

SJEDINJAVANJE KOLOR I MONOHROMATSKIH SLIKA UZ ISTICANJE IVICA

Rade M. Pavlović^a, Vladimir S. Petrović^b

^a Ministarstvo odbrane Republike Srbije, Vojni arhiv, Beograd,

^b University of Manchester, Manchester, United Kingdom

DOI: 10.5937/vojtehg62-2484

OBLAST: digitalna obrada slike

VRSTA ČLANKA: originalni naučni članak

Sažetak:

U ovom radu predložena je nova metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika. Prvo se kolor slika transformiše u laβ kolor sistem, a zatim se vrši sjedinjavanje monohromatske slike sa jednim od kanala kolor slike dobijenom laβ kolor transformacijom. Inverznom transformacijom u RGB kolor sistem dobija se sjedinjena kolor i monohromatska slika. Sjedinjavanjem novom metodom zadržava se prirodnost i visoka rezolucija kolor slike, dok su informacije iz monohromatske slike jasne i vidljive. Isticanje objekata iz monohromatske slike vrši se tako što se pre sjedinjavanja vrednostima piksela monohromatske slike dodaju vrednosti jačine ivica.

Ključne reči: obrada slike, sjedinjavanje, kodiranje, boja.

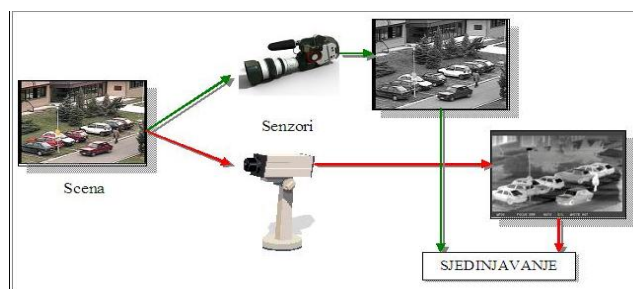
Uvod

Multisenzorski sistemi koriste više različitih senzora koji nadgledaju istu situaciju ili prostor. Na ovaj način daju potpunije i pouzdanije informacije od sistema koji koriste samo jedan ili više senzora istog tipa. Sa druge strane, iako se u sistem unose potpunije informacije o željenom cilju, to ne znači da se one mogu koristiti bez prethodne obrade specifične za svaki senzor i bez koordinacije sa informacijama dobijenim iz drugih izvora. Ovaj problem rešava multisenzorsko sjedinjavanje (fuzija) informacija (Petrović, Zrnić, 2001).

Osnovna ideja osmatranja spregom više senzora jeste eliminacija efekata njihovih pojedinih nedostataka, što obezbeđuje uspešno funkcionisanje sistema u svim uslovima. Primenom više senzora zasnovanih na merenju različitih fenomena, kao na primer toplotnog zračenja (infracrveni (IC) senzori) i refleksije svetlosti (kamere u vidnom opsegu), dobija se više realnih informacija o objektima koje posmatramo.

Sjedinjavanje slika dobijenih sa više senzora prevazilazi ograničenja pojedinačnih senzora, kombinujući izvorne slike u kompozitnu sliku. Na

slici 1 prikazan je sistem za multisenzorsko sjedinjavanje slika. Televizijskoj kameri pridodata je termovizijska kamera i slike sa oba senzora se kombinuju u jednu sliku. Ovakav pristup prevazilazi probleme o kojima je govoreno ranije. Dok je televizijska kamera pogodna za rad u dnevnim uslovima, termovizijska kamera se koristi u uslovima slabe osvetljenosti scene.



Slika 1 – Multisenzorsko sjedinjavanje slika
Figure 1 – Multisensor image fusion scheme

Metode za sjedinjavanje

Krajem prošlog veka razvijen je veliki broj metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika, od kojih su najzastupljenije multirezolucione i multiveličinske (Burt, Adelson, 1983), (Petrović, Xydeas, 1999), (Petrović, Xydeas, 2004), (Toet, 1989). Multirezoluciona analiza transformiše signal slike u piramidalnu predstavu sastavljenu od podopsežnih signala opadajuće rezolucije od kojih svaki predstavlja jedan deo originalnog spektra. Veće strukture su u podopsezima nižih, a finiji detalji u podopsezima viših nivoa rezolucije. Sjedinjavanje slika multirezolucionim piramidama daje veću fleksibilnost prilikom izbora informacija za sjedinjenu sliku i negativne efekte loših izbornih odluka pri sjedinjavanju ograničava na samo određene delove spektra. Gausova piramida (Burt, Adelson, 1983) jeste prva multirezoluciona tehnika primenjena u sjedinjavanju slika. U Gausovoj piramidi informacije iz originalne slike izražene su kroz niz sve grubljih niskopropusnih (NP) aproksimacija originalne slike. Ove aproksimacije dobijaju se iterativnom NP filtracijom gausovskim prozorom, praćenim decimacijom sa faktorom 2.

Multiveličinske tehnike sjedinjavanja slika srodne su multirezolucionim. Multiveličinske predstave slika predstavljaju nizove slika podjednake veličine, od kojih svaka sadrži samo deo originalnog spektra (Petrović, Xydeas, 1999). Praktično, u multiveličinskoj analizi nema decimacije signala koja je kritična u procesu multirezolucione analize. Redosled operacija nad slikama je isti za obe tehnike: analiza–sjedinjavanje–sinteza.

Međutim, ako uzmemo u obzir činjenicu da ljudsko oko može da razlikuje najviše 100 nivoa sivog, rezultati dobijeni sjedinjavanjem monohromatskih slika mogu da budu veoma teški za interpretaciju, a samim tim može doći i do smanjenja efekta sjedinjavanja. Pošto ljudi mogu da razlikuju nekoliko hiljada boja definisanih kao promena intenziteta, zasićenja i osvetljenosti, došlo je do razvoja algoritama za kolor mapiranje i razlikuju se dve grupe metoda (Toet, 2003b). Prvu grupu čine metode zvane „false color“ koje preslikavaju karakteristike prirodne kolor slike koja se naziva referentna u kolor sliku dobijenu iz monohromatskih (Hogervorst, Toet, 2007), (Hogervorst, Toet, 2010), (Shiming, et al., 2007), (Toet, 2003a), (Toet, 2003b), (Toet, Hogervorst, 2009), (Yhang, et al., 2009). Rezultat sjedinjavanja i bojenja zavisi od izbora kolor referentne slike i metode za mapiranje ulaznih monohromatskih slika u kolor sliku. Od referentne slike zavisi raspored boja na sjedinjenoj slici i potrebno je izabrati sliku koja je najpribližnija posmatranoj situaciji. Pored toga, algoritmi su vremenski zavisi i dovode u pitanje realizaciju u realnom vremenu.

