



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ  
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У  
НОВОМ САДУ

---



мр Раде Павловић

# КОЛОР И ДИНАМИЧКО СЈЕДИЊАВАЊЕ ВИЗУЕЛНИХ СИГНАЛА

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2020.



**КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА**

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска документација
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текстуални штампани материјал
Врста рада, <b>ВР:</b>	Докторат
Аутор, <b>АУ:</b>	мр Раде Павливоћ, дипл. инж.
Ментор, <b>МН:</b>	ванр. проф. др Владимир Петровић
Наслов рада, <b>НР:</b>	Колор и динамичко сједињавање визуелних сигнала
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	Српски
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	Српски
Земља публикавања, <b>ЗП:</b>	Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	Војводина
Година, <b>ГО:</b>	2020.
Издавач, <b>ИЗ:</b>	Ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА:</b>	Нови Сад, Трг Доситеја Обрадовића 6
Физички опис рада, <b>ФО:</b> <small>(поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)</small>	8 поглавља / 236 страна / 201 цитат / 21 табела / 220 слика
Научна област, <b>НО:</b>	Електротехничко и рачунарско инжењерство
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Телекомуникације и обрада сигнала
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	Дигитална обрада слике, мултисензорско сједињавање, динамичко сједињавање, колор сједињавање
<b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ:</b>	У библиотеци Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, <b>ВН:</b>	
Извод, <b>ИЗ:</b>	<p>У тези су представљене робусне, рачунски ефикасне, методе за сједињавање слика, видео секвенци и објективне мере (алгоритми) за аутоматску процену успешности сједињавања слика и видео секвенци. Развијени алгоритми дају боље резултате него постојећи и при томе погодни су за рад у реалном времену. У истраживању узет је у обзир и шум који се јавља у реалном систему и предложени су начини за његово пригушење у самом процесу сједињавања. Истраживање је обухватило и спровођење субјективних тестова за процену успешности сједињавања, како би се извршило подешавање параметара метода за сједињавање и мера за процену успешности сједињавања.</p>
Датум прихватања теме, <b>ДП:</b>	02.06.2016.
Датум одбране, <b>ДО:</b>	
Чланови комисије, <b>КО:</b>	Председник: др Татјана Лончар Турукало, ванредни професор
	Члан: др Вељко Папић, ванредни професор
	Члан: др Срђан Сладојевић, ванредни професор
	Члан: др Иван Покрајац, доцент
	Члан, ментор: др Владимир Петровић, редовни професор



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed material
Contents code, <b>CC</b> :	PhD thesis
Author, <b>AU</b> :	Rade Pavlović, MSc
Mentor, <b>MN</b> :	Dr Vladimir Petrović, associate professor
Title, <b>TI</b> :	Color and Dynamic Visual Signals Fusion
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	Vojvodina
Publication year, <b>PY</b> :	2020.
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Novi Sad, Dositeja Obradovića sq. 6
Physical description, <b>PD</b> : <small>(chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)</small>	8 chapters / 236 pages / 201 references / 21 tables / 220 pictures
Scientific field, <b>SF</b> :	Electrical and computer engineering
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Telecommunications and signal processing
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Digital image processing, multisensor fusion, dynamic fusion, color fusion
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	The Library of Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	The thesis presents robust, computer efficient, image and video sequence fusion and objective measurements (algorithms) for automatically evaluating the success of image and video sequence fusion. Developed algorithms provide better results than existing methods and they are suitable for real-time operation. The study also took into account the noise that occurs in the real systems, and proposed ways for its suppressing in the process of fusion. The survey also included the implementation of subjective tests to assess the success of the fusion, in order to make adjustments to the fusion parameters and measures for assessing the success of the fusion.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	02.06.2016.
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	
President:	Dr Tatjana Lončar Turukalo, associate professor
Member:	Dr Veljko Papić, associate professor
Member:	Dr Srđan Sladojević, associate professor
Member:	Dr Ivan Pokrajac, assistant professor
Member, Mentor:	Dr Vladimir Petrović, full professor

## *Zahvalnica*

*Zahvaljujem se Ministarstvu odbrane na pomoći u realizaciji istraživanja iz koga je nastala doktorska disertacija. Posebna zahvalnost Vojnotehničkom institutu na stvaranju pozitivne atmosfere i uslova za rad koji su omogućili efikasnu realizaciju projekta. Hvala svim kolegama na podršci i izdvojenom vremenu.*

*Veliku zahvalnost dugujem mentoru, profesoru doktoru Vladimiru Petroviću, koji me je uveo u oblast sjedinjavanja multisenzorskih informacija. Svojim idejama najviše je doprineo realizaciji većeg broja novih algoritama koji su publikovani u međunarodnim i domaćim časopisima i konferencijama. Kao rezultat višegodišnje saradnje i istraživanja izrađena je i ova teza.*

*Neizmernu zahvalnost dugujem svojim roditeljima koji su u svakom trenutku imali veliko poverenje u mene i pružali mi sve vrste pomoći kako bih ostvario svoje ciljeve. Zahvaljujem se i široj rodbini na pomoći u svim fazama školovanja.*

*Tezu posvećujem supruzi Nini i ćerkama Sari i Leni koje svojom ljubavlju daju veću dimenziju svemu što sam uradio.*



# Садржај

<b>САДРЖАЈ</b> .....	<b>II</b>
<b>SPISAK SLIKA</b> .....	<b>IV</b>
<b>SPISAK TABELA</b> .....	<b>XII</b>
<b>SPISAK SKRAĆENICA</b> .....	<b>XIII</b>
<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. PREGLED LITERATURE</b> .....	<b>6</b>
2.1. SJEDINJAVANJE SIGNALA SLIKE.....	6
2.2. SJEDINJAVANJE VIDEO SIGNALA.....	8
2.3. KOLOR SJEDINJAVANJE .....	14
2.4. PROCENA USPEŠNOSTI SJEDINJAVANJA .....	26
2.4.1. Mera zasnovane na teoriji informacija.....	27
2.4.2. Mera zasnovane na odlikama slika.....	28
2.4.3. Mera zasnovane na indeksu strukturne sličnosti (Structural Similarity Index Measure, SSIM)...	31
2.4.4. Mera inspirisane ljudskom percepcijom .....	32
2.5. MERE ZA PROCENU SJEDINJAVANJA VIDEO SEKVENCI.....	32
2.5.1. Zajedničke informacije kao mera za procenu sjedinjavanja video sekvenci .....	32
2.5.2. Indeks strukturne sličnosti kao mera za procenu sjedinjavanja video sekvenci .....	34
2.6. PROCENA USPEŠNOSTI SJEDINJAVANJA KOLOR SLIKA.....	35
2.6.1. Zajedničke informacije kao mera kvaliteta kolor sjedinjavanja.....	35
2.6.2. Univerzalni indeks kvaliteta kao mera kolor sjedinjavanja.....	38
2.6.3. Poređenje objektivnih mera.....	40
2.6.4. Subjektivna procena uspešnosti sjedinjavanja .....	41
2.6.5. Poređenje subjektivnih i objektivnih testova .....	42
<b>3. VIDEO SJEDINJAVANJE U REALNOM VREMENU</b> .....	<b>44</b>
3.1. SJEDINJAVANJE DINAMIČKOM LAPLASOVOM PIRAMIDOM .....	45
3.2. ANALIZA REZULTATA .....	56
3.2.1. Subjektivna i objektivna analiza dinamičkog sjedinjavanja .....	63
Poređenje metoda za sjedinjavanje video signala.....	65
3.2.2. Baza za sjedinjavanje video sekvenci .....	71
3.2.3. Merenje računarske kompleksnosti .....	85
3.3. SUBJEKTIVNA PROCENA USPEŠNOSTI SJEDINJAVANJA VIDEO SEKVENCI .....	86
3.4. SAŽETAK.....	95
<b>4. PROCENA USPEŠNOSTI SJEDINJAVANJA VIDEO SEKVENCI</b> .....	<b>96</b>
4.1. PROSTORNO VREMENSKE FREKVENCIJA KAO MERA DINAMIČKOG SJEDINJAVANJA .....	97
4.2. GRADIJENTI KAO MERA SJEDINJAVANJA VIDEO SIGNALA .....	98
4.2.1. Dinamička mera zasnovana na proračunu prenetih gradijenata .....	103
4.3. ANALIZA REZULTATA METODA ZA DINAMIČKO SJEDINJAVANJE.....	109
4.3.1. Poređenje rezultata mera za statičko i dinamičko sjedinjavanje.....	113
4.3.2. Analiza subjektivnih testova .....	115
4.3.3. Poređenje rezultata dinamičkih mera.....	120
4.4. SAŽETAK.....	128
<b>5. KOLOR SJEDINJAVANJE SLIKA U REALNOM VREMENU</b> .....	<b>129</b>
5.1. KOLOR SJEDINJAVANJE KOLOR I MONOHROMATSKE SLIKE.....	131
5.1.1. Beta kolor metoda sjedinjavanja kolor i monohromatskih slika .....	134
Isticanje objekata iz monohromatske slike.....	136
5.1.2. Beta poboljšana metoda za kolor sjedinjavanje slika.....	142
5.1.3. Računarski efikasno kolor sjedinjavanje .....	145
5.2. SJEDINJAVANJE MONOHROMATSKIH SLIKA U KOLOR SLIKU .....	149

