavni deo glave za samonavodjenje raketa, pa preko primena u građevinarstvu, medicini, raznim granama industrije, u istraživanju i razvoju, kao i prilikom testiranja sistema, za detekciju gasova itd. Dakle primena infracrvenih (IR) sistema predstavlja vrlo široku oblast koja se u moderno doba vrlo brzo razvija (kako hardver, odnosno same kamere, tako i softveri za obradu snimaka sa kamera) i zbog toga zauzima važno mesto u naučnim istraživanjima [1, 2, 3].

Primena termovizijskih sistema podrazumeva i poznavanje performansi samog sistema koji se koristi, njegovih

Nataša Vlahović – Vojnotehnički institut Beograd, Doktorske studije: Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd (e-mail: natasha.kljajic@yahoo.com).

Žarko Barbarić – Državni univerzitet u Novom Pazaru, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd (e-mail: barbaric@etf.rs).

Ljubiša Tomić – Vojnotehnički institut, Ratka Resanovića 1, 11000 Beograd (e-mail: ljubisa.tomic@gmail.com).

Peđa Tomić – Vojnotehnički institut, Ratka Resanovića 1, 11000 Beograd (e-mail: tomicpedjatomic@gmail.com).

ograničenja i mogućnosti. Radi tačne predikcije, odnosno estimacije stanja u svim sistemima, modelovanje i analiza šuma, koji se javlja u slici, je od primarnog značaja. Termovizijski sistemi se po tome ne razlikuju od ostalih sistema. Zbog toga je predmet ovog rada analiza šuma koji se javlja u termalnoj slici.

Rad je organizovan po celinama, na sledeći način. Prvo je dat teorijski prikaz fizičkog porekla šuma u slici, radi razumevanja uzroka šuma i načina na koji se može otkloniti. Zatim je dat opis eksperimenta čiji je cilj prikupljanje podataka sa termovizijske kamere, za kasniju obradu. Nakon toga su prikazani rezultati obrade podataka i metode analize šuma u slici. Kao metoda za detekciju šuma u slici se koristi slika razlike dva frejma, koja je vrlo često korišćena metoda [4, 5, 6]. Osim ove metode, aktuelni su i algoritmi procene nivoa šuma na osnovu jedne slike [7].

II. ŠUM U TERMOVIZIJSKOJ SLICI

Najveći faktor koji utiče na kvalitet IC slike jeste šum. Vrlo je česta pojava da je odnos signal-šum kod IC slika, kao i kontrast vrlo nizak. Šum u termovizijskoj slici i nije uvek tako očigledan, a može nastati od mnogobrojnih uzroka, u zavisnosti od tehnologije detektora, kao i od same prirode scene. Imajući u vidu broj mogućih uzroka šuma u slici, vrlo je teško dati odgovor na pitanje koja je vrsta šuma dominantna u određenoj slici. Zbog toga se uvek analizira konkretan slučaj za razvijanu aplikaciju. Na osnovu toga se i formiraju algoritmi za otklanjanje šuma u skladu sa aplikacijom za koju je to potrebno [8].

Optimalna osetljivost IC sistema se obezbeđuje kada je sistem „ograničen pozadinskim šumom“, odnosno kada je dominantan izvor šuma povezan sa slučajnim dolaskom fotona na detektor. U odsustvu drugih vrsta šuma, fluktuacija napona ili struje ima spektar belog šuma [9].

Izraz „3-D šum“ se koristi za opisivanje prostorno-vremenskog šuma, odnosno ukupnog šuma u slici koji zavisi i od prostora i od vremena. Objektivna mera termičke osetljivosti sistema jeste „Noise Equivalent Temperature Difference – NETD“, koja predstavlja temperaturnu razliku ekvivalentnu šumu. Mana ove mere jeste da je ograničavajuća u smislu da prikazuje samo vremenski promenljiv šum.

Još jedna mera performansi sistema jeste „Minimum Resolvable Temperature Difference - MRTD“, odnosno minimalno razloživa temperaturna razlika. Ona predstavlja subjektivnu meru koja zavisi od posmatrača, a predstavlja minimalnu temperaturnu razliku mete i njene okoline, koja metu čini razloživom na izlazu mernog sistema [2].