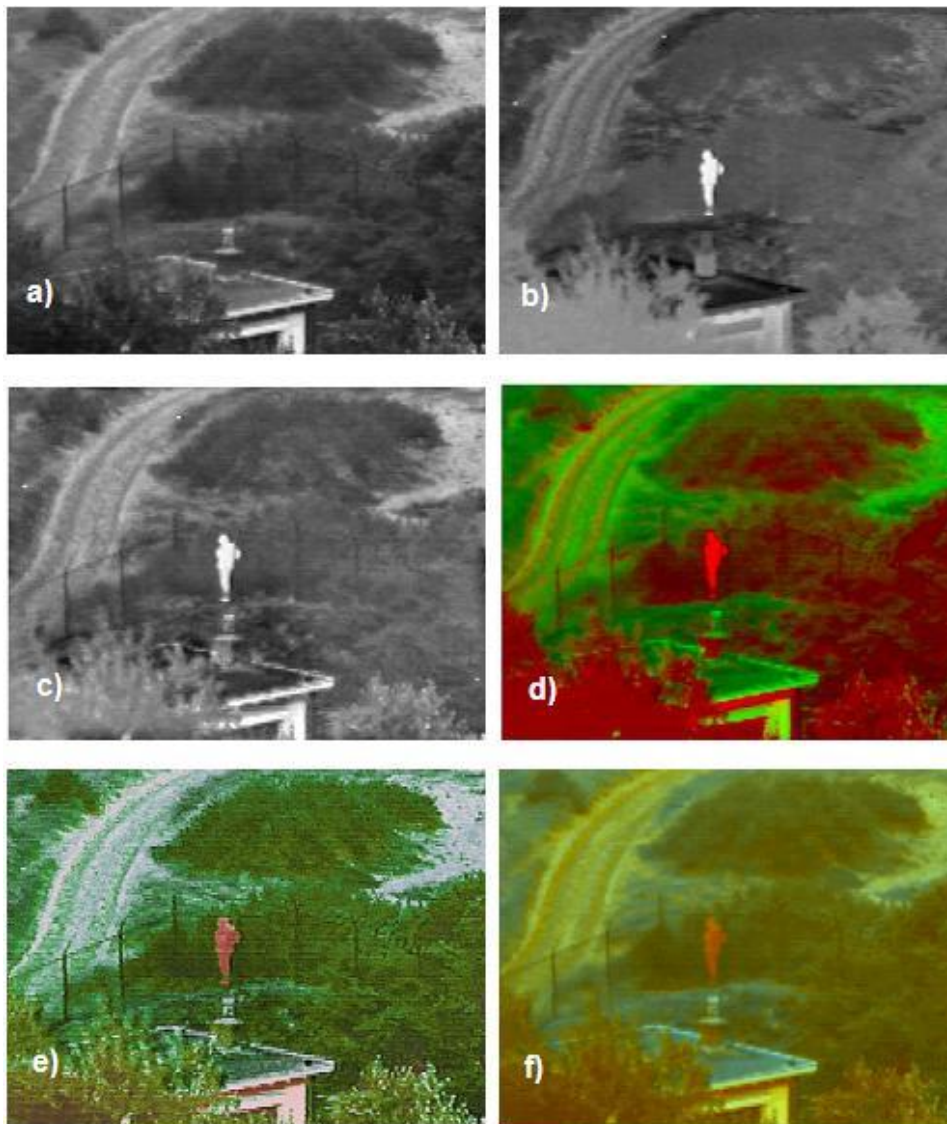
Pored „false color“ metoda postoji i druga grupa metoda za kolor mapiranje koje se zovu „pseudo color“ metode (Aguilar, et al., 1998), (Guangxin, Shuyan, 2009), (Jang, Ra, 2008), (McDaniel, et al.), (Toet, Walraven, 1996), (Waxman, et al., 1998a), (Waxman, et al., 1998b). Ove metode ne zahtevaju referentnu sliku, već se kolor informacije dobijaju iz ulaznih monohromatskih slika. Dobijena kolor slika ne može predstavljati prirodne boje, ali su algoritmi znatno računarski jednostavniji i pogodni za rad u realnom vremenu.

„Pseudo-color“ algoritam koji su predstavili Toet i Walraven (1996) jedan je od najpoznatijih algoritama za kolor mapiranje. U algoritmu se najpre određuju zajedničke komponente za dve ulazne slike, koje se zatim oduzimaju od ulaznih slika, čime se dobijaju jedinstvene komponente za svaku ulaznu sliku. Jedinstvene komponente jedne slike se u sledećem koraku oduzimaju od druge slike za svaku sliku i te vrednosti ubacuju u R i G kanale RGB kolor sistema. B kanal postavlja se na nulu ili se može dobiti i kao razlika jedinstvenih komponenti. U slučaju televizijske i termovizijske slike algoritam se može opisati kao:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IC - TV^* \\ TV - IC^* \\ |TV^* - IC^*| \end{bmatrix} \quad (1)$$

gde je $TV^* = TV - \text{comm}$, $IC^* = IC - \text{comm}$ i $\text{comm} = \min\{TV, IC\}$.

Još jedan poznat „pseudo-color“ algoritam predstavili su Waxman, et al. (Waxman, 1998a) i (Waxman, 1998b), koji koristi neuronske mreže i pozitivnu i negativnu IC sliku. Obe metode imaju već navedene osobine za „pseudo-color“ algoritme i bitnu osobinu da su im luminansne komponente zavisne od boja na slici. Rezultati kolor mapiranja prikazani su na slici 2.



Slika 2 – a) i b) TV i termovizijska slika iz UNCAMP sekvence, c) monohromatska slika sjedinjena Laplasovom piramidom, d) kolor mapiranje, e) i f) kolor mapiranje uz neuronske mreže

Figure 2 – a) and b) Visible and thermal range images from the UNCAMP sequence, c) image fused using Laplacian monochrome fusion, d) colour mapping, e) and f) colour mapping with neuron networks

Problemi neprirodnosti boja sjedinjenih slika rešavaju se sjedinjavanjem kolor i monohromatskih slika. Na slici 3 prikazane su kolor slika (TV slika) i monohromatska slika (IC slika) iste scene (<http://www.imagefusion.org>, 2012). Na IC slici jasno se uočava čovek i dimna bomba koja je aktivirana, ali je slika lošije rezolucije i ne vide se jasno ostali detalji scene. TV slika jasno prikazuje scenu, ali se ne vide objekti iza dimne zavese. Cilj je da se sjedinjavanjem ove dve slike prenesu objekti vidljivi u IC slici, a da se zadrži visoka rezolucija i prirodnost TV slike.



Slika 3 – Slike a) TV i b) termovizijske kamere OCTEC sekvence
 Figure 3 – Example of a multisensor OCTEC sequence a) visible and b) thermal range

Metode za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika zasnovane su na transformaciji kolor slike iz RGB kolor sistema u neki drugi kolor sistem (HSV, LAB, $l\alpha\beta$, ...) i zatim sjedinjavanju monohromatske slike sa jednim od kanala kolor slike (Toet, 2003c), (Zhiyun, Rick, 2003), (Huang, et al., 2008). Metoda za sjedinjavanje jednog od kolor kanala sa monohromatskom slikom jedna je od standardnih metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika (Burt, Adelson, 1983), (Petrović, Xydeas, 1999), (Petrović, Xydeas, 2004), (Toet, 1989). Uspešnost sjedinjavanja zavisi od izbora kolor sistema za sjedinjavanje i metode monohromatskog sjedinjavanja. Veći broj metoda koristi sjedinjavanje monohromatske slike sa kanalom koji predstavlja intenzitet piksela na kolor slici (Toet, 2003c), (Huang, et al., 2008). Mana ovih metoda može da bude gubitak kontrasta na sjedinjenoj slici i narušavanje prirodnog izgleda kolor slike.

Transformacijom u HSV kolor sistem i sjedinjavanjem IC slike sa V kanalom TV slike Laplasovom piramidom (Burt, Adelson, 1983), zatim inverznom transformacijom u RGB kolor sistem dobija se slika prikazana na slici 4 (Huang, et al., 2008). U sjedinjenu sliku preneseni su detalji iz obe ulazne slike, ali čovek koji se nalazi iza dimne zavese slabije je uočljiv jer je dimna zavesa bele boje, a topliji objekti iz IC slike su takođe predstavljeni belom bojom. Takođe, došlo je i do malog gubitka prirodnosti boja kolor slike.



Slika 4 – Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike prikazan na slici 1, HSV kolor transformacijom i Laplasovom piramidom
Figure 4 – Colour fusion of the inputs in Figure 1 using the HSV space and the Laplacian pyramid fusion

Jedan deo metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika našao je primenu u detekciji skrivenog oružja (DSO) (Toet, 2003c), (Zhiyun, Rick, 2003). Metoda koja je opisana u (Toet, 2003c) zasnovana je na $\alpha\beta$ kolor transformaciji. Kolor slika se transformiše u $\alpha\beta$ kolor sistem i zatim se vrši sjedinjavanje I -komponente sa monohromatskom slikom. Sjedinjen rezultat vraća se u RGB kolor sistem i dobija se sjedinjena kolor slika. Sjedinjena slika ulaznih slika prikazanih na slici 3 vidi se na slici 5. Objekti iz monohromatske slike vidljivi su u sjedinjenoj slici, ali je prirodnost boja sjedinjene slike u većoj meri izgubljena. Kao i kod prethodne metode, topliji objekti u ovom slučaju predstavljeni su belom bojom i zavise od ostalih parametara slike.



Slika 5 – Slika sjedinjena metodom za detekciju skrivenog oružja (DSO)
Figure 5 – Fused image with the method for Concealed Weapon Detection

Sjedinjavanje uz zadržavanje prirodnosti boja

Poboljšanje kontrasta prenetih objekata iz monohromatske slike može se postići sjedinjavanjem monohromatske slike sa kanalom kolor slike koji predstavlja crvenu boju. Odnosno, topliji detalji IC slike biće predstavljeni crvenijom bojom na sjedinjenoj kolor slici, a samim tim biće uočljiviji, uz zadatak da se zadrži prirodnost boja kolor slike. RGB kolor sistem ne predstavlja dobro rešenje za sjedinjavanje jer su kanali međusobno zavisni i sjedinjavanje slika u jednom kanalu i promena u njemu prouzrokovalo bi promenu na celoj slici. Na taj način narušila bi se prirodnost boja kolor slike.