5.3. ANALIZA REZULTATA .....	154
5.3.1. Analiza kolor sjedinjavanja na bazi 1 .....	156
5.3.2. Analiza kolor sjedinjavanja na bazi VTI .....	164
5.3.3. Subjektivna procena .....	173
Subjektivni test 1.....	173
Subjektivni test 2.....	177
Subjektivni testovi 3 i 4 .....	179
5.4. SAŽETAK.....	184
<b>6. PROCENA USPEŠNOSTI KOLOR SJEDINJAVANJA SLIKA .....</b>	<b>185</b>
6.1. GRADIJENTI KAO MERA ZA KOLOR SJEDINJAVANJE .....	185
6.1.1. Mera MChQ za kolor sjedinjavanje .....	186
6.1.2. Mera CQ za kolor sjedinjavanje.....	187
6.2. ANALIZA REZULTATA MERA ZA PROCENU KOLOR SJEDINJAVANJA .....	192
6.3. SAŽETAK.....	198
<b>7. ŠUM U SJEDINJAVANJU VIDEO SIGNALA .....</b>	<b>199</b>
7.1. SJEDINJAVANJE U PRISUSTVU ŠUMA .....	202
7.2. MERENJE UTICAJA ŠUMA NA VIDEO SJEDINJAVANJE.....	208
7.3. ANALIZA REZULTATA .....	210
7.3.1. Procena suzbijanja šuma u sjedinjenoj slici.....	216
7.4. SAŽETAK.....	222
<b>8. ZAKLJUČAK .....</b>	<b>223</b>
<b>LITERATURA.....</b>	<b>226</b>

## SPISAK SLIKA

Slika 1.1. Multisenzorsko sjedinjavanje slika.....	2
Slika 1.2. Sjedinjavanje slika na nivou piksela.....	2
Slika 1.3. Sjedinjavanje slika na nivou odlika.....	3
Slika 1.4. Sjedinjavanje slika na nivou odluka.....	4
Slika 2.1. Dobijanje 3D Gausove piramide iz ulaznih sekvenci [48].	10
Slika 2.2. Dobijanje sjedinjene sekvence pomoću 3D Gausove piramide [48].	11
Slika 2.3. Video signal sekvence MSO1 sa prednje strane (rezolucija 500x380) i bočne strane – primer zadnje kolone sekvence (rezolucije 110x380).	11
Slika 2.4. Dva uzastopna frejma iz MSO1 sekvence.....	12
Slika 2.5. Vektori optičkog toka na sekvenci MSO1.....	13
Slika 2.6. Multisenzorsko sjedinjavanje video signala kompenzacijom pokreta.....	14
Slika 2.7. Kolor mapiranje korišćenjem neuronskih mreža.....	16
Slika 2.8. Ulazna monohromatska a) TV i b) termovizijska slika iz UNCAMP sekvence, c) sjedinjena monohromatska slika Laplasovom piramidom, d) kolor mapiranje, e) i f) kolor mapiranje uz neuronske mreže [79]-[80].	16
Slika 2.9. Kolor sjedinjavanje monohromatskih slika: a) TV slika, b) IR slika, c) monohromatski sjedinjena slika, d) kolor mapiranje u RGB kanalima i e) sjedinjavanje u IHS kolor sistemu.....	17
Slika 2.10. Sjedinjavanje monohromatskih slika UNCAMP sekvence pomoću referentne slike a) TV slika, b) IR slika, c) sjedinjavanje u RGB kolor sistemu, d) referentna kolor slika, e) sjedinjavanje metodom pomoću kanala $\alpha\beta$ i f) sjedinjavanje u HSV kolor sistemu.....	19
Slika 2.11. Sjedinjavanje monohromatskih slika MSO1 sekvence pomoću referentne slike a) TV slika, b) IR slika, c) sjedinjavanje u RGB kolor sistemu, d) referentna kolor slika, e) sjedinjavanje metodom pomoću kanala $\alpha\beta$ i f) sjedinjavanje u HSV kolor sistemu.....	19
Slika 2.12. Sjedinjavanje monohromatskih slika pomoću referentne slike iste scene a) TV slika, b) IR slika, c) slika SWIR kamere, d) referentna kolor slika, e) sjedinjavanje u RGB kolor sistemu, f) sjedinjavanje metodom pomoću kanala $\alpha\beta$ sa kolor slikom iste scene.....	21
Slika 2.13. Slike OCTEC sekvence a) TV i b) termovizijske kamere.....	22
Slika 2.14. Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike OCTEC sekvence HSV kolor transformacijom i Laplasovom piramidom.....	23
Slika 2.15. Sjedinjavanje u cilju detekcije skrivenog oružja a) TV slika, b) IR slika, c) kolor slika sjedinjena DSO metodom, d) monohromatski sjedinjena slika.....	24
Slika 2.16. Sjedinjavanje u cilju detekcije skrivenog oružja a) TV slika, b) IR slika, c) kolor slika sjedinjena DSO metodom.....	24
Slika 2.17. Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike OCTEC sekvence DSO metodom.....	25
Slika 2.18. Detekcije skrivenog oružja a) i d) TV slika, b) i e) IR slika, c) i f) kolor slika sjedinjena DSO metodom.....	25

Slika 2.19. Sjedinjena kolor slika OCTEC sekvence metodom za detekciju skrivenog oružja u RGB kolor sistemu.....	26
Slika 2.20. Razlika dva sukcesivna frejma sekvence a) televizijske slike, b) termovizijske slike i c) slike sjedinjene ROLP piramidom. ....	33
Slika 2.21. Uslovna međusobna informacija tri slike. ....	36
Slika 2.22. Prikaz dendograma sa objektivnim merama za procenu uspešnosti sjedinjavanja. ....	41
Slika 3.1. Formiranje Gausove piramide u jednodimenzionalnom slučaju. ....	46
Slika 3.2. Gausova piramida televizijske slike. ....	47
Slika 3.3. Ekspandovane slike Gausove piramide. ....	48
Slika 3.4. Laplasova piramida televizijske slike. ....	49
Slika 3.5. Postupak generisanja Gaus-Laplasove piramide i rekonstrukcije izvorne slike. ....	49
Slika 3.6. Šema sjedinjavanja dinamičkom Laplasovom piramidom. ....	50
Slika 3.7. NF nivoi Lapsusove piramide za tekući frejm TV i IR sekvence. ....	51
Slika 3.8. Sjedinjavanje NF nivoa dinamičkom Laplasovom piramidom. ....	51
Slika 3.9. Energije NF nivoa Laplasove piramide za tekući frejm TV i IR sekvence. ....	52
Slika 3.10. Težinski koeficijenti za NF nivoe Laplasove piramide za tekući frejm TV i IR sekvence. ....	53
Slika 3.11. Sjedinjena NF slika tekućeg frejma. ....	53
Slika 3.12. Rezultati mere $DQ$ za sjedinjavanje Laplasovom piramidom i dinamičkom Laplasovom piramidom. ....	54
Slika 3.13. Dva sukcesivna frejma sjedinjena dinamičkom Laplasovom piramidom. ....	54
Slika 3.14. Razlika dva sukcesivna frejma sa slike 3.7 i uvećan deo oko vojnika. ....	55
Slika 3.15. Vrednosti mere $DQ$ za različite pragove sličnosti. ....	56
Slika 3.16. Multisenzorski parovi slika iz 6 različitih scenarija. ....	57
Slika 3.17. Rezultati sjedinjavanja metode na bazi slika: prva kolona Laplasova piramida, druga kolona SIDWT i treća kolona LAP DIN. ....	58
Slika 3.18. Ulazna IR slika i sjedinjene slika EDEN sekvence LAP DIN i SIDWT metodom redom. ....	59
Slika 3.19. Razlike sukcesivnih frejmova ulaznih sekvenci. ....	60
Slika 3.20. Razlika sukcesivnih frejmova u metodama za sjedinjavanje: prva kolona Laplasova piramida, druga kolona SIDWT i treća kolona LAP DIN. ....	61
Slika 3.21. Razlika sukcesivnih frejmova OHIO1 sekvence: ulazne slike gornji red i sjedinjene Laplasovom piramidom i LAP DIN metodom donji red. ....	62
Slika 3.22. Izborne odluke piksela po nivoima Laplasove piramide za standardno sjedinjavanje frejm po frejm u levoj koloni i za LAP DIN u desnoj koloni. ....	63
Slika 3.23. Rezultati mere $DQ$ za metode Laplasovog sjedinjavanja, SIDWT I LAP DIN. ....	64
Slika 3.24. Rezultat mere $DQ$ za 50 frejmova sekvence va1. ....	65
Slika 3.25. Rezultati sjedinjavanja za metode LAP DIN, MCDWT i 3D Lap po kolonama. ....	66
Slika 3.26. Sjedinjena slika MSO1 sekvence LAP DIN i MCDWT metodom. ....	67
Slika 3.27. Razlike sukcesivnih frejmova za 3 sekvence za metode sjedinjavanja LAP DIN, MCDWT i 3D Lap po kolonama. ....	67
Slika 3.28. Razlika dva sukcesivna frejma OHIO2 sekvence. ....	68
Slika 3.29. Razlika sukcesivnih frejmova sjedinjene OHIO2 sekvence MCDWT i LAP DIN metodom. ....	68
Slika 3.30. Rezultati mere $DQ$ za dinamičke metode sjedinjavanja. ....	69