Izvori šuma kod termovizijskih sistema su mnogobrojni. Šum koji se javlja potiče od nesavršenosti samih detektora,

elektronike, kao i od uslova scene zbog kojih dolazi do fluktuacija u zračenju. Sada ćemo nabrojati različite vrste šuma u termalnoj slici.

Prostorno – vremenski šum: Šum fotona (šum koji se javlja zbog slučajnog dolaska fotona na detektor), Džonsonov šum (temperaturni šum otpornika, koji je dominantan kod visokih frekvencija), Šum pojačavača (javlja se usled postojanja nekoliko vrsta pojačavača signala), Šum digitalizacije (šum koji se javlja zbog konverzije u digitalne vrednosti).

Vremenski šum predstavlja šum koji varira od frejma do frejma, a to su: vremenski šum vrste (rezultat $1/f$ šuma, posebno kod skanirajućih sistema), vremenski šum kolone (obično je rezultat loše obrade signala).

Prostorni šum predstavlja šum koji nema vremensku zavisnost i naziva se „Fixed pattern noise“, odnosno šum fiksnih oblika: slučajni prostorni šum (beli šum koji se javlja kod matricnih skenera), korelisani šum vrste (šum zbog neadekvatne normalizacije), greška normalizacije nivoa (javlja se samo na jednoj referentnoj temperaturi), šum $1/f$ (šum niskih učestanosti), šum korelisani na kolone (zbog varijacija nivoa multipleksera različitih elemenata detekcije) [9].

Kompleksnost svih komponenti koje doprinose ukupnom šumu je jako velika. Ono što jeste pravilan korak za razvoj bilo koje aplikacije jeste analiza uticaja šuma na konkretan problem. Takođe, možemo primetiti da je prisutan šum zbog nesavršenosti detektora i korišćene ugrađene elektronike, ali i zbog fluktuacije zračenja scene tokom vremena.

III. OPIS EKSPERIMENTA

Zadatak predstavlja analizu šuma na termalnoj slici. Za analizu su potrebne slike sa termovizijske kamere, koje će potom biti obrađene u programskom paketu Matlab. Pre samog opisa eksperimenta dati su osnovni parametri korišćene opreme za snimanje, odnosno termovizijske kamere.

A. Korišćena oprema

Scena je snimana kamerom “FLIR SC 7200”, koja se deklarise kao kamera koja se koristi u istraživanju i razvoju. Na Slici 1 je prikazana korišćena kamera, dok su Tabeli 1 dati osnovni parametri kamere [10].



Sl. 1. FLIR SC 7200 kamera

TABELA I
OSNOVNI PARAMETRI KAMERE

Parametar	Vrednost
Tip detektora	FPA
IC rezolucija	320 x 256
Operativni temp. opseg	-20°C /+50 °C
Spektralni opseg	1.5 – 5.5 μm
Temp. osetljivost “NETD”	<25 mK (20 mK)
Tačnost merenja temp.	± 1 °C ($\pm 1\%$)

B. Opis eksperimenta

Eksperiment predstavlja snimanje određenog objekta termovizijskom kamerom, radi dalje obrade i analize snimljenih frejmova. Eksperiment predstavlja snimanje šolje na udaljenosti od 1m u odnosu na kameru. Šolja je braon boje i na prvom snimku je prazna. Ovu šolju snimamo u trenutku t i trenutku $t+1$. Zatim u istu šolju sipamo toplu vodu i snimamo. Nakon toga sledi obrada podataka. Snimak od 1 s ima 25 frejmova, tj. posebnih slika, što znači da je vremenski interval između frejmova 40 ms.

IV. OBRADA PODATAKA I REZULTATI

Svi dobijeni podaci, odnosno slike se obrađuju u programskom paketu Matlab. Pre nego što pristupimo zadatku koji predstavlja analizu šuma u slici, potrebno je prilagoditi podatke za obradu u programskom paketu Matlab.