Rešenje problema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike može se naći u $l\alpha\beta$ kolor sistemu. Kanali $l\alpha\beta$ kolor sistema međusobno su slabo povezani i moguće je vršiti operacije u jednom kanalu koje će prouzrokovati male promene na ostalim kanalima (Reinhard, et al., 2001). Za sjedinjavanje sa monohromatskom slikom izabran je β kanal, jer on predstavlja crvenu-zelenu boju slike. Sjedinjavanje se vrši modifikovanim Laplasovom piramidom uz eliminaciju nepotrebnih informacija iz monohromatske slike. U sledeća dva dela biće objašnjen način transformacije u $l\alpha\beta$ kolor sistem iz RGB kolor sistema i obrnuto, kao i dobijanje Laplasove piramide iz monohromatske slike.

$l\alpha\beta$ kolor sistem

Ruderman et al. (1998) predstavili su kolor sistem nazvan $l\alpha\beta$ koji minimizira korelaciju između kanala. Slaba korelacija između kanala $l\alpha\beta$ kolor sistema dozvoljava primenu različitih operacija na različitim kolor kanalima (Reinhard, et al., 2001). $l\alpha\beta$ kolor sistem predstavlja transformaciju LMS kolor sistema. LMS kolor sistem dobija se iz XYZ sistema, te je prvo potrebno izvršiti transformaciju RGB kolor sistema u XYZ sistem:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5141 & 0,3239 & -0,1604 \\ 0,2651 & 0,6703 & 0,0641 \\ 0,0241 & 0,1228 & 0,8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (2)$$

LMS kolor sistem dobija se sledećom transformacijom:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3897 & 0,6890 & -0,0787 \\ -0,2298 & 1,1834 & 0,0464 \\ 0,0600 & 0,0000 & 1,0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (3)$$

Kombinacijom ove dve matrice dobija se transformacija između RGB i LMS kolor sistema:

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3811 & 0,5783 & 0,0402 \\ 0,1967 & 0,7244 & 0,0782 \\ 0,0241 & 0,1288 & 0,8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4)$$

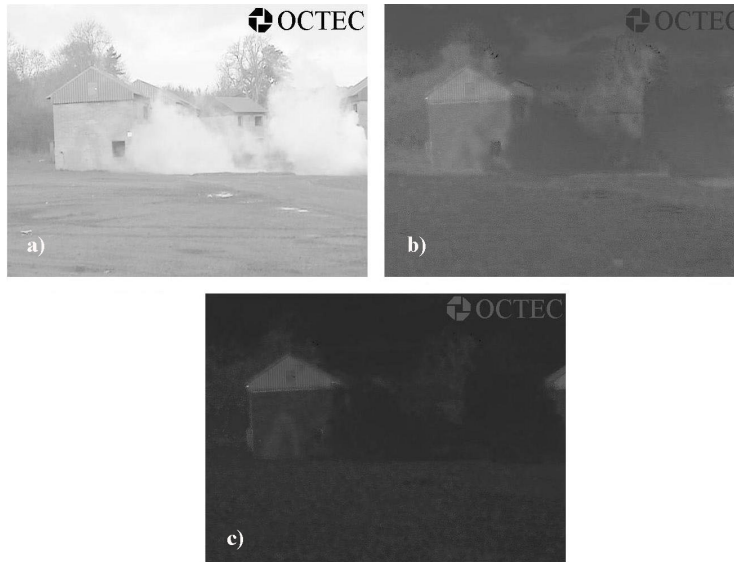
Vrednosti dobijene ovim kolor sistemom su sa naglim neravninama, te je potrebno izvršiti ravnanje uz pomoć logaritamskih funkcija:

$$[\mathbf{L}, \mathbf{M}, \mathbf{S}] = [\log L, \log M, \log S] \quad (5)$$

Iako su vrednosti dobijene logaritmovanjem mnogo ravnije, korelacija između kanala je i dalje velika. Za smanjenje korelacije između kanala Ruderman et al. (1998) predložili su sledeće matrice transformacije.

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Ako se uzme činjenica da je L kanal crvena, M kanal zelena, a S kanal žuta boja, onda se može zaključiti da l kanal predstavlja monohromatski kanal, a α i β kanali predstavljaju žuti-plavi, odnosno crveni-zeleni kanal (Reinhard, et al., 2001). Primeri l, α i β kanala slike 3a prikazani su na slici 6.



Slika 6 – Primer l $\alpha\beta$ kolor transformacije slike 3, a) kanal intenziteta l, b) plavi-žuti kanal α i c) crveni-zeleni kanal β

Figure 6 – The l $\alpha\beta$ representation of the image in Figure 1, a) intensity channel l, b) the blue-yellow channel α and c) the red-green channel β

Nakon izvršenih operacija nad kanalima u $l\alpha\beta$ kolor sistemu potrebno je izvršiti inverznu transformaciju u RGB kolor sistem. Prvo se vrši konverzija iz $l\alpha\beta$ u **LMS** pomoću sledeće jednačine:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{3}/3 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{6}/6 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (7)$$

Posle izvršenog stepenovanja sa osnovom 10 i povratka u linearni sistem, vrši se konverzija u RGB kolor sistem:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,4679 & -3,5873 & 0,1193 \\ -1,2186 & 2,3809 & -0,1624 \\ 0,0497 & -0,2469 & 1,2045 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (8)$$

Gaus-Laplasova piramida

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike svodi se na sjedinjavanje jednog od kolor kanala i monohromatske slike izborom jedne od metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika (Burt, Adelson, 1983), (Petrović, Xydeas, 1999), (Petrović, Xydeas, 2004), (Toet, 1989). U ovom radu predložena je Gaus-Laplasova piramida kao jedna od pouzdanih metoda (Burt, Adelson, 1983), (Toet, 1989). Ona omogućava prenos relevantnih informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu.

Konstrukcija piramide vrši se na sledeći način. Originalna slika uzima se kao dno ili nulti nivo piramide G_0 . Svaki sledeći nivo piramide dobija se niskofrekventnim filtriranjem prethodnog nivoa uz smanjenje veličine slike faktorom dva. Svaka vrednost piksela nivoa piramide je usrednjena vrednost piksela prethodnog nivoa sa prozorskim filtrom dimenzija 5×5 . Ovaj proces naziva se redukcija i može se zapisati kao $G_l = \text{REDUCE}(G_{l-1})$, odnosno

$$G_l(m, n) = \sum_{i,j=-2}^2 w(i, j) G_{l-1}(2m+i, 2n+j) \quad (9)$$

gde broj N predstavlja broj nivoa Gausove piramide. Inverzna operacija od redukovanja naziva se ekspanzija i može se zapisati kao:

$$G_{l,0} = G_l \text{ i } G_{l,k} = \text{EXPAND}(G_{l,k-1}) \quad (10)$$

odnosno

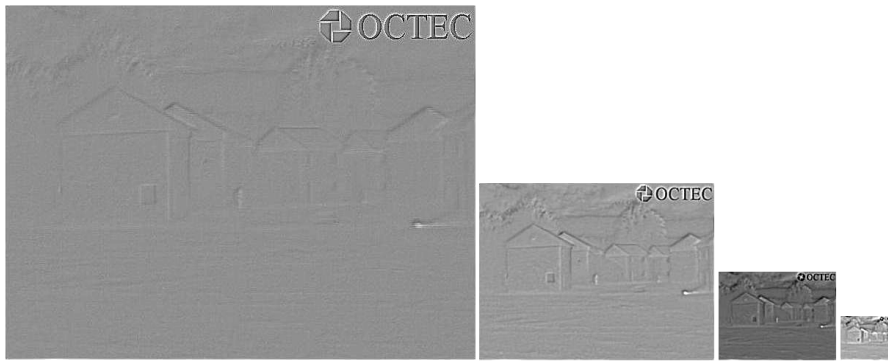
$$G_{l,k}(m, n) = 4 \sum_{i,j=-2}^2 w(i, j) G_{l,k-1}\left(\frac{m+i}{2}, \frac{n+j}{2}\right) \quad (11)$$