Slika 3.31. Rezultati mere $DMI$ za pet metoda sjedinjavanja.....	70
Slika 3.32. Rezultati mere $rSTFe$ za pet metoda sjedinjavanja.....	71
Slika 3.33. Multisenzorski sistem za akviziciju video sekvenci.....	72
Slika 3.34. Korisnički interfejs za akviziciju i sjedinjavanje video sekvenci u realnom vremenu.....	73
Slika 3.35. Baza od osam parova video sekvenci televizijske i IR kamere.....	76
Slika 3.36. Prikaz frejma iz sjedinjenih sekvenci za metode Laplasove piramide, SIDWT, MCDWT i LAP DIN po kolonama.....	77
Slika 3.37. Frejm iz sekvence selo sa metodama sjedinjavanja Laplasovom piramidom, SIDWT, MCDWT i LAP DIN.....	78
Slika 3.38. Uvećani deo frejma sjedinjene sekvence pomoću MCDWT levo i LAP DIN desno.....	79
Slika 3.39. Razlike sukcesivnih frejmova za ulazne TV slike leva kolona i IR slike desna kolona.....	80
Slika 3.40. Poređenje razlike sukcesivnih frejmova za metode Laplasove piramide leva kolona, MCDWT srednja kolona i LAP DIN desna kolona.....	81
Slika 3.41. Frejm iz sekvence 2 sa izdvojenim pikselom.....	82
Slika 3.42. Vrednosti piksela ulaznih i sjedinjene sekvence za tačku 360,100.....	82
Slika 3.43. Rezultati mere $DQ$ za osam sekvenci sjedinjavanja.....	83
Slika 3.44. Rezultati mere $DMI$ na osam sekvenci sa pet metoda sjedinjavanja.....	84
Slika 3.45. Rezultati mere $rSTFe$ na osam sekvenci sa pet metoda sjedinjavanja.....	85
Slika 3.46. Izgled softvera za subjektivne testove.....	87
Slika 3.47. $MOS$ subjektivnih testova za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.....	89
Slika 3.48. Standardne devijacije subjektivnih testova za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.....	89
Slika 3.49. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih testova za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.....	90
Slika 3.50. $MOS$ subjektivnih testova za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.....	91
Slika 3.51. Standardne devijacije subjektivnih testova za metode MCDWT, 3D LAP i LAP DIN.....	92
Slika 3.52. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih testova za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.....	92
Slika 3.53. $MOS$ za bazu od osam video sekvenci za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.....	93
Slika 3.54. Poređenje rezultata subjektivnih i objektivnih testova za bazu od osam video sekvenci za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.....	94
Slika 3.55. $MOS$ subjektivnih testova na bazi od 8 video sekvenci za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.....	94
Slika 3.56. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih testova na bazi od osam video sekvenci za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.....	95
Slika 4.1. Sobel prozori a) vodoravni, b) uspravni.....	99
Slika 4.2. a) Televizijska slika i gradijentne predstave: b) jačina i c) orijentacija.....	100
Slika 4.3. a) IR slika i gradijentne predstave: b) jačina i c) orijentacija.....	100
Slika 4.4. Sigmoidne funkcije a) jačine gradijenata, b) orijentacije gradijenata.....	102
Slika 4.5. Realizacija dinamičke mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika.....	104
Slika 4.6. Vremenski gradijentni operator.....	104
Slika 4.7. Dva uzastopna frejma zašumljene sekvence.....	105

Slika 4.8. Vremenski gradijenti dobijeni a) vremenskim operatorom i b) oduzimanjem dva frejma.....	105
Slika 4.9. Osnovna postavka određivanja subjektivnog značaja.....	107
Slika 4.10. Mape subjektivnog značaja u sceni sa slabim pokretom a) $w_{AS}$ , b) $g_{tA}$ i c) $w_A$ .....	107
Slika 4.11. Mape subjektivnog značaja u sceni sa značajnim pokretom a) $w_{AS}$ , b) $g_{tA}$ i c) $w_A$ .....	108
Slika 4.12. Po jedan frejm iz ulaznih sekvenci baze korišćene za testiranje mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja.....	111
Slika 4.13. Rezultati sjedinjavanja VA1 sekvence sa merama odozgo na dole: SIWT, BSF, ROLP, Lapl, Avg, DWT.....	113
Slika 4.14. Rezultati objektivnih mera $Q$ i $DQ$ za video sekvence za 6 metoda sjedinjavanja.....	114
Slika 4.15. Deo iz video sekvence VA1 kao prikaz artifakata koje unose metode za sjedinjavanje.....	115
Slika 4.16. Rezultati subjektivnih testova za 12 subjekata i mere $DQ$ na 7 video sekvenci i za 6 metoda sjedinjavanja.....	116
Slika 4.17. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih rezultata po setu i sekvenci za $Q$ meru.....	117
Slika 4.18. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih rezultata po setu i sekvenci za $DQ$ meru.....	118
Slika 4.19. Označen piksel na slici iz va1 sekvence uzet za analizu promena intenziteta u ulaznim i sjedinjenim sekvencama.....	118
Slika 4.20. Intenzitet piksela za prvih 50 frejmova ulazne i sjedinjenih VA1 sekvence sa 6 različitih metoda sjedinjavanja.....	119
Slika 4.21. Promena dinamičke mere $DQ$ za procenu uspešnosti sjedinjavanja u prvih 50 frejmova va1 sekvence.....	119
Slika 4.22. Promena statičke mere $Q$ za procenu uspešnosti sjedinjavanja u prvih 50 frejmova va1 sekvence.....	120
Slika 4.23. Rezultati dinamičkih mera na šest različitih metoda sjedinjavanja.....	121
Slika 4.24. Poređenje mere $DQ$ sa subjektivnim testovima.....	124
Slika 4.25. Poređenje mere $DMI$ sa subjektivnim testovima.....	124
Slika 4.26. Poređenje mere $Q_t$ sa subjektivnim testovima.....	125
Slika 4.27. Poređenje mere $rSTFe$ sa subjektivnim testovima.....	125
Slika 4.28. Razlika sukcesivnih frejmova ulaznih sekvenci televizijske i IR kamere i šest metoda sjedinjavanja.....	126
Slika 4.29. Uvećan deo slike 4.26 sa razlikom sukcesivnih frejmova ulaznih sekvenci televizijske i IR kamere sekvence MSO1 i četiri metode sjedinjavanja.....	127
Slika 5.1. Sintetičke ulazne slike i sjedinjavanje monohromatskim i kolor metodama [149].	130
Slika 5.2. Odnos RGB i LMS kolor sistema.....	132
Slika 5.3. Grafička predstava $\alpha\beta$ kolor sistema.....	133
Slika 5.4. Primer $\alpha\beta$ kolor transformacije kolor slike, a) kanal intenziteta $I$ , b) plavi-žuti kanal $\alpha$ i c) crveni-zeleni kanal $\beta$ , d) originalna slika.....	133
Slika 5.5. Ulazne slike sekvence OCTEC a) kolor televizijska slika i b) monohromatska IR slika.....	134

Slika 5.6. Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike, pomoću $\alpha\beta$ kolor transformacije i Laplasove piramide (beta metoda).	136
Slika 5.7. Šema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike.	137
Slika 5.8. Kolor sjedinjavanje uz pojačanje ivica na monohromatskoj slici. a) jačina ivica monohromatske slike prikazane na slici, b) pojačana slika gradijentima c) rezultat sjedinjavanja c) bez isticanja ivica i d) sa isticanjem ivica.	138
Slika 5.9. Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje. a) i b) TV i IR slika OCTEC sekvence, c) IR slika sa dodatim ivicama, d) rezultat sjedinjavanja HSV transformacijom, e) i f), rezultati kolor sjedinjavanja beta metodom.	139
Slika 5.10. Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje. a) i b) TV i IR slika EDEN sekvence, c) beta kanal kolor slike, d) sjedinjeni beta kanal, e) i f) rezultat kolor sjedinjavanja beta metodom i sa dodavanjem ivica monohromatske slike.	141
Slika 5.11. Ulazne i sjedinjene slike sekvence Dublin slikane u različitim uslovima vidljivosti.	142
Slika 5.12. Blok dijagram beta poboljšane metode za kolor sjedinjavanje slika.	143
Slika 5.13. Ulazne slike DUBLIN sekvence u uslovima smanjene vidljivosti.	144
Slika 5.14. Sjedinjena slika DUBLIN sekvence pomoću a) beta poboljšane metode i b) beta metode za sjedinjavanje.	144
Slika 5.15. Sjedinjena kolor slika beta poboljšanom metodom EDEN sekvence.	144
Slika 5.16. Sjedinjena kolor slika beta poboljšanom metodom OCTEC sekvence.	145
Slika 5.17. a) Kolor TV slika i b) monohromatska termovizijska slika VA1 sekvence.	146
Slika 5.18. Sjedinjena kolor slika koristeći intenzitet HSV kolor sistema i Laplasovu piramidu.	146
Slika 5.19. Grafička predstava HSV kolor sistema.	147
Slika 5.20. Sjedinjena kolor slika koristeći HSV kolor sistem i kolor mapiranje.	148
Slika 5.21. Sjedinjena kolor slika iz VA 1 sekvence koristeći HSV kolor metodu.	149
Slika 5.22. Sjedinjena kolor slika iz VA 1 sekvence koristeći HSVKS.	149
Slika 5.23. Ulazne slike MSO1 sekvence.	150
Slika 5.24. Slika dobijena metodom za kolor mapiranje u HSV kolor sistemu.	150
Slika 5.25. Slika dobijena metodom HSVKM.	151
Slika 5.26. Izdvojen deo MSO1 slike sjedinjen metodom HSVKM.	152
Slika 5.27. Slike televizijske i termovizijske kamere iz sekvence UNCAMP prvi red i sjedinjena slika Laplasovom piramidom u drugom redu.	152
Slika 5.28. Kolor mapirana slika u RGB kolor kanalima.	153
Slika 5.29. Sjedinjena slika predloženim HSVKM algoritmom.	153
Slika 5.30. Ručni multisenzorski sistemi.	154
Slika 5.31. Multisenzorski sistemi za osmatranje na većim daljinama.	154
Slika 5.32. Slika merne kolor termovizijske kamere.	155
Slika 5.33. Slika kolor termovizijske kamere.	155
Slika 5.34. Baza 1 za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika.	156
Slika 5.35. Sjedinjene slike iz baze 1 metodama HSV sjedinjavanje, beta sjedinjavanje i beta poboljšana metoda za sjedinjavanje po kolonama respektivno.	158
Slika 5.36. Rezultati mere $Q$ za očuvanje monohromatskih informacija.	159
Slika 5.37. Rezultati mere $Q$ za očuvanje informacija u kanalu intenziteta.	159
Slika 5.38. Rezultat mere $MChQ$ za kolor metode HSV, Beta i Beta poboljšano sjedinjavanje.	160

