

Objektivna ocjena metoda fuzije multifokusiranih slika baziranih na EMD

Slavica Savić

Univerzitet u Banjoj Luci
Elektrotehnički fakultet
Banja Luka, Bosna i Hercegovina
slavica.savic@etfbl.net

Sadržaj—Tehnike fuzije slika integrišu komplementarne i redundantne informacije sa više multifokusiranih slika u jednu sliku koja sadrži više informacija nego bilo koja od originalnih slika. Zbog toga, ove metode imaju praktičan značaj u mnogim aplikacijama digitalne obrade slike, pa njihova efikasnost treba biti objektivno analizirana. Ovaj rad daje objektivnu analizu nedavno predloženog metoda za fuziju slika baziranog na prvom nivou Empirijske vremensko-frekvencijske dekompozicije signala (EMD). Ovaj metod je poređen sa drugim EMD baziranim metodom za fuziju multifokusiranih slika. Objektivna analiza ovih metoda bazirana na nekoliko aktuelnih objektivnih mjera dobrog fokusa je izvršena. Uz njegovu jednostavnost, eksperimentalni rezultati koji su izvedeni na vlastitoj bazi multifokusiranih slika koja je javno dostupna dokazuju da nedavno predloženi metod ima najbolju objektivnu ocjenu.

Ključne riječi— EMD; fuzija slika; multifokusirane slike

I. UVOD

Scena koja se snima obično sadrži objekte na različitim udaljenostima od kamere. Dubina fokusa kamere je opseg udaljenosti objekata na sceni u okviru kojeg objekti ostaju jasno prikazani na slici. Zbog ograničene dubine fokusa kamere, samo objekti u opsegu dubine fokusa su dobro fokusirani, dok su objekti ispred ili iza te dubine fokusa na slici zamućeni. Radi toga, pri akviziciji se kreira set multifokusiranih slika jedne scene koje treba da se integrišu u jednu sliku unutar koje će svi objekti biti dobro fokusirani. Proces kombinovanja informacija sa dvije ili više multifokusiranih slika jedne scene je poznat kao fuzija multifokusiranih slika i kao rezultat ima sliku u punom fokusu. Zbog ovoga, metodi za fuziju slika imaju praktičan značaj u mnogim oblastima primjene digitalne obrade slike kao što su medicina, robotika, daljinsko očitavanje, itd.

Proces fuzije slika može se izvršiti na različitim nivoima reprezentacije informacija [1], pa razlikujemo fuziju izvršenu na nivou piksela, obilježja ili simbola. Izbor prikladnog nivoa na kojem će se fuzija izvršiti zavisi od više faktora kao što su izvor podataka, aplikacija i dostupne alatke za fuziju slike. Fuzija na nivou obilježja najprije podrazumijeva izdvajanje pogodnog obilježja na osnovu kojeg će se kasnije fuzija izvršiti, kao što su ivice, kontrast, tekstura. Na osnovu raspoložive alatke koja se koristi u procesu fuzije multifokusiranih slika kakav je EMD, u ovom radu su opisane metode fuzije koje koriste nivo obilježja.

Danas postoje mnoge metode za fuziju multifokusiranih slika koje su bazirane na različitim alatima digitalne obrade signala. Neke od njih su bazirane na mjeri zamućenosti regiona na slikama [2] dok druge u svrhu fuzije koriste segmentaciju regiona [3]. Tu su metode fuzije bazirane na piramidalnoj dekompoziciji slike kao što je Diskretna Vejvlet Transformacija (eng. Discrete Wavelet Transform - DWT) [4]. Takođe, još jedna metoda za fuziju slika bazirana na piramidalnoj dekompoziciji je predložena od strane autora [5]. Ova metoda u svrhu kreiranja slike u punom fokusu koristi sve nivoe Empirijske vremensko-frekvencijske dekompozicije signala (eng. Empirical Mode Decomposition - EMD) multifokusiranih slika u kompleksnom domenu. Kako prvi EMD nivo nosi najznačajnije informacije o mjestima dobre fokusiranosti na slikama, autori u [6] nedavno su predložili fuziju slika baziranu na samo prvom EMD nivou. U okviru ovog rada analiziran je i objektivno ocjenjen ovaj metod. Isto tako, izvršeno je poređenje njegove efikasnosti sa ranijim EMD metodom fuzije baziranim na EMD.