Sekvenca L_0, L_1, \dots, L_{N-1} dobija se kao razlika između slike sa nivoa Gausove piramide i ekspanzije slike sa višeg nivoa:

$$L_l = G_l - EXPAND(G_{l+1}) \text{ i } L_N = G_N \quad (12)$$

Na ovaj način dobija se sekvenca slika propuštenih kroz filter propusnik opsega i naziva se *DOLP (difference of low-pass)* ili Laplasova piramida i predstavlja kompletnu reprezentaciju slike (slika 7). Originalna slika može se dobiti obrnutim koracima konstrukcije piramide:

$$G_N = L_N \text{ i } G_l = L_l + EXPAND(G_{l+1}) \quad (13)$$



Slika 7 – Nivoi Laplasove piramide slike 3b
Figure 7 – Levels of the Laplacian pyramid from Figure 3b

Kolor sjedinjavanje slika

Cilj sjedinjavanja slika sa više senzora jeste prikazivanje informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu sliku. Kolor TV slika (slika 3a) sadrži više detalja o sceni, dok monohromatska IC slika (slika 3b) prikazuje objekte koji su različite temperature i mogu biti nevidljivi za ljudsko oko. Radi što efikasnije i vidljivije predstave informacija iz monohromatske IC slike u sjedinjenoj kolor slici, toplije objekte predstavimo nivoima crvene boje, dok ćemo vrednosti ostalih kanala ostaviti nepromenjene. Na ovaj način kolor slika zadržaće svoju prirodnost, a informacije iz monohromatske IC slike biće jasno prezentovane.

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike vrši se na sledeći način. Prvo se ulazna kolor slika transformiše u $\alpha\beta$ kolor sistem na već opisan način (jednačine 4-6). Pošto su kanali u $\alpha\beta$ kolor sistemu slabe korelacije mogu se vršiti operacije na jednom od njih uz slab uticaj na ostale kanale. Za sjedinjavanje sa monohromatskom slikom izabran je β kanal koji predstavlja crveni-zeleni kanal. Sjedinjavanje β kanala sa monohromatskom slikom proizvešće kao rezultat prikaz toplijih detalja iz IC slike crvenom bojom u sjedinjenoj kolor slici. Pošto su opsezi vrednosti β kanala i

nivoa sivog monohromatskog kanala različiti, za uspješno sjedinjavanje potrebno je vrednosti svesti u jedan opseg. Sjedinjavanje slika vrši se u β kanalu kolor slike, tako da se vrednosti nivoa sivog piksela monohromatske slike moraju svesti u β opseg prema sledećem:

$$I'_m = \frac{\sigma_\beta}{\sigma_m} (I_m - \mu_m) + \mu_\beta \quad (14)$$

gde je I_m vrednost piksela nivoa sivog monohromatske slike, σ_β i σ_m predstavljaju standardne devijacije β kanala kolor i monohromatske slike, a μ_β i μ_m su srednje vrednosti ovih kanala. Sada su opsezi i srednje vrednosti ova dva kanala usaglašeni i može se izvršiti sjedinjavanje kanala.

Koristeći Laplasovu piramidu za sjedinjavanje monohromatskih slika, sjedinjavanje ćemo izvesti na sledeći način. Prvo se od β kanala i modifikovanih vrednosti monohromatske slike konstruišu Laplasove piramide (jednačine 9–12). Za sjedinjavanje nivoa Laplasove piramide koristićemo izbor apsolutnog maksimuma, odnosno za sjedinjenu sliku u piramidi uzimaće se veća vrednost za svaki piksel iz ulaznih slika. Radi očuvanja prirodnosti kolor slike i izbegavanja veće količine prenetih podataka iz monohromatske slike, informacije koje predstavljaju niže frekvencije, odnosno spore promene, uzećemo samo iz β kanala kolor slike. Više frekvencije, odnosno brže promene na ulaznim slikama biće prenete na već opisan način.

Sjedinjeni β kanal kolor slike dobija se inverznom Laplasovom transformacijom sjedinjene Laplasove piramide (jednačina 13). Konačno, sjedinjena kolor slika dobija se transformacijom $l\alpha\beta$ kolor sistema u RGB kolor sistem (jednačine 7 i 8). Sjedinjena kolor slika opisana ovom metodom za ulazne slike sa slike 3 prikazana je na slici 8.



Slika 8 – Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike prikazanih na slici 3, pomoću $l\alpha\beta$ kolor transformacije i Laplasove piramide

Figure 8 – Result of the fusion of the color and monochromatic images in Figure 3 with the $l\alpha\beta$ color transform and the Laplacian pyramid

Isticanje objekata iz monohromatske slike

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike predloženom metodom daje sjedinjenu sliku na kojoj se jasno uočavaju objekti koji se nalaze na obe ulazne slike. Čovek koji se nalazi iza dimne zavese jasnije i brže se uočava nego na sjedinjenoj slici pomoću HSV transformacije. Međutim, objekti preneseni iz monohromatske slike mogu se napraviti još uočljivijim za slučaj da je potrebna brza i precizna identifikacija ciljeva. To se može postići dodavanjem izdvojenih ivica monohromatske slike u samu sliku.

Ivice se mogu okarakterisati kroz dva osnovna parametra – amplitude (jačina) i pravca (orijentacija). Predloženi algoritam izdvaja samo informacije jačine ivice za svaki (n,m) piksel slike i ugrađuje ih u monohromatsku sliku. Jačina ivica dobija se Sobel operatorom, koji definišu dva 3x3 prozora (Sonka, et al., 1998) prikazana na slici 9.

-1	-2	-1	-1	0	1
0	0	0	-2	0	2
1	2	1	-1	0	1

Slika 9 – Uspravni i vodoravni Sobel prozori
Figure 9 – Horizontal and vertical Sobel kernels

Ovi prozori mere vodoravnu i uspravnu komponentu ivice u centralnom pikselu. Monohromatska slika filtrira se Sobel prozorima, što daje još dve slike s^x i s^y , koje sadrže ivične komponente u x i y pravcu. Iz ovih komponenti dobija se jačina ivice prema jednačini:

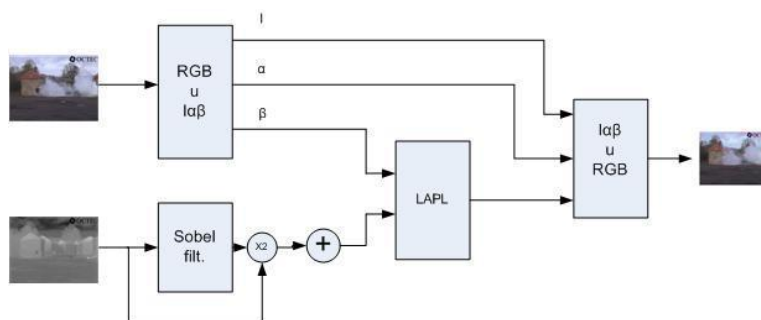
$$g_a(n, m) = \sqrt{s^x(n, m)^2 + s^y(n, m)^2} \quad (15)$$

Opseg vrednosti jačine ivica zavisi od parametara normalizacije Sobelovog filtriranja, a u 8-bitnoj slici nikad ne prelazi 143, dok $g(n, m) = 0$ znači da je signal konstantan (Petrović, 2001). Na kraju se ulazna slika dobija kao zbir monohromatske slike i njenih ivica pomnoženih sa faktorom 2:

$$I'(n, m) = I(n, m) + 2g(n, m) \quad (16)$$

Izdvojene ivice slike 3b i modifikovana IC slika prikazane su na slici 11a i 11b. Jasno se vidi da su objekti na IC slici sada naglašeniji i da će biti verodostojnije prikazani u sjedinjenoj slici.

Postupak sjedinjavanja svodi se na već objašnjen način u prethodnom poglavlju, a rezultat sjedinjavanja prikazan je na slici 11d. Šema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike prikazana je na slici 10.