Slika 5.39. Očuvanje gradijenata kroz pojedine kolor kanale RGB za HSV metodu sjedinjavanja. ....	161
Slika 5.40. Očuvanje gradijenata kroz pojedine kolor kanale RGB za beta metodu sjedinjavanja. ....	162
Slika 5.41. Očuvanje gradijenata kroz pojedine kolor kanale RGB za beta poboljšanu metodu sjedinjavanja. ....	162
Slika 5.42. Rezultati mere $CQ$ za očuvanje kolor informacija. ....	163
Slika 5.43. Rezultat mere $CQ$ za kolor metode HSV, Beta i Beta poboljšano sjedinjavanje. ....	163
Slika 5.44. Slike iz baze VTI bliske scene. ....	164
Slika 5.45. Slike iz baze VTI srednje udaljenosti. ....	165
Slika 5.46. Slike iz baze VTI daleke scene. ....	166
Slika 5.47. Sjedinjene slike bliske scene iz baze VTI – prvi red HSV metoda, drugi red beta metoda i treći red beta poboljšana metoda. ....	167
Slika 5.48. Sjedinjene slike srednje scene iz baze VTI – prva kolona HSV metoda, druga kolona beta metoda i treća kolona beta poboljšana metoda. ....	168
Slika 5.49. Sjedinjene slike daleke scene iz baze VTI – prva kolona HSV metoda, druga kolona beta metoda i treća kolona beta poboljšana metoda. ....	169
Slika 5.50. Uvećan deo iz sekvence avion iz baze VTI – HSV metoda, beta metoda i beta poboljšana metoda redom. ....	169
Slika 5.51. Rezultati monohromatske mere $Q$ na kanalu intenziteta i monohromatskom sjedinjavanju. ....	170
Slika 5.52. Rezultati mere $MChQ$ na bazi VTI po sekvencama. ....	170
Slika 5.53. Očuvanje gradijenata mere $MChQ$ kroz pojedine kolor kanale RGB za HSV, beta i beta poboljšanu metodu sjedinjavanja. ....	171
Slika 5.54. Kolor očuvanje informacija po meri $CQ$ za kolor metode sjedinjavanja na bazi VTI. ....	172
Slika 5.55. Zbirna mera $CQ$ za kolor metode sjedinjavanja na bazi VTI. ....	172
Slika 5.56. $MOS$ subjektivnih testova na bazi 1 po sekvencama. ....	173
Slika 5.57. Rezultati mera $CQ$ , $MChQ$ i subjektivnih testova na bazi 1. ....	174
Slika 5.58. Prikaz a) rezultata subjektivnih i objektivne mere $MChQ$ sa b) standardnim devijacijama po sekvencama za bazu 1. ....	175
Slika 5.59. Prikaz rezultata a) subjektivnih i objektivne mere $CQ$ i b) sa standardnim devijacijama po sekvencama za bazu 1. ....	176
Slika 5.60. $MOS$ subjektivnog testa 2 na bazi VTI po sekvencama. ....	177
Slika 5.61. Rezultati mera $CQ$ , $MChQ$ i subjektivnih testova 2 na bazi VTI. ....	178
Slika 5.62. Usporedne analiza subjektivnih testova 2 i objektivne mere $MChQ$ za bazu VTI. ....	179
Slika 5.63. Usporedne analiza subjektivnih testova 2 i objektivne mere $CQ$ za bazu VTI. ....	179
Slika 5.64. $MOS$ po sekvencama za subjektivni test 3. ....	180
Slika 5.65. EDEN sekvenca sa sjedinjavanjem HSV, beta i beta poboljšanom metodom. ....	181
Slika 5.66. $MOS$ za subjektivni test 3. ....	182
Slika 5.67. $MOS$ po sekvencama za subjektivni test 4. ....	182
Slika 5.68. Ulazna i sjedinjena slika beta poboljšanom metodom va1 sekvence. ....	183
Slika 5.69. Ulazna i sjedinjena slika beta poboljšanom metodom sekvence "uprava". ....	183
Slika 5.70. $MOS$ za subjektivni test 4. ....	183
Slika 6.1. Dijagram mere $MChQ$ za procenu uspešnosti kolor sjedinjavanja. ....	186



Slika 6.2. Dijagram mere $CQ$ za kolor sjedinjavanje. ....	187
Slika 6.3. Vizuelna predstava kanala HSV kolor sistema.....	188
Slika 6.4. Ilustracija polarnih koordinata.....	189
Slika 6.5. Sigmoidna funkcija sa parametrima $[k_c, \sigma_c]=[15, 0.7]$ .....	190
Slika 6.6. Prikaz sjedinjavanja sa promenom u boji.....	191
Slika 6.7. Baza za poređenje mera za procenu kolor sjedinjavanja.....	193
Slika 6.8. Sjedinjene slike iz kolor baze metodama HSV, beta i aritm. ....	194
Slika 6.9. Grafički prikaz rezultata mera za procenu kolor sjedinjavanja.....	195
Slika 6.10. Rezultati subjektivnih testova za kolor sjedinjavanje slika.....	196
Slika 6.11. Poređenje subjektivnih testova i $CQ$ mere.....	197
Slika 6.12. Poređenje subjektivnih testova i $CIFM$ mere.....	197
Slika 6.13. Poređenje subjektivnih testova i $Q_{CF}$ mere.....	198
Slika 7.1. Primer zašumljenih slika TV kamere iz TREES sekvence i IR kamere DUBLIN sekvence.....	199
Slika 7.2. Signali aditivnog šuma dodati na sliku sa konstantnom vrednošću intenziteta piksela 128 sa srednjom vrednošću 0 i standardnim varijansama od 0.1 i 10.....	200
Slika 7.3. Ulazna termovizijska slika iz va1 video sekvence i $SNR$ vrednosti od 30, 20, 10, 6 i 1dB respektivno.....	201
Slika 7.4. Ulazna termovizijska slika iz Parking video sekvence i $SNR$ vrednosti od 30, 20, 10, 6 i 1dB respektivno.....	202
Slika 7.5. Sjedinjene slike va1 sekvence sa metodama za prigušenje šuma.....	205
Slika 7.6. Sjedinjene slike parking sekvence sa metodama za prigušenje šuma.....	206
Slika 7.7. Primeri praga za smanjenje efekta šuma.....	207
Slika 7.8. Prikaz procesa sjedinjavanja piramidom sa mekim pragovanjem.....	207
Slika 7.9. Merenje efekta šuma u sjedinjavanju video signala.....	209
Slika 7.10. Sjedinjena slika va1 sekvence uz prisustvo šuma na termovizijskoj slici sa $SNR=3$ metodama DTCWT, DWT, aritmetičko sjedinjavanje i sjedinjavanje Laplasovom piramidom respektivno.....	211
Slika 7.11. Rezultati mere $N-DQ^{AB/FSNR}$ za četiri metode sjedinjavanja sa različitim nivoima $SNR$ termovizijske video sekvence.....	211
Slika 7.12. Rezultati mera za dobitak i robustnost na bazi 1.....	212
Slika 7.13. Rezultati mere $N-DQ^{AB/FSNR}$ za četiri metode sjedinjavanja sa različitim nivoima $SNR$ termovizijske video sekvence na bazi VTI.....	213
Slika 7.14. Rezultati mere $N-DQ^{AB/FSNR}$ za DTCWT metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima $SNR$ termovizijske video sekvence na bazi VTI.....	213
Slika 7.15. Rezultati mere $N-DQ^{AB/FSNR}$ za DWT metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima $SNR$ termovizijske video sekvence na bazi VTI.....	214
Slika 7.16. Rezultati mere $N-DQ^{AB/FSNR}$ za AS metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima $SNR$ termovizijske video sekvence na bazi VTI.....	214
Slika 7.17. Rezultati mere $N-DQ^{AB/FSNR}$ za Laplasovu metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima $SNR$ termovizijske video sekvence na bazi VTI.....	215
Slika 7.18. Rezultat mere za dobitak bazi VTI.....	215
Slika 7.19. Rezultat mere za robustnost bazi VTI.....	216
Slika 7.21. Rezultat mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja za primenu smanjenja šuma pre i posle sjedinjavanja.....	217
Slika 7.22. Rezultat mere za procenu dobitka za primenu smanjenja šuma pre i posle sjedinjavanja.....	217

Slika 7.23. Rezultat mere za procenu robusnosti za primenu smanjenja šuma pre i posle sjedinjavanja. ....	217
Slika 7.23. Efekat primene VBM3D metode za smanjenje šuma pre i posle sjedinjavanja. ....	218
Slika 7.24. Sjedinjavanje slika metodom DTCWT sa tehnikama tvrdog i mekog pragovanja za prigušenje efekta šuma. ....	219
Slika 7.25. Rezultat sjedinjavanja slika metodom DTCWT sa tehnikama a) tvrdog i b) mekog pragovanja za prigušenje efekta šuma. ....	220
Slika 7.26. Rezultati poređenja dinamičke Laplasove piramide sa standardnim metodama na zašumljenim video sekvencama a) baza 1 i b) baza VTI. ....	221