A. Obrada podataka

Nakon snimanja potrebnih sekvenci sledi obrada podataka radi analize šuma koji se javlja u slici. Za početak, video sekvence pretvaramo u pojedinačne frejmove, koje možemo dalje obrađivati kao slike. Slike su sačuvane u formatu „jpg“, koji je format sa tri dimenzije. Kako bi bila moguća obrada u paketu Matlab, sliku pretvaramo u dvodimenzionalnu sliku sa nivoima sivog [11]. Osim toga, format u kojem Matlab predstavlja sliku je „uint8“, dok je nama za obradu podataka pogodniji tip „double“. Opseg u kojem se kreću vrednosti za svaki piksel, odnosno opseg nivoa sivog u slici je [0,255] za tip „uint8“, dok je u slučaju tipa „double“ taj opseg normalizovan na opseg [0,1]., radi lakše manipulacije podacima u okviru „Image Processing toolbox“ funkcija u Matlab-u.

B. Rezultati

Za detekciju šuma koji se javlja u slici, obrađujemo sliku razlike koja se dobija oduzimanjem slika jedne iste scene u različitim vremenskim trenucima. Obrada slika razlike je vrlo korišćena metoda pogotovo kod statističkih analiza termovizijske, kao i televizijske slike [4] kao i za detekciju

pokreta, odnosno promena na slici scene [5,6].

Radi detaljne analize šuma koji se javlja u termalnoj slici, i razlaganja tog šuma na šum koji se javlja usled fluktuacije scene i šum koji potiče od samog detektora, urađen je prethodno opisani eksperiment. Prvo je analizirana slika razlike tokom vremenskog intervala od jednog časa. Prikazaćemo sliku kada u šolji nema tečnosti, prikazanu na slici 2.



Sl. 2. Eksperiment, slika u trenutku $t+1$ sat

Sada prikazujemo sliku razlike frejma u trenutku t i identične scene u trenutku nakon 1 sata, koja je prikazana na slici 3. koja je prikazana kao binarna slika, radi bolje vizualne ilustracije promenjenih piksela usled fluktuacije zračenja na sceni. Vidno je da izražena fluktuacija zračenja na sceni, što predstavlja šum fluktuacije scene.



Sl. 3. Eksperiment, slika razlike u trenutku t i trenutku nakon 1 časa

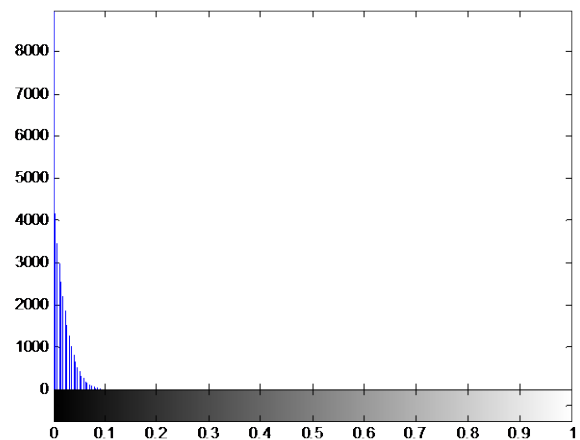
Parametri slike razlike za oblast posmatranog objekta su prikazani u tabeli 2.

TABELA 2
EKSPERIMENT, PARAMETRI ZA SLIKU RAZLIKE SCENE U TRENUTKU t I
NAKON 1SATA ZA OBLASTI POSMATRANOG OBJEKTA

Parametar	Vrednost [0,1]
Srednja vrednost	0.0067
Varijansa	0.0012
Standardna devijacija	0.0340

Kada konvertujemo u opseg nivoa sivog [0-255] srednja vrednost je 1.7085 (što je 0.67% maksimalne vrednosti), varijansa 78.03, a standardna devijacija je 8,67.

Takođe, prikazan je i histogram slike razlike na slici 4, gde se jasno može primetiti opseg šuma u slici koji se javlja zbog velike vremenske razlike između frejmova.