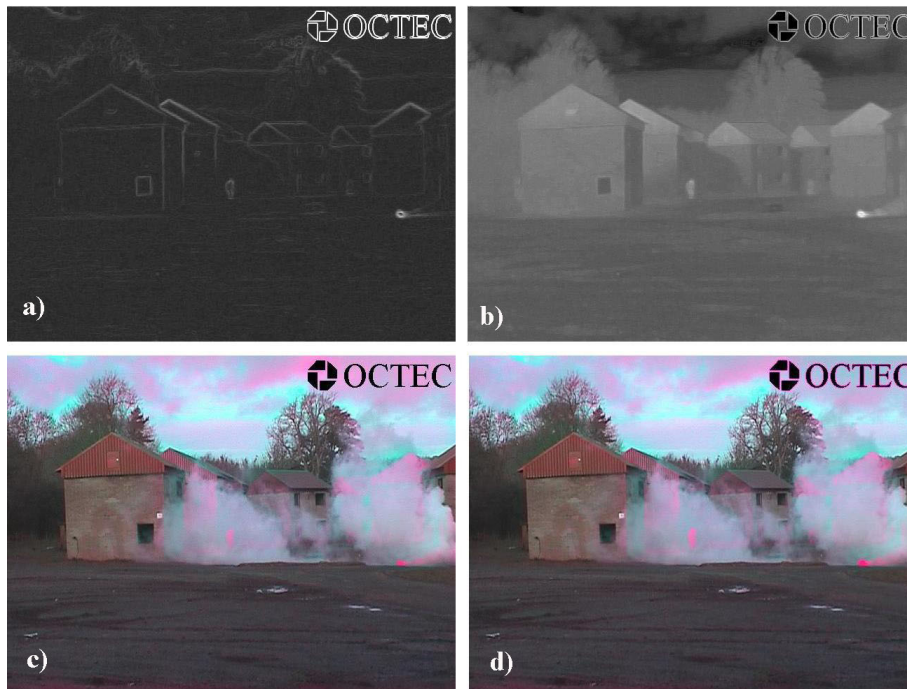


Slika 10 – Šema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike
Figure 10 – Color and monochromatic image fusion scheme

Analiza rezultata

Rezultati sjedinjavanja slika 3a i 3b prikazani su na slici 11. Rezultati su dobijeni na već opisane načine uz primenu Laplasove piramide sa 7 nivoa. Prilikom sjedinjavanja β kanala TV slike sa IC slikom prva tri nivoa Laplasove piramide uzeta su samo iz β kanala, dok su ostali nivoi sjedinjeni metodom maksimalne apsolutne vrednosti. Sjedinjena kolor slika pomoću β kanala kolor i monohromatske slike (slika 11c) daje dobre rezultate i preneseni su objekti iz IC slike verodostojno. Jasno se uočava čovek iza dimne zavese i dimna bomba koja je jakog temperaturnog kontrasta i veoma uočljiva. Pozadina slike, zgrade, nebo i ostali detalji su jasno uočljivi i zadržali su boju ulazne kolor slike. Međutim, i pored dobre predstave objekata iz ulaznih slika, na sjedinjenoj slici mogu se uočiti izobličenja oko slova u gornjem desnom uglu. Izobličenja su nastala prilikom sjedinjavanja Laplasovom piramidom beta kanala sa monohromatskom slikom. Problem predstavlja, u stvari, sjedinjavanje informacija koje su u potpunom kontrastu. Naime, slova kod monohromatske slike su crne boje i pikseli imaju vrednost 0, dok su u beta kanalu bela i imaju normalizovanu vrednost 1. Sjedinjavanje ovih informacija prouzrokuje izobličenja koja se javljaju u njihovoj okolini i utiču na sjedinjenu kolor sliku. Sjedinjena kolor slika uz dodavanje ivica IC slike još jasnije i vidljivije predstavlja objekte iz IC slike. Samim tim što su objekti većeg kontrasta na slici 11b od objekata na slici 3b sjedinjavanje ovom metodom daje bolje rezultate. Pojačan je kontrast između čoveka iza dimne zavese i pozadine, pa se samim tim i objekat lakše uočava i identifikuje. U slučaju da je po-

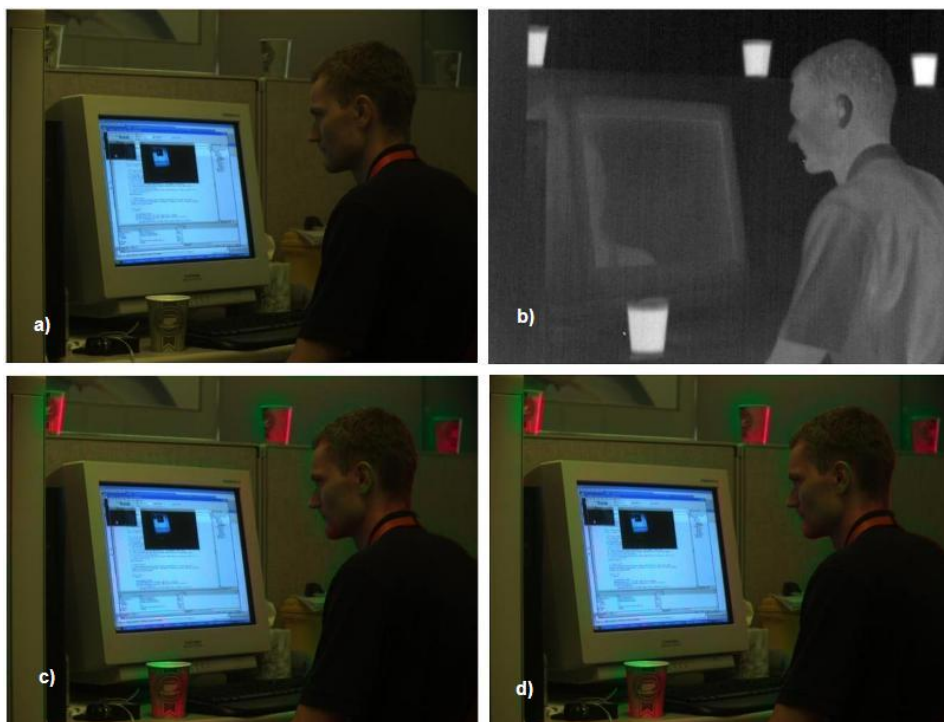
trebna brza identifikacija ciljeva na slici metodom za isticanje ivica dobili bi bolje rezultate. Takođe, sjedinjavanje sa dodavanjem ivica eliminiše izobličenja koja su nastala prilikom sjedinjavanja signala koji su u kontrastu, odnosno, u našem slučaju, sjedinjavanju informacija oko slova u gornjem desnom uglu.



Slika 11 – Kolor sjedinjavanje uz pojačanje ivica na monohromatskoj slici:
a) jačina ivica monohromatske slike prikazane na slici 3b, b) pojačana slika gradijentima
c) i d) rezultati sjedinjavanja bez isticanja ivica i sa isticanjem ivica

Figure 11 – Structure enhanced color fusion: a) gradient magnitude of the IR image in Figure 3b, b) enhanced IR image I', c) and d) images fused using the proposed method without and with structural enhancement