## SPISAK TABELA

Tabela 2.1. Poređenje rezultata objektivnih mera za sjedinjavanje slika. ....	40
Tabela 3.1. Rezultati mere $DQ$ po sekvencama za metode LAP, SIDWT I LAP DIN. ....	64
Tabela 3.2. Rezultati mere $DQ$ za dinačke metode sjedinjavanja MCDWT, LAP 3D i LAP DIN. ....	70
Tabela 3.3. Tabelarni prikaz sadržaja sekvenci u bazi VTI. ....	74
Tabela 3.4. Tabelarni prikaz rezultata mere $DQ$ za osam sekvenci sjedinjavanja po metodama. ....	83
Tabela 3.5. Računarska kompleksnost metoda sjedinjavanja u odnosu na sjedinjavanje Laplasovom piramidom. ....	86
Tabela 3.6. Rezultati subjektivnih testova za subjekte i metode. ....	88
Tabela 3.7. Rezultati subjektivnih testova za subjekte i metode na bazi VTI. ....	90
Tabela 4.1. Karakteristike sekvenci korišćenih za poređenje dinamičkih mera. ....	112
Tabela 4.2. Rezultati $LCC$ i $SROCC$ metoda za uparivanje subjektivnih i objektivnih rezultata testiranja. ....	117
Tabela 4.3. Rezultati dinamičkih mera i subjektivnih testova na šest različitih metoda sjedinjavanja. ....	121
Tabela 4.4. Poređenje rezultata dinamičkih mera prema rangu. ....	122
Tabela 4.5. Poređenje rezultata dinamičkih mera prema Kendal rangu. ....	122
Tabela 4.6. Poređenje rezultata dinamičkih mera prema rangu sa subjektivnih skorovima. .....	123
Tabela 4.7. Rezultati usaglašenosti subjektivnih i objektivnih testova prema $LCC$ i $SROCC$ proračunima. ....	123
Tabela 5.1. Rezultati subjektivnih testova 1 po sekvencama. ....	174
Tabela 5.2. Rezultati parametara $SROCC$ i $LCC$ za subjektivni test 2 i objektivne mere $MChQ$ i $CQ$ . ....	179
Tabela 6.1. Rezultati mera za procenu kolor sjedinjavanja. ....	194
Tabela 6.2. Rezultati subjektivnih testova po sekvencama za procenu kolor objektivnih mera. ....	196
Tabela 6.3. Rezultati mera $CQ$ , $CIFM$ i $Q_{CF}$ u poređenju sa subjektivnim testovima. ....	198
Tabela 7.1. Vremenska zahtevnost algoritama za sjedinjavanje uz prisustvo šuma. ....	220

# SPISAK SKRAĆENICA

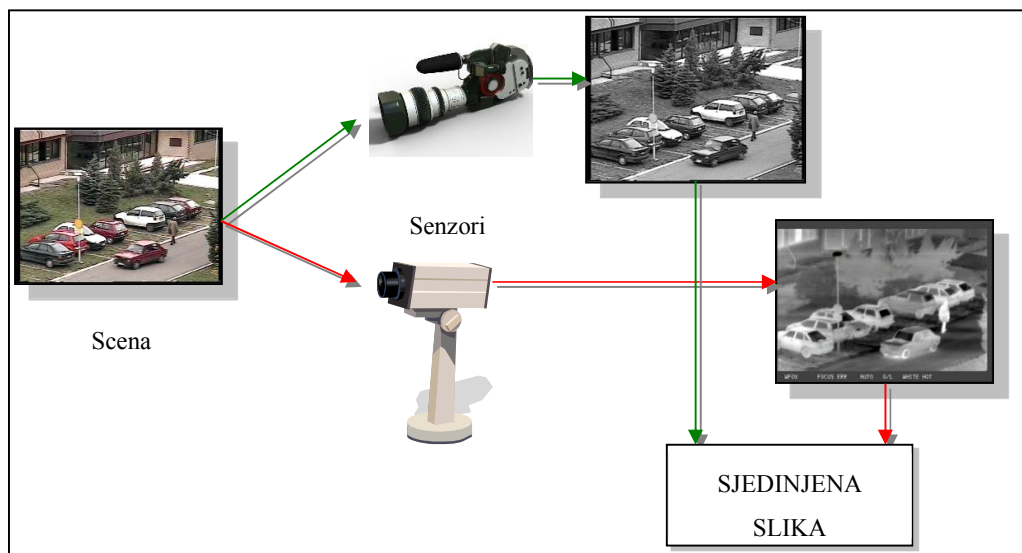
IR	Infracrveno (infrared)
TV	Televizija
DWT	Diskretna vejevlet transformacija (Discrete Wavelet Transformation)
PCA	Analiza glavnih komponenti (Principal Component Analysis)
ICA	Nezavisna analiza komponenti (Independent Component Analysis)
NMF	Nenegativna faktorizacija matrice (Non-negative Matrix Factorization)
DTCWT	Kompleksni vejevleti sa dva stabla (Dual Tree Complex Wavelet Transform)
3D	Trodimenzionalni
2D	Dvodimenzionalni
MCWT	Vejevlet transformacija sa kompenzacijom pokreta (Motion-Compensated Wavelet Transform)
RGB	Red Green Blue
HSV	Hue Saturation Value
MS	Multispektralni
MR	Multirezolucioni
IHS	Intensity Hue Saturation
VF	Visokofrekventni
DSO	Detekcija skrivenog Oružja
MI	Zajedničke informacije (Mutual Information)
SSIM	Indeksu strukturne sličnosti mera (Structural Similarity Index Measure)
UIQI	Univerzalni indeks kvaliteta slike (Universal Image Quality Index)
IFD	Razlike između frejmova (Inter-Frame-Differences)
IFPM	Mera za procenu sjedinjavanja slika (Image Fusion Performance Measure)
CI	Zajedničke informacije (Common Information)
HD	Raspodela nijansi (Hue Distribution)
LCC	Linearni korelacioni koeficijent (Linear Correlation Coefficient)
SROCC	Spearman korelacioni koeficijent ranga (Spearman Rank-Order Correlation Coefficient)
NF	Niskofrekventni
SIDWT	Shift Invariant Discrete Wavelet Transform
ROLP	Ratio of Low Pass
DVR	Dvoveličinsko Razlaganje
AS	Aritmetičko Sjedinjavanje
MOS	Srednja vrednost rezultata (Mean Opinion Score)
HSVKS	HSV Kolor Sjedinjavanje
HSVKM	HSV Kolor Mapiranje
SNR	Odnos signal šum (Signal to Noise Ratio)
POE	Napajanje preko eterneta (Power over ethernet)
VTI	Vojnotehnički institut

# 1. UVOD

Osnovna ideja osmatranja spregom više senzora je eliminacija efekata njihovih pojedinih nedostataka što obezbeđuje uspešno funkcionisanje sistema u svim uslovima. Primenom više senzora zasnovanih na merenju različitih fizičkih fenomena, kao na primer toplotnog zračenja (IR senzori) i refleksije svetlosti (TV kamere u vidnom opsegu), dobija se više realnih informacija o objektima koje posmatramo [1].

Multisenzorski sistemi koji koriste termovizijsku i televizijsku kameru daju informacije dobijene iz objekata koji zrače toplotnom energijom i refleksijom svetlosti. Termovizijska slika otkriva ciljeve koji imaju veći temperaturni kontrast i isto tako kamuflirane objekte [2]. Sa druge strane televizijska slika daje više visokofrekventnih informacija iz pozadine, koja je ključna u preciznom određivanju lokacije cilja i okoline. Termovizijska i televizijska slika mogu da daju informacije koje nisu zajedničke za obe jer temperaturna refleksija objekata nije ista kao i refleksija svetlosti. Na ovaj način daju potpunije i pouzdanije informacije od sistema koji koriste samo jedan ili više senzora istog tipa. Proširivanje senzorskog polja novim instrumentima mnogostruko povećava fizičku količinu podataka koje sistem treba da obradi. Sa druge strane, iako se u sistem unose potpunije informacije o željenom cilju, to ne znači da su 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 [3].

Sjedinjavanje slika dobijenih sa više senzora prevazilazi ograničenja pojedinačnih senzora, kombinujući izvorne slike u kompozitnu sliku [4]. Na slici 1.1 prikazan je sistem za multisenzorsko sjedinjavanje slika. Televizijskoj kameri pridodata je termovizijska kamera i slike sa oba senzora se kombinuju u jednu sliku. Dok je televizijska kamera pogodna za rad u dnevnim uslovima, termovizijska kamera se koristi u uslovima slabe osvetljenosti scene.

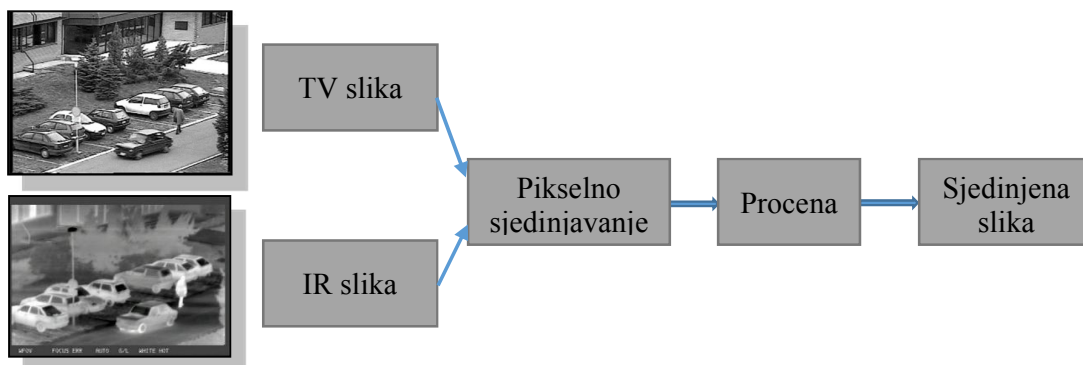


Slika 1.1. Multisenzorsko sjedinjavanje slika.

Metode za sjedinjavanje slike i video signala mogu se klasifikovati na bazi nivoa obrade u kome se vrši sjedinjavanje. Postoje tri osnovna nivoa sjedinjavanja po mestu u kojem se izvršava [5] i to:

- Sjedinjavanje na nivou piksela,
- Sjedinjavanje na nivou odlika i
- Sjedinjavanje na nivou odluka.

Sjedinjavanje slika na nivou piksela predstavlja najniži nivo sjedinjavanja i predstavlja spajanje fizičkih parametara ulaznih slika (slika 1.2). Sjedinjavanje slika na nivou piksela je u odnosu na ostala dva nivo sjedinjavanja najviše do sada istraživano u literaturi. Slika ilustruje blok šemu sjedinjavanja na nivou piksela.