Sl. 4. Eksperiment 1, histogram slike razlike frejmova u vremenskom intervalu od 1sata

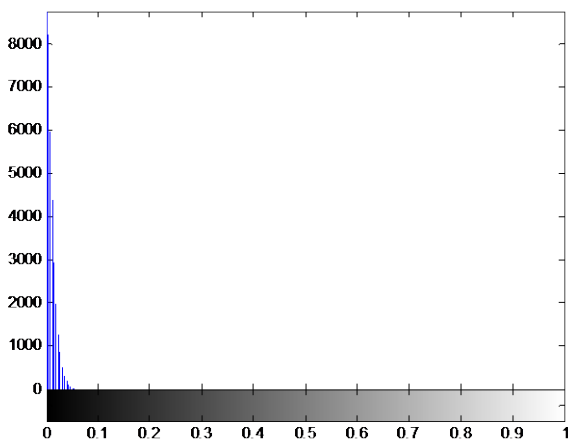
Nakon toga, obrađujemo sliku razlike frejmova kada je vrela voda u šolji. Kako raste temperatura posmatranog objekta, tako se poboljšava kontrast na termovizijskoj slici. Zbog toga posmatramo sliku razlike snimka sa usutom vrelom vodom. Prikazaćemo sliku razlike sukcesivnih frejmova, između kojih je vremenska razlika 40 ms. Smatramo da u ovom vremenskom intervalu nema promene u vidu fluktuacije zračenja u sceni, a takođe, kako je promena temperature sporo promenljiv proces, smatramo da u tom intervalu nema ni promene temperature. Slika jednog frejma snimka sa šoljom sa toplom vodom je data na slici 5, dok je slika razlike, prikazana kao binarna slika, data na slici 6. Parametri slike razlike za oblast posmatranog objekta su prikazani u tabeli 3. Takođe je prikazan i histogram, na slici 7.



Sl. 5. Eksperiment, slika šolje sa usutom vrelom vodom



Sl. 6. Eksperiment, slika razlike sukcesivnih frejmova snimka šolje sa vrelom vodom



Sl. 7. Eksperiment, histogram slike razlike sukcesivnih frejmova snimka šolje sa vrelom vodom

TABELA 3
EKSPERIMENT, PARAMETRI ZA SLIKU RAZLIKE SUKCESIVNIH FREJMOVA ŠOLJE SA VRELOM VODOM ZA OBLASTI POSMATRANOG OBJEKTA

Parametar	Vrednost [0,1]
Srednja vrednost	$5.0567 \cdot 10^{-4}$
Varijansa	$7.7939 \cdot 10^{-5}$
Standardna devijacija	0.0088

Kada konvertujemo u opseg nivoa sivog [0-255] srednja vrednost je 0.1289 (što je 0.05% od maksimalne vrednosti), varijansa 50.68, a standardna devijacija je 2.244..

Na osnovu izloženih rezultata možemo zaključiti da šum fluktuacije zračenja scene možemo primetiti kod slike razlike gde je vremenska razlika između dva frejma veća od 1 minuta (što se uzima kao vrednost u okviru koje se ne menja zračenje na sceni [2]), dok se šum detektora može primetiti na slici razlike između sukcesivnih frejmova, gde uzimamo da nije došlo do promene temperature, niti zračenja za vremenski interval koji je u našem slučaju 40 ms.

Takođe, prikazan je i histogram slike razlike na slici 7, gde se jasno može primetiti opseg šuma u slici koji se javlja zbog šuma detektora.

V. ZAKLJUČAK

U savremeno doba je sve značajnija i šira primena termovizijskih senzora u mnogobrojnim oblastima. Od upotrebe u vojsci za noćno osmatranje, praćenje ciljeva, samonavođenje itd. primena se proširila i na razne civilne aplikacije. Široka rasprostranjenost dovodi do ubrzanog razvoja u ovoj oblasti. Međutim, početak svakog razvoja realne aplikacije za praktičnu primenu počinje analizom šuma koji se javlja u signalu i po tome termovizijski sistemi nisu izuzetak. Zbog toga su analiza, a kasnije i modelovanje, kao i tehnike za otklanjanje šuma u slici veoma važne oblasti za izučavanje pre samog projektovanja sofisticiranog sistema koji poseduje IC senzore. Tema ovog rada je analiza šuma na termalnoj slici scene. Cilj jeste da se komponente šuma u slici razlože, radi lakše kasnije redukcije šuma tokom razvoja konkretnih aplikacija.