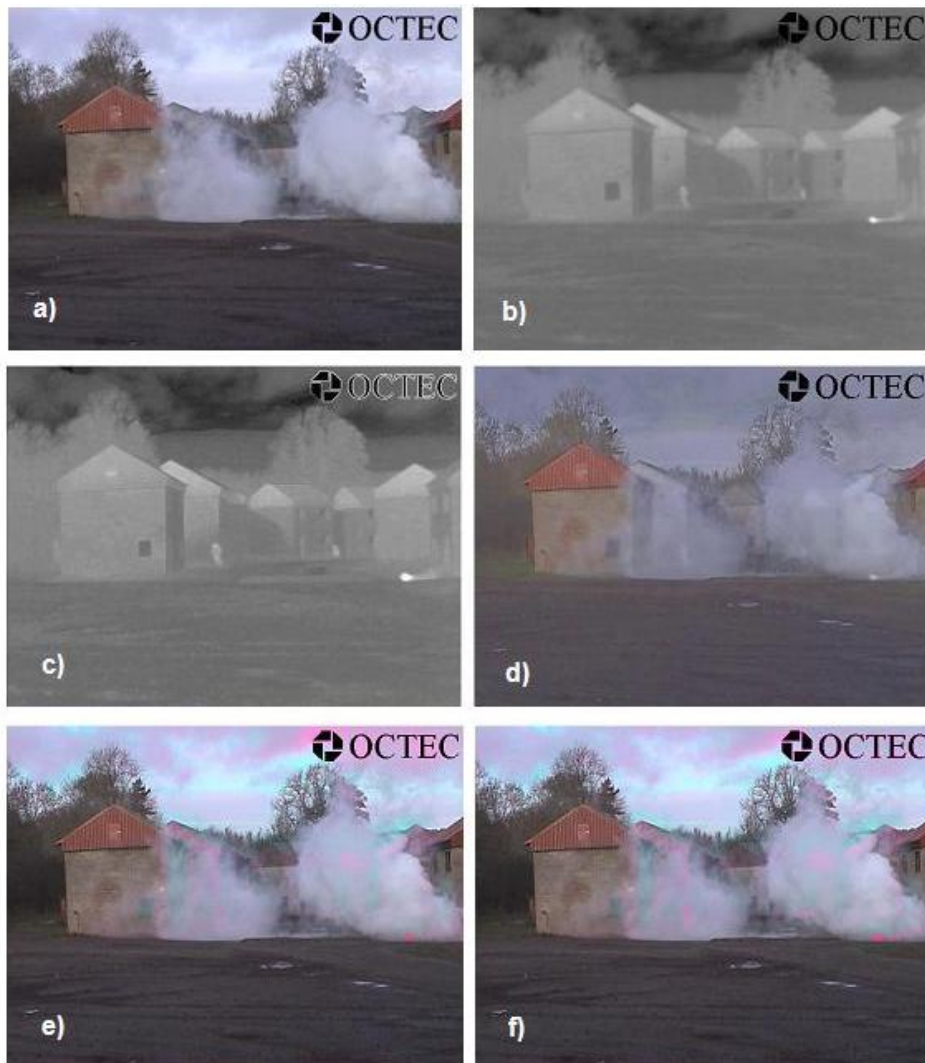
Opravdanost predložene metode potvrđena je i na sekvencama dobijenih iz unutrašnjih uslova, tako da omogućava primenu u više scenarija i uslova. Na slici 12 a i 12b date su slike TV i IC kamere iz sobnih uslova. Na IC slici uočavaju se topliji objekti u vidu tople tečnosti u čašama, dok TV slika jasno daje vidljive detalje, čak i sadržaj monitora. Kako bi se dobila jedna slika sa svim informacijama izvršeno je kolor sjedinjavanje i rezultati su prikazani na slikama 12c i 12d. Sjedinjavanjem su preneti svi detalji iz obe ulazne slike, a pri tome je u potpunosti zadržana i prirodnost kolor slike.



Slika 12 – Kolor sjedinjavanje slika na sekvenci u unutrašnjim uslovima:
 a) i b) ulazne TV i termovizijske slike, c) i d) rezultati sjedinjavanja koristeći
 laβ kolor sistem bez isticanja i sa isticanjem ivica

Figure 12 – Color image fusion of an indoor sequence. a) and b) true color and IR inputs,
 c) and d) fusion results using the laβ color system method without and with structural
 enhancement

Prednosti predložene metode bolje se vide na još jednom frejmu OCTEC sekvence. Na slici 13a i 13b date su ulazne slike IC i TV kame-
 re. Za razliku od frejma prikazanog na slici 3, ovaj frejm predstavlja po-
 javljivanje još jednog čoveka između treće i četvrte zgrade gledano sa
 leve strane. Ovaj čovek se veoma slabo uočava na ulaznoj IC slici. Na
 slici 13c data je IC slika sa dodatim ivicama i na njoj je ovaj čovek znat-
 no uočljiviji, kao i ostali objekti. Sjedinjena slika HSV transformacijom
 13d prikazuje objekte iz ulaznih slika, ali su slabo uočljivi zbog malog
 kontrasta između dimne zavese i ljudi iza nje. Sjedinjena slika predlo-
 ženom metodom bez dodavanja ivica prikazana je na slici 13e i daje
 dobre rezultate, ali je čovek, kao i na ulaznoj IC slici, slabo uočljiv. Slika
 koja je dobijena sjedinjavanjem uz dodavanje ivica (slika 13f) mnogo
 bolje od ostalih prikazuje drugog čoveka, iako je on jedva vidljiv u ula-
 znoj IC slici.



Slika 13 – Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje:
 a) i b) TV i IC slika OCTEC sekvence, c) IC slika sa dodatim ivicama,
 d) rezultat sjedinjavanja HSV transformacijom, e) i f), rezultat kolor sjedinjavanja
 $I\alpha\beta$ kolor transformacijom i sa dodavanjem ivica monohromatske slike
Figure 13 – Input images and images fused with color fusion: a) and b) true color and IR
 inputs of the OCTEC dataset, c) enhanced IR image I' , d) HSV fusion result,
 e) and f) images fused using the $I\alpha\beta$ method without and with structural enhancement

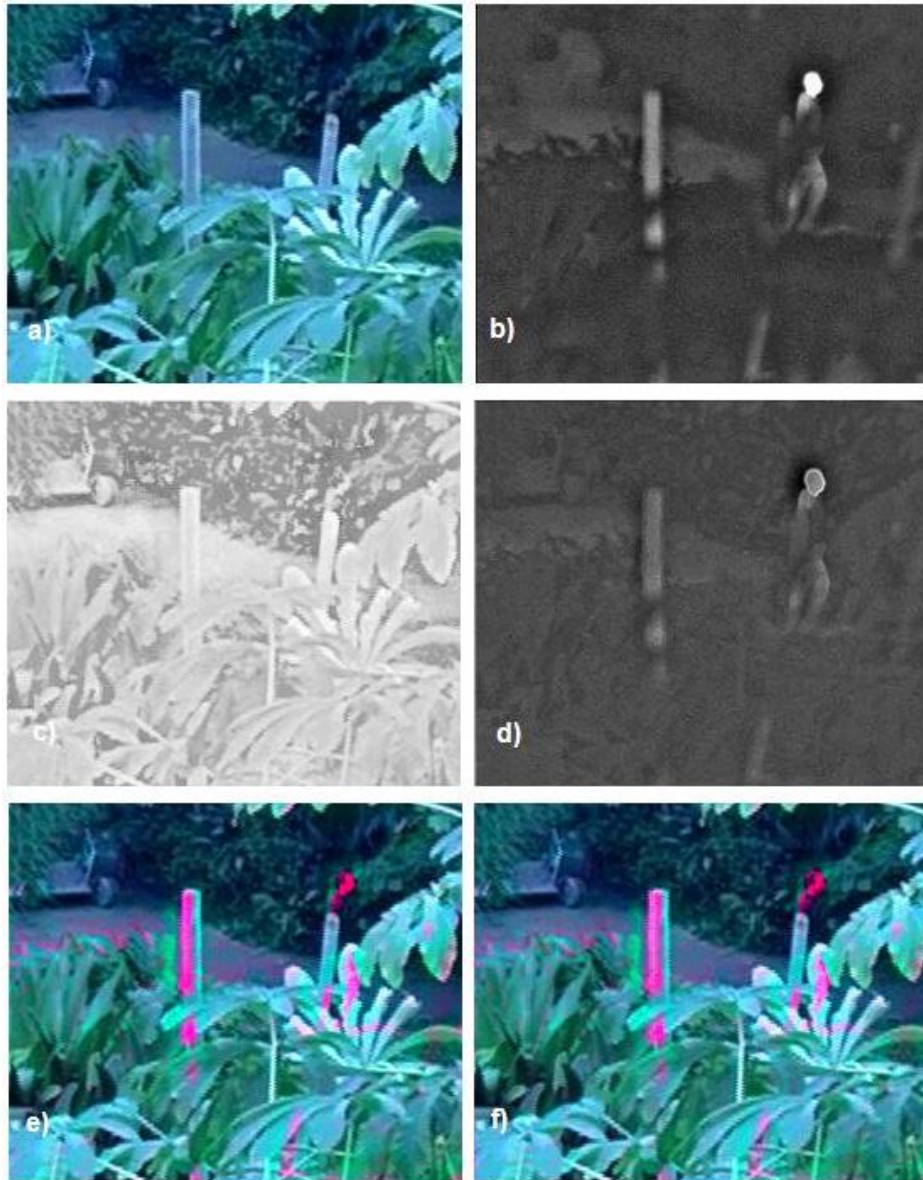
Dobre rezultate predložena metoda daje i na sjedinjavanju sekvence EDEN. Po jedan frejm ulaznih slika TV i IC kamere dati su na slici 14a i 14b. Na IC slici jasno se uočava čovek zbog različite temperature

sa okolinom. Ostali detalji su slabo vidljivi. TV slika jasno prikazuje drveće i lišće ali je čovek gotovo neuočljiv. Sjedinjavanjem ove dve slike dobijamo sjedinjenu kolor sliku na kojoj se jasno uočava i čovek i pozadina (slike 14e i 14f). Kako bi se video uticaj kolor sjedinjavanja date su i slike β kanala pre i nakon sjedinjavanja na slikama 14c i 14d, stim što je na 14c izvršeno razvlačenje histograma pa je slika svetlija. Na slikama se jasno uočava uticaj sjedinjavanja i vide se preneseni podaci iz monohromatske slike u β kanalu kolor slike. Na slici 14e izvršeno je sjedinjavanje predloženom metodom bez isticanja ivica i dobijeni rezultati su veoma dobri. Prikazani su detalji iz obe ulazne slike i mogu se lako uočiti svi objekti. Još bolje rezultate daje predložena metoda sa isticanjem ivica IC slike (slika 14f). Na ovoj slici čovek je uočljiviji i detekcija ciljeva bila bi veoma efikasna.