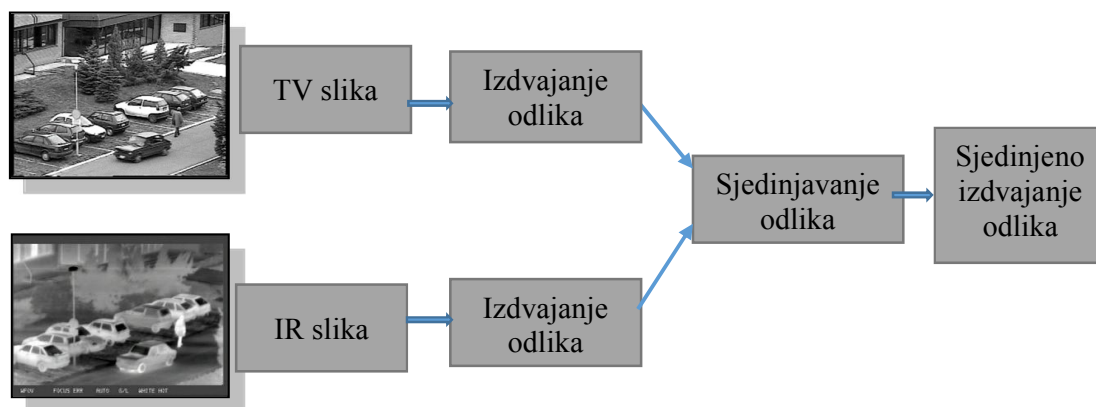
Slika 1.2. Sjedinjavanje slika na nivou piksela.

Obe ulazne slike se prvo usaglašavaju (registruju) tako da su svi pikseli poklopljeni, a zatim se vrši primena algoritma sjedinjavanja kroz piksele ulaznih slika. Neki od osnovnih zahteva pikselnog sjedinjavanja slika su:

- da proces sjedinjavanja sačuva sve relevantne informacije iz ulaznih slika,
- da proces ne unosi pojave koje ne postoje u ulaznim slikama i
- da je proces sjedinjavanja invarijantan na pomeraje i rotacije, tj. da sjedinjavanje nije zavisno od lokacije i orijentacije objekata na ulaznim slikama.

Najčešće korišćene metode koje za sjedinjavanje slika na nivou piksela su jednostavno aritmetičko sjedinjavanje [6], diskretna vejevlet transformacija (DWT) [7], piramidalni algoritmi [8,9], analiza glavne komponente [10] i ostale.

Sjedinjavanje na nivou odlika je sledeći nivo sjedinjavanja i zahteva izdvajanje objekata (odlika) iz ulaznih slika. Odlike se zatim sjedinjuju po njihovoj sličnosti po algoritmima u sjedinjenu sliku. Šema sjedinjavanja na nivou odlika prikazana je na slici 1.3. Osnovne metode sjedinjavanja slika na nivou odlika su metoda izdvajanja ivica [11] i sjedinjavanje neuralnim mrežama [12].

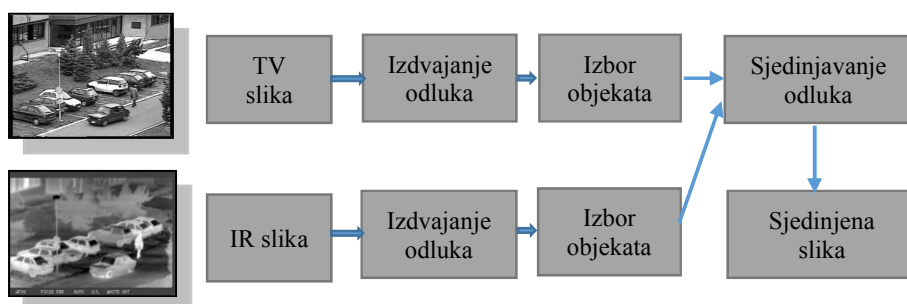


**Slika 1.3. Sjedinjavanje slika na nivou odlika.**

Sjedinjavanje slika na nivou odluka je najviši nivo sjedinjavanja i sastoji se iz izdvajanja objekata iz ulaznih slika, određivanja njihovog značaja na osnovu mera kvaliteta i na kraju primene izborne odluke u cilju dobijanja sjedinjene slike (slika 1.4).

Problem kod ovakve vrste sjedinjavanja predstavlja ako objekat nije prepoznat u svim ulaznim slikama, takođe i ukoliko postoji greška u prepoznavanju objekta sa jednog senzora,

može se preneti na sjedinjenu sliku. Najpoznatije metode sjedinjavanja slika na nivou odluka su Fuzzy logika [13,14] i sjedinjavanje Bayesian mrežama [15].



**Slika 1.4. Sjedinjavanje slika na nivou odluka.**

Cilj teze baziran je na istraživanju i razvoju robusnih, računski efikasnih, metoda za sjedinjavanje slika, video sekvenci i objektivnih mera (algoritama) za automatsku procenu uspešnosti sjedinjavanja slika i video sekvenci. Razvijeni algoritmi treba da daju bolje rezultate nego postojeći a da pri tome budu pogodni za rad u realnom vremenu. Pri istraživanju uzet je u obzir i šum koji se javlja u realnom sistemu i biće predloženi načini za njegovo prigušenje u samom procesu sjedinjavanja.

Istraživanje je obuhvatilo i sprovođenje subjektivnih testova za procenu uspešnosti sjedinjavanja, kako bi se izvršilo podešavanje parametara metoda za sjedinjavanje i mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Kao glavni cilj je istraživanje metoda za primenu u realnim multisenzorskim sistemima koji kao senzore koriste televizijsku i termalnu kameru i pri tome da rade u realnom vremenu sa minimum 25 frejmova u sekundi slike veličine od 640x480 piksela.

Teza je bazirana na sledećim poglavljima. Posle uvoda u prvom delu teze, u drugom delu dat je pregled literature koja je povezana sa predmetom teze. Opisani su dosadašnji rezultati iz oblasti sjedinjavanja slika i videa i mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Treći deo teze predstavlja istraživanje vezano za sjedinjavanje video signala u kome je prikazan novi pristup sjedinjavanja video sekvenci. Predloženi algoritam poređen je sa dosadašnjim algoritmima pomoću subjektivnih i objektivnih testova. U četvrtom delu date su metode za procenu uspešnosti sjedinjavanja monohromatskih video sekvenci. Prva metoda zasnovana je na dinamičkom očuvanju gradijenata  $DQ$ , dok druga metoda uzima prostorno vremenske frekvencije kao meru uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci  $rSTFe$ . Poređeni su rezultati sa postojećim merama, kao i sa subjektivnim testovima koji su najmerodavniji za procenu



uspešnosti sjedinjavanja. Peti deo teze predstavlja metode za kolor sjedinjavanje slika. U ovom delu dati su novi pristupi sjedinjavanja kolor i monohromatske slike u kolor sliku, kao i sjedinjavanje monohromatskih slika u kolor sliku. Šesti deo teze opisuje nove pristupe za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor i monohromatske slike u kolor sliku. Metode uzimaju u obzir proračun očuvanja boje u sjedinjenoj slici i gradijentnih informacija prenetih iz ulaznih u sjedinjenu sliku. Sedmi deo teze se odnosi na uticaj šuma na sjedinjavanje multisenzorskih slika. Dati su načini za merenje efekta šuma na proces sjedinjavanja, kao i načini za suzbijanje efekta šuma u sjedinjenoj slici. Nakon toga u osmom delu dat je zaključak sa predlogom daljeg istraživanja.

## 2. PREGLED LITERATURE

### 2.1. Sjedinjavanje signala slike

Predmet ove disertacije su metode zasnovane na sjedinjavanju slika na nivou piksela. U literaturi postoji više metoda sjedinjavanja slika i videa ali je česta podjela na sedam kategorija [16] prema sledećem: multiveličinske metode (engl. "Multiscale"), metode sa proređenom reprezentacijom (engl. "sparse representation"), metode sa neuronskim mrežama, podprostorne metode (engl. "subspace"), metode sa prepoznatljivošću (engl. "saliency"), hibridne metode i ostale metode.

Multiveličinske metode su najzastupljenije metode u sjedinjavanju slika i zasnovane su na sjedinjavanju slika rastavljenih na više nivoa. Veći broj studija predstavlja ovaj način sjedinjavanja kao veoma efektan i najpribližniji ljudskom vizuelnom sistemu. Postoji više koncepta razlaganja slika na multiveličinske predstave gde prednjače metode sa piramidalnom transformacijom [8,17,18], diskretnom vejtlet transformacijom (DWT) [7,19], konturna transformacija bez pododbiranja (engl. "nonsampled contourlet") [20] i sa filterima sa očuvanjem ivica [21,22].