Kada je slika u punom fokusu kreirana, da bi se demonstrirala efikasnost korištenih metoda za njihovu fuziju potrebno je izvršiti analizu i ocjenu kreiranih slika. One mogu biti subjektivne i objektivne. Subjektivna analiza podrazumijeva zadovoljstvo krajnjeg korisnika kvalitetom kreirane slike, dok je objektivna analiza značajna zbog primjene rezultatne slike u automatizovanim procesima. Za objektivnu analizu kreiranih slika može se iskoristiti neka od objektivnih mjera fokusa (eng. Focus Measure - FM) predloženih u [7]-[8]. Još jedna jednostavna objektivna mjera nazvana *mjera sličnosti* bazirana na gradijentnoj vrijednosti piksela slike je predložena od strane autora u [9]. Za razliku od nekih drugih metoda za objektivnu ocjenu kvaliteta kreirane slike koje zahtijevaju postojanje referentne slike u punom fokusu, pomenute metode objektivne ocjene nisu referentno bazirane.

Rad je dalje organizovan kako slijedi. U drugom poglavlju opisan je i analiziran nedavno predloženi algoritmi za fuziju multifokusiranih slika bazirani na prvom EMD nivou. Takođe, ovdje je opisan i raniji algoritam koji u procesu fuzije koristi kompleksni EMD. Treće poglavlje opisuje aktuelne, najefikasnije objektivne mjere za ocjenu kvaliteta slike u punom fokusu, dok je komparativna analiza pomenutih algoritama primjenom opisanih objektivnih mjera data u četvrtom poglavlju. Peto poglavlje je zaključak.

II. EMD BAZIRANI METODI ZA FUZIJU MULTIFOKUSIRANIH SLIKA

Empirijska vremensko-frekvencijska dekompozicija signala je adaptivni metod za dekompoziciju nelinearnih i nestacionarnih signala. EMD adaptivno dekomponuje signal na konačan skup AM/FM moduliranih komponenti nazvanih unutrašnje mod funkcije (eng. Intrinsic Mode Functions – IMFs). Stoga, pored ostalih primjena, u skorije vrijeme EMD se počeo primjenjivati i u procesu fuzije multifokusiranih slika gdje se koriste svi ili samo neki od dekomponovanih nivoa.

A. Fuzija u kompleksnom domenu

Rješenje koje u procesu fuzije multifokusiranih slika koristi kompleksni EMD za kreiranje slike u punom fokusu predložen je u [5]. Ovi autori koriste sve kompleksne EMD nivoe za fuziju slika kako slijedi. Nadovezivanjem uzastopnih redova svake od multifokusiranih slika prvo se kreiraju dva vektora (v_1 i v_2) od kojih se kreira kompleksan vektor $v=v_1+jv_2$. Primjenom kompleksnog EMDa ovaj vektor se dekomponuje na M kompleksnih IMFs. Od istih se potom razdvoji realan i imaginarni dio koji se rekonstruišu u svoje 2D forme, čime se dobija set od M skaliranih slika A_i i B_i , $i=1,2,\dots,M$, koje odgovaraju ulaznim multifokusiranim slikama A i B . Tada se slika u punom fokusu kreira kao:

$$F(x, y) = \sum_{i=1}^M [\alpha_i(x, y)A_i(x, y) + \beta_i(x, y)B_i(x, y)] \quad (1)$$

gdje su (x,y) prostorne lokacije na slikama, a $\alpha_i(x,y)$ i $\beta_i(x,y)$ težinski koeficijenti za koje vrijedi $\alpha_i(x,y)+\beta_i(x,y)=1$. Vrijednosti koeficijenata se računaju poređenjem lokalne varijanse na svakom od nivoa dekompozicije za svaku lokaciju kao:

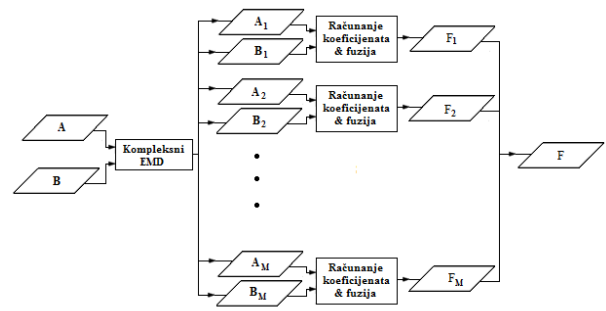
$$\begin{aligned} a) \alpha_i(x,y) &= 0, \text{ ako je } \text{var}(A_i(x,y)) - \text{var}(B_i(x,y)) > -\varepsilon, \\ b) \alpha_i(x,y) &= 0.5, \text{ ako je } |\text{var}(A_i(x,y)) - \text{var}(B_i(x,y))| < \varepsilon, \\ c) \alpha_i(x,y) &= 1, \text{ ako je } \text{var}(A_i(x,y)) - \text{var}(B_i(x,y)) > \varepsilon, \end{aligned} \quad (2)$$