Subjektivna procena uspešnosti sjedinjavanja

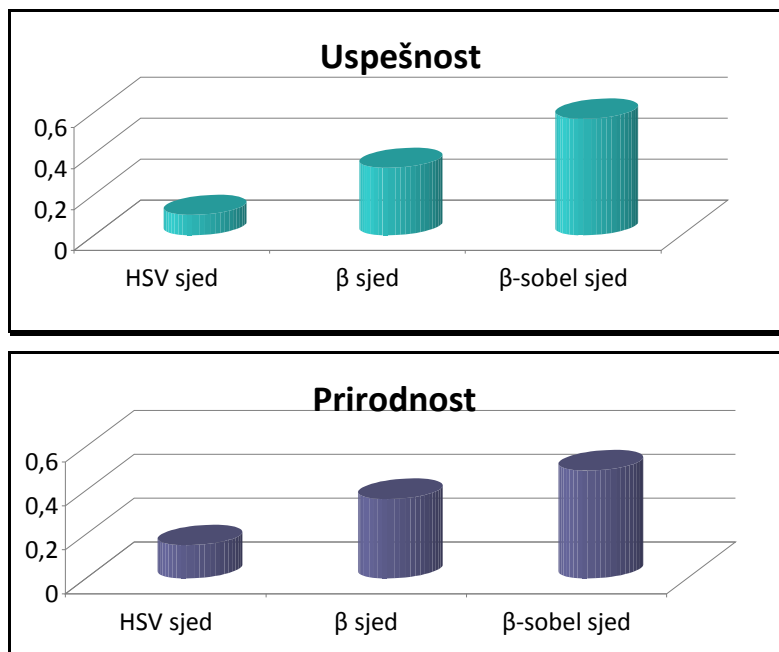
Predloženi algoritmi za sjedinjavanje ispitani su vizuelnom analizom sjedinjavanja. Subjektivni testovi vođeni u okviru ovog rada su neformalni, pasivni sa ciljem da odrede relativnu uspešnost jedne metode sjedinjavanja u odnosu na druge (Petrović, 2001). Zadaci koje su imali učesnici subjektivnih testova bili su da procene uspešnost prenetih podataka iz ulaznih slika u sjedinjenu i da procene prirodnost sjedinjenje slike. Svaki test poredio je tri različite metode (HSV sjedinjavanje, sjedinjavanje putem β -kanal bez isticanja i sa isticanjem ivičnih efekata u ulaznoj monohromatskoj slici). Uspešnost je određivao subjektivni izbor, tj. za svaki par ulaznih slika od subjekata se tražilo da se odluče za jednu od sjedinjenih slika po navedena dva principa uspešnosti sjedinjavanja (preneti podaci i prirodnost).

Test za procenu uspešnosti sjedinjavanja sadržao je 23 ulazna para registrovanih kolor i monohromatskih slika iste scene iz pet različitih prizora, odnosno sekvenci. Pri tome je vođeno računa da ulazne slike obuhvate što više različitih scenarija iz urbanih i ruralnih prostora. U proseku 15 srednje iskusnih subjekata radilo je test na 20" monitoru na razdaljini od oko 80 cm. Ukupni izborni rezultat koji određuje uspešnost prenetih informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu, a koji daje procenat glasova za određenu metodu je 0,57:0,33:0,1 je za metode sjedinjavanja preko β kanala sa dodatkom ivica, sjedinjavanje preko β kanala i sjedinjavanje preko HSV transformacije respektivno. Takođe, ukupan izborni rezultata za prirodnost sjedinjene slike je 0,49:0,36:0,15 za metode gore navedene. Ovi rezultati (slika 15) jasno ukazuju na prednost predloženih metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika i ističu prednosti sjedinjavanja slika preko β kanala uz dodavanje ivica u monohromatsku sliku.



*Slika 14 – Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje:
a) i b) TV i IC slika EDEN sekvence, c) beta kanal kolor slike, d) sjedinjeni beta kanal,
e) i f) rezultat kolor sjedinjavanja $I\alpha\beta$ kolor transformacijom i sa dodavanjem ivica
monohromatske slike*

*Figure 14 – Color fusion of the EDEN dataset: a) and b) true color and IR inputs,
c) β chanal of color image, d) fused β chanal, e) and f) fusion with the proposed method
without and with structure enhancement*



Slika 15 – Rezultati subjektivnih testova na 23 scene uz učešće 15 posmatrača
 Figure 15 – Subjective trial average preferences for 23 datasets and 15 viewers

Zaključak

U radu je prikazana metoda za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika u kolor sliku. Osnovna ideja je bila da se informacije iz monohromatske slike predstave u kolor slici što verodostojnije, a da se pri tome ne naruši prirodan izgled kolor slike. Za sjedinjavanje slika izabrana je $\alpha\beta$ kolor transformacija kolor slike, jer su kanali slabo povezani i moguće je vršiti operacije na jednom kanalu sa malim uticajem na ostale. U radu je izabran β kanal koji predstavlja crvenu-zelenu boju, kako bi objekte koji su, na primer, topliji u IC monohromatskoj slici predstavili crvenom bojom, a samim tim i uočljivije na sjedinjenoj slici. Efikasnost sjedinjavanja povećana je pojačanjem ivica monohromatske slike pomoću Sobel operatora. Na ovaj način sjedinjavanja objekti iz monohromatske slike su jasniji i veoma lako se uočavaju i identifikuju. Rezultati dobijeni novom metodom prikazani su na slikama iz dve sekvence u spoljnim uslovima (OC-TEC i EDEN) i jedna u unutrašnjim uslovima i opravdavaju primenu predložene metode. Takođe, subjektivni testovi koji su vođeni u prethodnom periodu opravdavaju predložene metode i daju znatno bolje karakteristike od postojećih metoda na većem broju ulaznih podataka.

Literatura

Aguilar, M., Fay, D.A., Ross, W.D., Waxman, A.M., Ireland, D.B., Racamato, J.P., 1988, Real-time fusion of low-light CCD and uncooled IR imagery for color night vision, pp. 124-135, *Enhanced and Synthetic Vision*, Orlando, FL, US, July 30.

Burt, P., Adelson, E., 1983, The Laplacian pyramid as a compact image code, *IEEE Transactions on Communication*, Volume 31(4), pp. 532-540.

Guangxin, L., Shuyan, X., 2009, An Efficient Color Transfer Method for Fusion of Multiband Nightvision Images, International Conference on *Information Engineering and Computer Science*, Wuhan, China, December 19-20.

Hogervorst, M.A., Toet, A., 2007, Fast and true-to-life application of daytime colours to night-time imagery, pp.1-8, *Information Fusion, 2007 10th International Conference on*, Quebec, QC, Canada, July 9-12.

Hogervorst, M.A., Toet, A., 2010, Fast natural color mapping for night-time imagery, *Information Fusion*, Volume 11(2), pp. 69-77.

Huang, M., Leng, J., Xiang, C., 2008, A Study on IHS+WT and HSV+WT Methods of Image Fusion, pp. 665-668, *International Symposium on Information Science and Engineering*, Shanghai, China, December 20-22.

Jang, J.H., Ra, J.B., 2008, Pseudo-Color Image Fusion Based on Intensity-Hue-Saturation Color Space, pp. 366-371, *IEEE International Conference on Multi-sensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, Seoul, Korea, August 20-22.

McDaniel, R.V., Scribner, D.A., Krebs, W.K., Warren, P., McCarley J., 1998, Image fusion for tactical applications, *Infrared Technology and Applications*, Volume 3436, pp. 685-695.

Petrović, V., 2001, *Multisensor pixel-level image fusion*, PhD Thesis, University of Manchester, UK.

Petrović, V., Xydeas, C., 1999, Computationally efficient pixel-level image fusion, pp. 177-184 *Proceedings of Eurofusion99*, Stratford-upon-Avon, October.