Transformacija slike Laplasovom piramidom predstavljeno je pre skoro 30 godina ali i dalje su veći broj metoda zasnovane na ovoj tehnici. Pored širokorastranjenih metoda sjedinjavanja pomoću Laplasove piramide [8] tu je još i kontrast piramida [9]. Dobijanje Laplasove piramide od slike sastoji se od nekoliko koraka: niskofrekventno filtriranje, odbiranje sa korakom 2 i oduzimanje nivoa piramide. Kontrast piramida se dobija na sličan način uz razliku što se umesto oduzimanja nivoa vrši deljenje. Vejtlet predstava slike je takođe rasprostranjena ne samo u sjedinjavanju slika već i u mnogim drugim oblastima obrade slike [19]. Vejtleti vrše dekompoziciju slike na podnivoje koji sadrže viskofrekventne

i niskofrekventne delove slike. Za razliku od Laplasove piramide, kod vejevlet transformacije koeficijenti su nekorelisani [16]. Pored "osnovne" vejevlet transformacije slike, izvedene su i druge predstave za sjedinjavanje slika kao što je diskretna vejevlet transformacija sa dva stabla [23], multivejevlet transformacija [24], vejevlet transformacija sa kompenzacijom pokreta [25] i ostale. Konturna transformacija bez pododbiranja razvijena je na osnovi Laplasove piramide uz korišćenje filtera koji su karakteristični za vejevlet transformaciju. Osnovna ideja razvoja transformacije bio je da se eliminišu slabosti vejevlet transformacija koja se odnosi na slabo razlaganje signala u više pravaca. Filteri sa očuvanjem ivica primenjeni su u sjedinjavanju slika kao efikasne metode u vidu razlaganja signala slike na niskofrekventni nivo i jedan ili više nivoa sa višim frekvencijama. Pogodni su za korišćenje u slučajevima kada je jedna ili obe ulazne slike sadrže šum. Najčešće korišćeni filteri su medijan, bilateralni, anizotropna difuzija, hibridni filteri i ostali [16]. Pored pomenutih grupa multivejevlet metoda, postoji i veći broj metoda za sjedinjavanje koje se ne mogu svrstati u nijednu od grupa ali su često korišćene. U navedenim metodama prednjače diskretna kosinusna transformacija [26], "curvelet" transformacija [27], "shearlet" transformacija [28], ridgelet [29] i druge.

Princip sjedinjavanja je sličan kod multivejevlet metoda. Najpre se slika razloži u multivejevlet predstavu, nakon čega se vrši sjedinjavanje svakog piksela na istim nivoima obe ulazne slike. Najčešće korišćene šeme sjedinjavanja su izbor apsolutne maksimalne vrednosti piksela i sjedinjavanje sa težinskim koeficijentima. Kod nekih metoda sjedinjavanja se vrši i kombinovanje šema izbora. Na kraju se vrši rekonstrukcija iz multivejevlet predstave u sjedinjenu sliku pomoću inverznih transformacija.

Metode sa proređenom reprezentacijom dele signal slike na određeni broj preklapajućih delova pomoću prozora [30]. Zatim se koriste "naučeni rečnici" (engl. Learning dictionary) koji koduju svaki od delova slike. Na ovaj način se dobijaju koeficijenti za svaki referentni prozor u slici koji se sjedinjuje preko određenog pravila, koje je slično kao i kod multivejevlet metoda. U zadnjem koraku se vrši rekonstrukcija sjedinjenih delova. Prednost ovih metoda je što nema nestabilnosti koje prouzrokuju multivejevlet metode zbog decimacije ali je generalan problem računarska zahtevnost.

Metode sa neuronskim mrežama su našle primenu u mnogim aplikacijama, te i u sjedinjavanju slika [31-33]. Neuronske mreže sastoje se od neurona i imitiraju ponašanje

ljudskog mozga. Sjedinjavanje metodama neuronskih mreža najčešće se vrši u kombinaciji sa multiveličinskom transformacijom. Slika se transformiše u podopsege – niskofrekventni i visokofrekventni. Zatim se vrši neka od strategija neuronskim mreža za dobijanje sjedinjenih podopsega i na kraju se inverznom transformacijom dobija sjedinjena slika.

Podprostorne metode projektuju višedimenzionalne signale slika u nižedimenzionalne [34]. Na ovaj način smanjuje se računarska zahtevnost i vreme obrade slike. Vodeće podprostorne metode su analiza glavnih komponenti (PCA engl. Principal component analysis) [35, 36], nezavisna analiza komponenti (ICA, engl. Independent component analysis) [37,38] i nenegativna faktorizacija matrice (NMF engl. Non-negative matrix factorization) [39].

Metode sa prepoznatljivošću zasnovane su na činjenici da je pažnja ljudskog vizuelnog sistema na objektima ili pikselima koji su izraženiji nego njihova okolina [40]. U najvećem broju metoda ove kategorije vrši se izdvajanje nivoa koji sadrže detalje koji se sjedinjuju pravilima sjedinjavanja. Primena metoda zasnovanih na prepoznatljivošću je u aplikacijama za osmatranje, detekciju ciljeva i prepoznavanje.

Svaka od navedenih grupa metoda ima svoje prednosti i nedostatke. Kombinovanjem metoda sjedinjavanja postiže se poboljšanje u kvalitetu sjedinjavanja. Najčešće se kombinuju multiveličinske metode sa ostalim metodama u tzv. hibridne multiveličinske metode [16]. Cilj hibridnih multiveličinskih metoda je da se zadrži njihova prirodnost i mala računarska zahtevnost u smanjenje artifakata koje metode prouzrokuju.

### **2.2. Sjedinjavanje video signala**

Obrada video signala postala je u poslednjem periodu veoma zastupljena u mnogim oblastima. Samim tim algoritmi za video sjedinjavanje i procenu uspešnosti sjedinjavanja su u razvoju i teži se što većoj računarskoj efikasnosti uz zadržavanje ili poboljšanje karakteristika sjedinjenog videa [41]. Zahtevi za video sjedinjavanje ili kako se još u literaturi naziva dinamičko sjedinjavanja slika slični su kao i kod sjedinjavanja statičkih slika. Potrebno je zadržati što je više moguće korisnih informacija iz ulaznih videa, a da se pri tom izbegne pojava izobličenja u sjedinjenoj video sekvenci. Pored navedenog bitan zahtev u video sjedinjavanju je da sjedinjena video sekvenca bude vremenski stabilna i u konzistenciji sa ulaznim video sekvencama [42]. To podrazumeva da u sjedinjenoj video

sekvenci nema novih informacija koje nisu sadržane u ulaznim sekvencama, što se ogleda u treperenju pojedinih piksela. Što se tiče računarske zahtevnosti, od algoritama se najčešće zahteva da rade u realnom vremenu, što znači da je potrebno sjediniti 25 i više frejmova u jednoj sekundi [41].

Algoritmi za video sjedinjavanje mogu se klasifikovati u tri osnovne kategorije [43]. Prvu kategoriju čine algoritmi za statičke slike, koji su razvijani u zadnjih 30 godina, i sjedinjavanje se vrši kadar po kadar i na taj način formiraju sjedinjenu video sekvencu. Već pomenuti najpoznatiji i najkorišćeniji algoritmi su sjedinjavanje Laplasovom piramidom [8] i diskretnom vejevlet transformacijom [7,19]. Pored ovih algoritama novije multiveličinske tehnike su takođe korišćene u aplikacijama kao što su krivinsko sjedinjavanje (curvelets) [27], grebensko sjedinjavanje (ridgelets) [29], konturno sjedinjavanje (contourlets) [28] ili sjedinjavanje kompleksnim vejevletima sa dva stabla (DTCWT- dual tree complex wavelet transform) [23,44]. Sjedinjavanje video sekvenci algoritmima za statičke slike dobija se manja računarska zahtevnost, ali oni ne uzimaju vremensku komponentu u obzir i na taj način u većini slučajeva dolazi do izobličenja u vidu treperenja koja smetaju posmatračima.

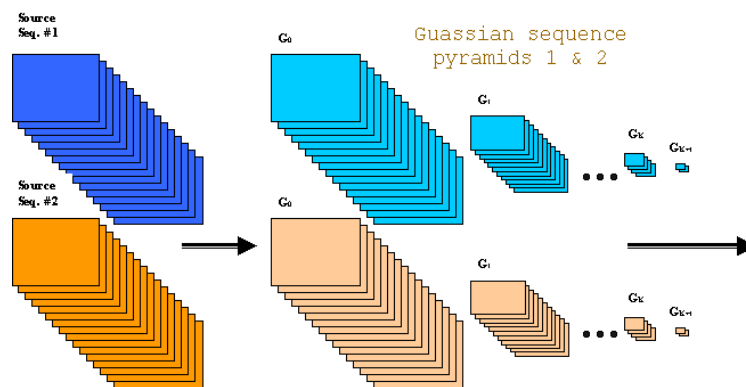
Druga kategorija algoritama za video sjedinjavanje pored prostorne komponente uzima i vremensku komponentu. Najčešće video sjedinjavanje koristi neku od metoda za mirne slike ili modifikovanu metodu za sjedinjavanje mirnih slika, uz proračun vremenskih faktora kao što je optički tok [45,46], detekcija pokreta ili kompenzacija pokreta [25]. Ovi algoritmi porede promene piksela ili bloka piksela kroz frejmove i na taj način određuju izborne odluke za sjedinjeni piksel u sekvenci. Rezultati dobijeni metodama za "pravo" video sjedinjavanje su bolji od sjedinjavanja mirnih slika, ali se ove metode u zavisnosti od izbornih odluka mogu dovesti u pitanje rad u realnom vremenu zbog kompleksnosti algoritama. Od algoritama su najpoznatiji sjedinjavanje koristeći optički tok [46], sjedinjavanje diskretnom vejevlet transformacijom uz kompenzaciju pokreta [25].

Još jedna grupa algoritama za sjedinjavanje u realnom vremenu zasnovana je na izdvajanju informacija pokreta od statičnih informacija i njihovo odvojeno sjedinjavanje. Algoritam [47] periodično proračunava pozadinu za određeni vremenski period  $T$  ( $T=4s$ ) uzimajući vrednost koja se najviše pojavljivala za svaki piksel. Obnavljanje slike pozadine vrši se na svakih  $T/4$ . Na taj način se vrši i sjedinjavanje slike pozadine na  $T/4$  vremenskom periodu,

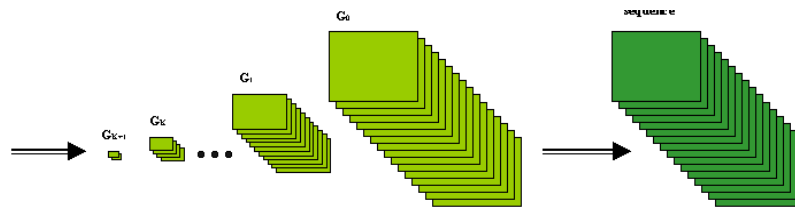
dok se sjedinjavanje objekata koji se kreću vrši svaki frejm. Tehnika sjedinjavanja je pouzdana Laplasova piramida [8].