gdje $\text{var}()$ označava lokalnu varijansu oko (x,y) lokacije unutar $N \times N$ prozora i gdje je $\varepsilon > 0$.

Blok dijagram opisanog metoda fuzije dvije multifokusirane slike primjenom kompleksnog EMDa ilustrovan je na Sl. 1. Ovaj metod je još poznat pod nazivom *ComplexEMD*.

B. Fuzija primjenom prvog EMD nivoa

Sa ciljem da se izbjegne cijeli proces dekompozicije ulaznih slika korištenjem kompleksnog EMDa, analizirani su rezultati dobijeni na pojedinim nivoima dekompozicije. Za razliku od kompleksnog EMD metoda za fuziju multifokusiranih slika, nedavno je predložen novi metod koji proces fuzije slika izvršava u realnom domenu [6]. Primjećeno je da prvi nivo dekompozicije nosi najviše informacija o mjestima dobre fokusiranosti, tj. da prva IMF sadrži najviše frekvencije signala koji se dekomponuje. Kako regioni sa oštrim ivicama na slici nose više informacija od zamućenih regiona, za proces fuzije multifokusiranih slika iskorišten je samo prvi nivo EMDa.



Slika 1. Proces fuzije slika primjenom metoda *ComplexEMD*.

Predloženi metod je dat kako slijedi. Kolone svake od slika su iskorištene za konstrukciju vektora v_1 i v_2 . Primjenom realnog EMDa, izdvoje se prve IMFs ovih vektora koje se potom transformišu u njihove 2D forme označene sa A_1 i B_1 . Slika maske α se potom računa na osnovu jednačine (2), gdje je $i=1$. Na kraju, slika u punom fokusu se kreira kao:

$$\begin{aligned} a) F(x,y) &= A(x,y), \text{ ako je } \alpha(x,y) = 0, \\ b) F(x,y) &= B(x,y), \text{ ako je } \alpha(x,y) = 1, \\ c) F(x,y) &= (A(x,y) + B(x,y))/2, \text{ ako je } \alpha(x,y) = 0.5, \end{aligned} \quad (3)$$

gdje se sa (x,y) označavaju prostorne lokacije na slikama.

Blok dijagram nedavno predloženog metoda za fuziju slika primjenom samo prvog nivoa Empirijske vremensko-frekvencijske dekompozicije signala dat je na Sl. 2. Ovaj algoritam je poznat kao *LI_EMD*. Primjer dvije multifokusirane slike, kreirane slike maske i slike u punom fokusu primjenom ovog metoda dat je na Sl. 3.

III. OBJEKTIVNE MJERE FUZIJE

Iako je sa jedne strane slika u punom fokusu veoma značajna za krajnjeg korisnika, sa druge strane ista se vrlo često koristi u automatizovanim procesima čime se nameće potreba za njenom objektivnom analizom kvaliteta. Generalno, mjera fokusa se definiše tako da bude maksimalna za sliku koja je najbolje fokusirana, a čija vrijednost opada kako defokusiranost raste [7]-[8].

Danas postoje mnoge metode za objektivnu ocjenu kvaliteta fokusirane slike, a ovdje će se opisati one koje su se nametnule kao relevantne u literaturi. Neke od poznatih mjera koje se koriste su *varijansa*, *standardna devijacija*, *entropija*. Kako se iste veoma često koriste u mnogim oblastima, ovdje se neće detaljno opisivati. U daljem tekstu će se navesti ostale, značajne FM koje ne zahtjevaju postojanje referentne slike. Za razliku od njih, postoje i metode za ocjenu fokusiranosti koje su bazirane na poređenjima rezultantne slike sa referentnom slikom u punom fokusu koja se najčešće generiše ručnim isjecanjem regiona sa dobrim fokusom. Kako u procesu testiranja nisu dostupne referentne slike u punom fokusu, ove metode se neće razmatrati u okviru ovog rada.