Petrović, V., Xydeas, C., 2004, Gradient Based Multiresolution Image Fusion, *IEEE Transactions on Image Processing*, Volume 13(2), pp. 228-237.

Petrović, V., Zrnić, B., 2001, Multisenzorsko sjedinjavanje informacija za otkrivanje, praćenje i identifikaciju ciljeva, *TELFOR 2001*, Beograd, Novembar 20-22.

Reinhard, E., Ashikhmin, M., Gooch, B., Shirley, P., 2001, Color transfer between images, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Volume 21(5), pp. 34-41.

Ruderman, A., Joubert, O.R., Fabre-Thorpe, M., 1988, Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding, *Journal of the Optical Society of America*, Volume 15(8), pp. 2036-2045.

Shiming, S., Lingxue, W., Wei-qi, J., Yuanmeng, Z., 2007, Color night vision based on color transfer in YUV color space, *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2007: Image Processing*, Beijing, China, September 09.

Sonka, M., Hlavac, V., Boyle, R., 1998, *Image Processing, Analysis and Machine Vision*, PWS Publishing, Pacific Grove.

The Online Resource for Research in Image Fusion, [Internet], Dostupno na: <<http://www.imagefusion.org>>, Preuzeto: 08.03.2012. godine.

Toet, A., 1989, Image fusion by a ratio of low-pass pyramid, *Pattern Recognition Letters*, Volume 9, pp. 245-253.

Toet, A., 2003a, Color the night: Applying Daytime Colors to Nighttime Imagery, pp. 168-178 *Enhanced and Synthetic Vision*, Orlando, FL, September 23.

Toet, A., 2003b, Natural colour mapping for multiband nightvision imagery, *Information fusion*, Volume 4(3), pp. 155-166.

Toet, A., 2003c, Color Image Fusion for Concealed Weapon Detection, pp.372-379, *Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Defense and Law Enforcement II*, Orlando, FL, September 23.

Toet, A., Hogervorst, M.A., 2009, Towards an Optimal Color. Representation for Multiband Nightvision Systems, pp. 1417 – 1423, *12th International Conference on Information Fusion*, Seattle, WA, USA, July 6-9.

Toet, A., Walraven, 1996, New false color mapping for image fusion, *Optical Engineering*, Volume 35(3), pp.650-658.

Waxman, A.M., Aguilar, M., Baxter, R.A., Fay, D.A., Ireland, D.B., Racamato, J.P., Ross, W.D., 1998a, Opponent-color fusion of multi-sensor imagery: visible, IR and SAR, *Proceedings of IRIS Passive Sensors*, Volume 1, pp. 43-61.

Waxman, A.M., Aguilar, M., Baxter, R.A., Fay, D.A., Ireland, D.B., Racamato, J.P., Ross, W.D., 1998b, Solid-state color night vision: fusion of low-light visible and thermal infrared imagery, *Lincoln Laboratory Journal*, Volume 11(1), pp. 41-60.

Yhang, J., Han, Y., Chan, B., Yuan, Y., Qian, Y., Qiu, Y., 2009, Real-time Color Image Fusion for Infrared and Low-light-level Cameras, *International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging*, Beijing, China, August 04.

Zhiyun, X., Rick, S. B., 2003, Concealed Weapon Detection Using Color Image Fusion", pp. 622-627, *Information Fusion, 2003. Proceedings of the Sixth International Conference*, Cairns, Queensland, Australia, July 08-11.

FUSION OF COLOUR AND MONOCHROMATIC IMAGES WITH EDGE EMPHASIS

FIELD: Digital image processing
ARTICLE TYPE: Original Scientific Paper

Summary

We propose a novel method to fuse true colour images with monochromatic non-visible range images that seeks to encode important structural information from monochromatic images efficiently but also preserve the natural appearance of the available true chromacity information. We utilise the β colour opponency channel of the $l\alpha\beta$ colour as the domain to fuse information from the monochromatic input into the colour input by the way of robust grayscale fusion. This is followed by an effective gradient structure visualisation step that enhances the visibility of monochromatic information in the final colour fused image. Images fused using this met-

hod preserve their natural appearance and chromacity better than conventional methods while at the same time clearly encode structural information from the monochromatic input. This is demonstrated on a number of well-known true colour fusion examples and confirmed by the results of subjective trials on the data from several colour fusion scenarios.

Introduction

The goal of image fusion can be broadly defined as: the representation of visual information contained in a number of input images into a single fused image without distortion or loss of information. In practice, however, a representation of all available information from multiple inputs in a single image is almost impossible and fusion is generally a data reduction task. One of the sensors usually provides a true colour image that by definition has all of its data dimensions already populated by the spatial and chromatic information. Fusing such images with information from monochromatic inputs in a conventional manner can severely affect natural appearance of the fused image. This is a difficult problem and partly the reason why colour fusion received only a fraction of the attention than better behaved grayscale fusion even long after colour sensors became widespread.

Fusion method

Humans tend to see colours as contrasts between opponent colours and an improvement in visibility of structures from the monochrome can be achieved when they are used to encode a single HVS colour dimension consistently. The $l\alpha\beta$ colour system effectively decorrelates the colour opponency and intensity channels and manipulating one causes no visible changes in the others. Colour fusion can be achieved by fusing one of the colour opponency channels with the monochrome image. We use the Laplacian pyramid fusion known to be one of the most robust monochrome fusion methods available. The Laplacian, also known as the DOLP (difference of low-pass) pyramid is a reversible multiresolution representation that expresses the image through a series of sub-band images of decreasing resolution, increasing scale, whose coefficients broadly express fine detail contrast at that location and scale. A simple fusion strategy creates a new fused pyramid by copying the largest absolute input coefficient at each location.

The β channel of the $l\alpha\beta$ space represents the red-green opponency and we base our fusion on encoding this channel of the colour input with the monochrome image. This causes warmer objects (lighter in IR) to appear redder in the fused image. The fusion proceeds in several steps. Initially we transform the colour input RGB image into the $l\alpha\beta$ image. Monochrome fusion is then performed by decomposing the β image and the normalised monochrome into their Laplacian pyramid representations. We use the select max strategy to construct the fused pyramid but we only apply this to a small number of higher resolution pyramid sub-bands. Larger scale features in lower resolution sub-band images that constitute the natural context of the scene are sourced entirely from the colour image (β). This ensures that well defined smaller objects from the IR image are

transferred robustly into the fused image as well as the broad scene context from the colour input. Reconstructing the fused pyramid produces the fused β image which is combined with the original I and α channels of the colour input to produce the fused RGB colour image.

Edge Emphasis

We encode only the β channel which has only a fraction of the overall colour signal power (most is in the intensity channel) so the contrast of the monochrome image structures is still relatively modest in the fused image. We can improve their visualisation using a relatively simple effect of gradient outline enhancement. Initially, we extract gradient information from the monochrome image using 3×3 Sobel edge operators. The responses to horizontal and vertical Sobel templates, s^x and s^y , are combined to evaluate gradient magnitude at each location. To enhance the structure visualisation, prior to fusion, to the monochrome input we add its gradient magnitude image. The enhanced monochrome image is well behaved as the used gradient filters are linear, and is used directly as the input into monochrome fusion. The gradient magnitude image effectively captures the primal sketch of the scene and encoding an opponency channel with this information improves the visualisation of the structural outline of the monochrome input in the colour fused image.

Results and Conclusion

A new " β fusion" colour image fusion method is presented that successfully both visualises important structure information from the monochrome input and preserves the natural appearance of the true colour input. Colour fusion is performed in the $I\alpha\beta$ colour space known to decorrelate main colour opponencies seen by the human visual system. We chose the β channel representing the red-green opponency of the true colour image to encode structural information from the monochrome input by fusing them using modified Laplacian pyramid fusion. The visualisation of important structures from the monochrome input can be improved through a simple structure encoding step using its gradient information. The method is naturally extended to video fusion. The proposed fusion methods produce colour fused images with significantly better visualisation of important information from the monochrome input while almost entirely preserving the natural appearance of the true colour input. This was demonstrated on a number of well-known colour fusion examples and measured using subjective trials on the data from multiple surveillance scenarios.

Key words: *imaging; fusion; encoding; colour.*

Datum prijema članka/Paper received on: 31. 08. 2012.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa/Manuscript corrections submitted on: 18. 05. 2013.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje/ Paper accepted for publishing on: 20. 05. 2013.