U radu je opisan eksperiment čiji je cilj bio prikupljanje podataka radi kasnije analize šuma u slici. Na osnovu obrade podataka iz eksperimenta može se zaključiti da je šum detektora moguće izdvojiti na slici razlike sukcesivnih frejmova u jednom snimku, ukoliko je, naravno vremenska razlika između frejmova dovoljno mala da se može pretpostaviti da nema promena ni temperature objekta ni zračenja na sceni. Sa druge strane, ukoliko posmatramo identičnu scenu u vremenskom razmaku od jednog sata možemo primetiti šum koji se javlja usled fluktuacije zračenja na samoj sceni. Potrebno je naglasiti da su rezultati dobijeni na osnovu snimaka koji su napravljeni u uslovima gde se uticaj okoline ne menja dakle nije bilo faktora koji bi mogli uticati na kvalitet slike i uvesti dodatni šum, što bi u realnim aplikacijama najčešće bio slučaj.

Jednostavna analiza šuma u termalnoj slici, koja je opisana u ovom radu, je polazna osnova svake aplikacije koja uključuje savremene IC sisteme. Dakle, prilikom dizajna bilo kojeg realnog sistema je vrlo značajno istražiti i identifikovati komponente šuma. Ovaj rad predstavlja polaznu osnovu za buduće modelovanje šuma u termovizijskim sistemima za potrebe konkretnih aplikacija, kao i razvoj algoritama za redukciju šuma, radi dobijanja kvalitetnije termalne slike.

ZAHVALNICA

Istraživanje je podržano od strane Vojnotehničkog instituta u Beogradu.

Autori se zahvaljuju Vojnotehničkom institutu na finansijskoj podršci za objavljivanje ovog rada, a posebno Laboratoriji za optoelektroniku na pomoći pri snimanju eksperimentalnih rezultata.

LITERATURA

- [1] R. G. Driggers, P. Cox, T. Edwards, "Introduction to Infrared and Electro-Optical Systems", Artech House, 1999.
- [2] Ž. P. Barbarić, "TERMOVIZIJA, Formiranje i primena termovizijske slike", Akademska Misao, 2014.
- [3] M. Vollmer, K. P. Mollmann, "Infrared Thermal Imaging", WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, 2010 .
- [4] Ž. Barbarić, B. Bondžulić, „Statistička analiza termovizijske i televizijske slike i prag detekcije pokreta na sceni“, VTG 2/2006.
- [5] B. Bondžulić, Analiza rezultata detekcije pokreta na slici, VTG 1/2007.
- [6] B. Bondžulić, Ž. Barbarić, „Jedan pristup detekciji pokreta na slici scene“, VTG 1/2006
- [7] C. Liu, W. Freeman, R. Szeliski, S. B. Kang, "Noise Estimation from a Single Image", IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2006.
- [8] S. Budzan, R. Wzzgolik, "Remarks on Noise Removal in Infared Images", Measurement Automation Monitoring, 2015.
- [9] H. V. Kennedy, "Modeling Noise in Thermal Imaging Systems", SPIE, Vol. 1969, <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/> on 10/27/2015.
- [10] FLIR SC7200 data sheet, 2015.
- [11] Matlab help: www.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2gray.html

ABSTRACT

Thermal systems are used in a significant number of military and civil applications. In order to use thermal systems properly, it is necessary to explore the performance of the system, as well as its limits and possibilities. Correct prediction or state estimation in all kinds of systems begins with noise analysis and modelling. That is why the subject of this paper is noise analysis in thermal image. There are several noise sources in thermal image, and separating them from each other can contribute to image quality improvement, by reducing or eliminating some components. The basic idea is to separate different noise components, detector noise and noise that is consequence of radiation fluctuation in observed scene, which is accomplished by processing experimentally obtained data. The experiments revealed that the dominant noise is radiation fluctuation noise in the observed scene. It is visually easy to see the difference between image with and without noise fluctuation. Objective measure, such as standard deviation of the image grey level for an image that represents the image difference of the two consecutive frames, for the observed object, is of a value around 4 times less than a value of the standard deviation for the image difference of two frames with 1 hour time interval.

Thermal Image Noise Analysis

Nataša Vlahović, Žarko Barbarić, Ljubiša Tomić, Peđa Tomić