A. Energija Laplasijana (EOL)

Laplasijanov operator je mjera fokusiranosti bazirana na analizi prostornih visokofrekvencijskih komponenti slike koje su detektori njenih oštrih ivica. Računa se kao:

$$EOL = \sum_x \sum_y (f_{xx} + f_{yy})^2, \quad (4)$$

gdje je:

$$f_{xx} + f_{yy} = -f(x-1, y-1) - 4f(x-1, y) - f(x-1, y+1) - 4f(x, y-1) + 20f(x, y) - 4f(x, y+1) - f(x+1, y-1) - 4f(x+1, y) - f(x+1, y+1) \quad (5)$$

B. Energija gradijenta (EOG)

Ova mjera fokusa se računa na sledeći način:

$$EOG = \sum_x \sum_y (f_x^2 + f_y^2), \quad (6)$$

gdje vrijedi:

$$f_x = f(x+1, y) - f(x, y),$$

$$f_y = f(x, y+1) - f(x, y). \quad (7)$$

C. Prostorna frekvencija (SF)

Prostorna frekvencija (eng. Spatial Frequency-SF) u opštem slučaju nije mjera fokusiranosti. Međutim, postoji modifikovana verzija energije gradijenta (EOG) koja se koristi kao FM. SF se kao mjera fokusiranosti definiše sa:

$$SF = \sqrt{RF^2 + CF^2}, \quad (8)$$

gdje su su RF i CF frekvencije vrste i kolone unutar slike respektivno, tj:

$$RF = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=2}^N (f(x, y) - f(x, y-1))^2}, \quad (9)$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=2}^M \sum_{y=1}^N (f(x, y) - f(x-1, y))^2}. \quad (10)$$

D. Tenenbaum algoritam

Tenenbaum je razvio metod za ocjenu fokusiranosti poznat kao *Tenengrad metod*, koji je zasnovan na računanju gradijenta magnitude Sobelovog operatora.

$$Tenengrad = \sum_{x=2}^{M-1} \sum_{y=2}^{N-1} [\nabla S(x, y)]^2, \text{ za } \nabla S(x, y) > T, \quad (11)$$

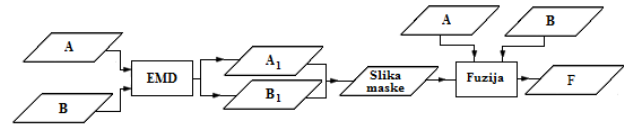
gdje je T prag odlučivanja, a $\nabla S(x, y)$ Sobelov gradijent vrijednosti magnitude izražen kao:

$$\nabla S(x, y) = [\nabla S_x(x, y)^2 + \nabla S_y(x, y)^2]^{1/2}, \quad (12)$$

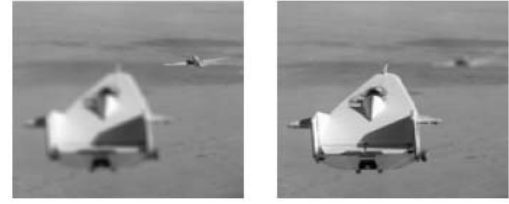
dok se $\nabla S_x(x, y)^2$ i $\nabla S_y(x, y)^2$ mogu izraziti kao:

$$\nabla S_x(x, y) = [-f(x-1, y-1) - 2f(x-1, y) - f(x-1, y+1) + f(x+1, y-1) + 2f(x+1, y) + f(x+1, y+1)], \quad (13)$$

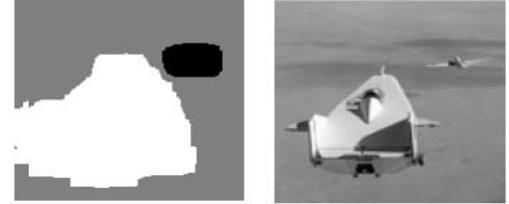
$$\nabla S_y(x, y) = [f(x-1, y-1) + 2f(x, y-1) + f(x+1, y-1) + f(x-1, y+1) + 2f(x, y+1) + f(x+1, y+1)]. \quad (14)$$



Slika 2. LI_EMD blok dijagram.



(a) Defokusirane, ulazne slike



(b) Slika maske c) Slika u punom fokusu

Slika 3. Primjer fuzije slika korištenjem LI_EMD metoda.

E. Mjera sličnosti

Mjera sličnosti (eng. Similarity Measure-SM) je još jedna metoda za ocjenu kvaliteta kreirane slike u punom fokusu predložena od strane autora [9]. Ovdje je iskorištena činjenica da je gradijent korisna alatka za ocjenu varijacije intenziteta svakog piksela u odnosu na njegove susjede. Objektivni kriterijum je baziran na znanju da piksel posjeduje najveći gradijent kada je dobro fokusiran. Gradijenta $G_i(x, y)$ slike X se dobija pomoću:

$$G_i(x, y) = \frac{1}{2} \{ |X_i(x, y) - X_i(x+1, y+1)| + |X_i(x, y+1) - X_i(x+1, y)| \} \quad (15)$$

gdje (x, y) označava prostornu lokaciju na slici.

Zatim se računa referentna slika na osnovu raspoloživih multifokusiranih slika koja će se koristiti pri ocjeni kreiranih slika u punom fokusu. Ako se sa $X_i, i=1, \dots, n$, označe multifokusirane slike, a sa $G_i(x, y), i=1, \dots, n$ njihove gradijentne slike dobijene pomoću (15), referentna slika za svaku prostornu lokaciju se računa prema:

$$G(x, y) = \max\{G_1(x, y), G_2(x, y), \dots, G_n(x, y)\}. \quad (16)$$

Veća sličnost između gradijentne slike $G_i(x, y)$ i referentne slike $G(x, y)$ označava bolji algoritam za fuziju slika, stoga se SM između rekonstruisane slike X_i i referentne slike G računa kao:

$$SM_i(G, G_i) = 1 - \frac{\sqrt{\sum (G(x, y) - G_i(x, y))^2}}{\sqrt{\sum (G(x, y))^2 + \sum (G_i(x, y))^2}}. \quad (17)$$

Što je ova vrijednost veća, to je algoritam bolje ocjenjen. Za idealno generisanu sliku u punom fokusu kod koje su svi regioni dobro fokusirani vrijedi da je $SM=1$.

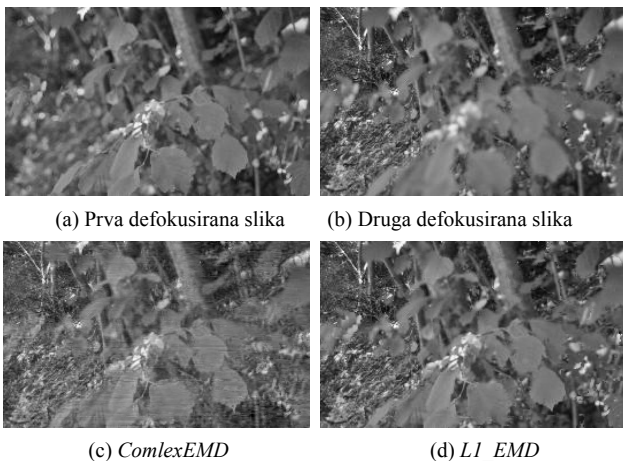
IV. KOMPARATIVNA ANALIZA

U cilju poređenja uspješnosti opisanih metoda za fuziju multifokusiranih slika primjenom EMDa, isti su ocjenjeni svim opisanim objektivnim ocjenama dobre fokusiranosti. Kako bi ocjenjivanje bilo što relevantnije, uspješnost fuzije ovih metoda je testirana na bazi od 12 parova multifokusiranih slika (baza javno dostupna na: www.dsp.etfbl.net/mif). Primjer fuzije dvije multifokusirane slike iz baze primjenom *LI_EMD* i *ComplexEMD* metoda dat je na Sl. 4. U Tabeli 1. su date srednje ocjene po svakoj od FM za svaki od metoda fuzije. Analizom ovih rezultata može se primjetiti superiornost nedavno predloženog metoda *LI_EMD* u odnosu na metod *ComplexEMD*.

Subjektivna analiza dobijenih rezultata ukazuje na mnoge prednosti nedavno predloženog algoritma *LI_EMD* u odnosu na *ComplexEMD*. Kod ovog metoda je izbjegnuta mogućnost pojave artefakata i narušavanja kontrasta na rezultujućoj slici kao posljedica fuzije na nižim EMD nivoima. Takođe, korištenje samo jednog EMD nivoa mnogostruko ubrzava proces fuzije, što je još jedna od prednosti *LI_EMD* metoda. Pomenuti metod se jednostavno može proširiti i za fuziju slika u boji tako što se slika maske kreirana na osnovu sive reprezentacije multifokusiranih slika jednako primjeni na sve kolor komponente [6], što nije moguće kada se fuzija izvršava u kompleksnom domenu.

TABELA 1. OBJEKTIVNE OCJENE EMD METODA ZA FUZIJU SLIKA.

Mjera fokusiranosti FM	Metod	
	<i>LI_EMD</i>	<i>ComplexEMD</i>
<i>Varijansa</i>	0.0389	0.0226
<i>Std. devijacija</i>	0.1922	0.1474
<i>Entropija</i>	7.2377	6.9830
<i>EOL</i>	1.6638	1.0008
<i>EOG</i>	0.0177	0.0108
<i>SF</i>	0.1299	0.1023
<i>Tenenbaum</i>	0.3194	0.1989
<i>SM</i>	0.8417	0.7233



Slika 4. Rezultati analiziranih EMD metoda za fuziju.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu su opisane nedavno predložene metode za fuziju multifokusiranih slika bazirane na Empirijskoj vremensko-frekvencijskoj dekompoziciji signala (EMD). Takođe, opisane su i najznačajnije objektivne mjere za ocjenu dobre fokusiranosti.

Analizom rezultata fuzije, te primjenom opisanih mjera fokusiranosti pokazana je superiornost *LI_EMD* algoritma u odnosu na *ComplexEMD*. Prednosti ovog algoritma su njegova jednostavnost, realizacija u relanom domenu, računanje samo jednog nivoa dekompozicije. Isto tako, izbjegnuta je mogućnost pojave artefakata i narušavanja kontrasta na slici.

LITERATURA

- [1] R. Wang, L.Q. Gao, S. Yang, Y.H. Chai, Y.C. Liu, "An Image Fusion Approach Based on Segmentation Region," *International Journal of Information Technology*, Vol. 11, No. 7, 2005
- [2] Y. Zhang, L. Ge, "Efficient Fusion Scheme for Multi-Focus Images by Using Blurring Measure," *Digital Signal Processing*, No.9, pp.186-193, 2009.
- [3] R. Wang, L.Q. Gao, S. Yang, Y.H. Chai, Y.C. Liu, "An Image fusion Approach Based on Segmentation Region," *International Journal of Information Technology*, Vol. 11, No. 7, 2005.
- [4] Hui Li, B.S. Manjunath, S.K. Mitra, "Multi-sensor Image Fusion Using the Wavelet Transform," *IEEE International Conference of Image Processing*, 1994.
- [5] Looney, D.P. Mandic, "Multiscale Image Fusion Using Complex Extensions of EMD," *IEEE Trans. on Signal Processing*, Vol. 57, No. 4, April 2009.
- [6] S. Savić, Z. Babić, "Multifocus Image Fusion Based on the First Level of Empirical Mode Decomposition," *Proc. of International Conference on Systems, Signals and Image Processing*, IWSSIP 2012, Vienna, 2012. pp 622-625.
- [7] W. Huang, Z. Jing, "Evaluation of Focus Measures in Multi-focus Image Fusion," *Pattern Recognition Letters*, No. 28, pp 493-500, 2007.
- [8] Q. Miao, C. Shi, P. Xu, M. Yang, Y. Shi, "A Novel Algorithm of Image Fusion Using Shearlets," *Optics Communications*, pp 1540-1547, 2011.
- [9] J. Kong, K. Zheng, J. Zhang, X. Feng, "Multifocus Image Fusion Using Spatial Frequency and Genetic Algorithm," *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, VOL.8 No.2, 2008.

ABSTRACT

Image fusion techniques integrate complementary and redundant information from multiple images into fused image that contains more information than any original images. Because of that, those methods have particular importance in many digital image processing applications and they efficiency need to be objective analysed. This paper gives objective analysis of recent proposed multifocus image fusion method based on first level of Empirical Mode Decomposition. This fusion method is compared with other EMD based multifocus image fusion method. Objective analysis of those methods based on several recent proposed focus measures are performed. In addition to its simplicity, experimental results performed on the in-house multifocus image dataset which is publicly available, proved that the proposed method has the best objective image quality assessment.

OBJECTIVE ANALYSIS OF EMD BASED MULTIFOCUS IMAGES FUSION METHODS

Slavica Savić