Treća grupa algoritama za video sjedinjavanje su takozvani 3D algoritmi [48-50]. Ovi algoritmi predstavljaju produženje standardnih algoritama za sjedinjavanje mirnih slika u 3D prostor. Ono što je najbitnije za ove algoritme je da se ne mogu koristiti u aplikacijama koje zahtevaju rad u realnom vremenu, iako postižu bolje rezultate od dosada navedenih metoda. Pored toga treba se uzeti u obzir da video signal nije prosta 3D ekstenzija 2D statičkih slika, već da je potrebno pažljivo razmatrati informacije koje predstavljaju pokret na sceni. Računarska zavisnost i opterećenje memorije je u velikoj meri iznad algoritama koji spadaju u prethodne dve grupe.

Za pristup sjedinjavanja sekvenci 3D Laplasovom piramidom [48], filtriranje za dobijanje Gausove piramide se vrši u sve tri dimenzije sa 1x5 1D Gausovim filtrom sa vrednostima filtra  $[1\ 4\ 6\ 4\ 1]/16$ . Uslov za dobijanje Gausove piramide je da dužina sekvence bude veća od  $2N+1$ , gde je  $N$  broj nivoa piramide. Slično kao kod 2D filtriranja gde je svaki sledeći nivo dobijen decimacijom sa faktorom 2, u 3D slučaju se i broj frejmova umanjuje faktorom 2 (slika 2.1). Laplasova piramida za sekvencu dobija se analogno kao u 2D sistemu pomoću 3D Gausove piramide i ekspanzije, odnosno redukcije. Sjedinjavanje piramida se vrši isto kao i kod standardnih metoda. Sjedinjena sekvencu dobija se pomoću inverzne 3D Laplasove piramide (slika 2.2).



Slika 2.1. Dobijanje 3D Gausove piramide iz ulaznih sekvenci [48].



Slika 2.2. Dobijanje sjedinjene sekvence pomoću 3D Gausove piramide [48].

Takođe, i druge metode sjedinjavanja statičkih slika koriste se kao ekstenzija za 3D sjedinjavanje, kao što su 3D DWT [50], 3D DTCWT [49], 3D curvelets [51,52] i ostale.

Još jedan pristup korišćen za smanjenje efekta šuma je takozvana metoda polifuzije [53] koja koristi sjedinjavanje Laplasovom piramidom različitih strana 3D signala. Autori predlažu jedno od rešenja sjedinjavanje kadar po kadar sa prednje strane kao i kod klasičnog sjedinjavanja i sa bočne strane posmatranu sekvencu (slika 2.3). To znači da ako se uzme slučaj sekvence MSO1 koja je rezolucije 500x380 piksela i 110 kadrova u slučaju bočnog pristupa dobiće sekvencu rezolucije 110x380 piksela 500 frejmova. Sjedinjena video sekvencu dobija se sabiranjem ova dva pristupa sjedinjavanja, vodeći računa o dinamičkom rasponu vrednosti.



Slika 2.3. Video signal sekvence MSO1 sa prednje strane (rezolucija 500x380) i bočne strane – primer zadnje kolone sekvence (rezolucije 110x380).

Jedan od prvih algoritama za video sjedinjavanje koji pored prostorne uzima i vremensku stabilnost zasnovan je merenju pokreta na sekvenci koristeći optički tok [46]. Optički tok je široko zastupljena tehnika za određivanje informacija pokreta u video sekvenci. Ove metode su najčešće zasnovane na Lucas-Kanade algoritmu i Horn-Schunk algoritmu [54]. Razlika između ova dva algoritma je u različitim pristupima proračuna pokreta u prostornim sporim

promenama. Međutim, oba algoritma su zasnovana na izdvajanju vremenskih promena iz intenziteta piksela kroz video sekvencu.

Proračun informacija pokreta zasniva se na uspešnom određivanju pokreta struktura iz video sekvence. Idealna pretpostavka je da nema uticaja šuma i promene osvetljenosti scene u kojoj su strukture iste kroz frejmove. Međutim, u realnim sistema nije moguće da strukture zadrže isti oblik kroz frejmove, tako da određivanje pokreta pojedinih struktura predstavlja kompromis. Algoritam za određivanje pokreta optičkim tokom polazi od pretpostavke da su strukture prostorno vremenski očuvane, odnosno:

$$I(x + \delta x, y + \delta y, t + 1) = I(x, y, t) \quad (2.1)$$

Gde je  $I(x,y,t)$  vrednost intenziteta piksela prostorno-vremenske koordinate  $(x,y,t)$ ,  $\delta x$  i  $\delta y$  su male promene u  $x$  i  $y$  pravcu. Uzimajući Tejlorovu formulu na  $I(x+\delta x, y+\delta y, t+1)$  oko pozicije  $(x,y,t)$ , optički tok može se napisati kao:

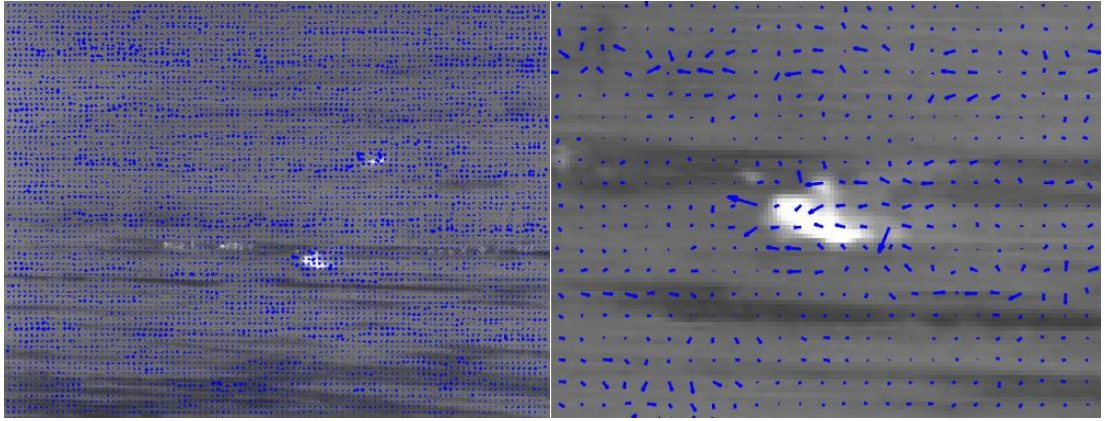
$$I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (2.2)$$

Gde su  $I_x$  i  $I_y$  prostorni izvodi funkcije intenziteta piksela  $I$  na poziciji  $(x,y,t)$  a  $I_t$  je odgovarajući vremenski izvod. Komponente  $u$  i  $v$  su ortogonalne komponente vektora brzine u  $x$  i  $y$  pravcu na istoj poziciji. Na slici 2.4 prikazana su dva uzastopna ulazna frejma iz sekvence MSO1, a na slici 2.5 vektori optičkog toka. Deo slike je uvećan kako bi se bolje videli vektori za objekat koji se nalazi u pokretu.



Slika 2.4. Dva uzastopna frejma iz MSO1 sekvence.





Slika 2.5. Vektori optičkog toka na sekvenci MSO1.

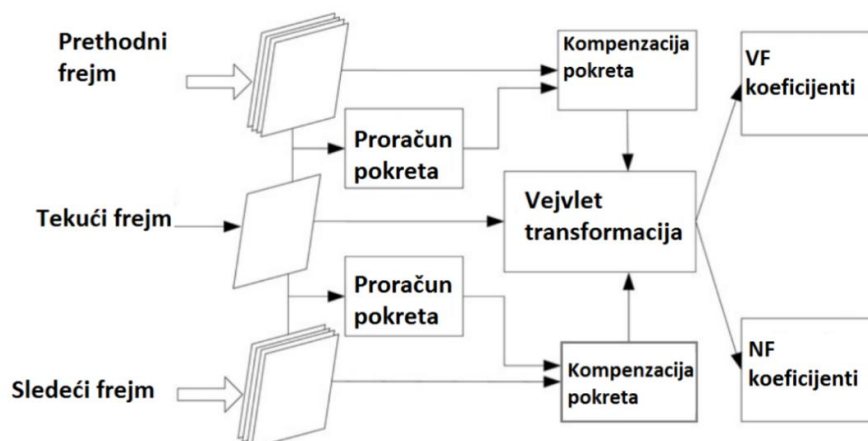
Sjedinjavanje video sekvenci u realnom vremenu u najvećem broju algoritama zasnovano je na dekompoziciji signala (multiveličinska dekompozicija) i sjedinjavanje tekućih frejmova uzimanjem u obzir i vremenske komponente kako bi se očuvala vremenska stabilnost i postojanost. Tipičan algoritam koristi vejvlet transformaciju za razlaganje frejmova (pre i posle frejma koji se sjedinjuje) i kompenzaciju pokreta zasnovanu na optičkom toku [25]. Autori su ovakav vid razlaganja nazvali vejvlet transformacija sa kompenzacijom pokreta (MCWT- motion-compensated wavelet transform).

Algoritam polazi od razdvajanja sekvence na frejmove, za ulazne sekvence  $V_a$  i  $V_b$  za sjedinjavanje tekućeg frejma  $k$  uzimaju se u proračun prethodni i sledeći frejmovi  $V^{(k\pm t)}$ ,  $t=1, 2, \dots, T/2$  (slika 2.6). Ulazni frejmovi se zatim razlažu standardnom diskretnom vejvlet transformacijom gde se dobijaju podopsežni koeficijenti  $(C_{j,0}^{V_a}(m,n,t), C_{j,l}^{V_a}(m,n,t))$  i  $(C_{j,0}^{V_b}(m,n,t), C_{j,l}^{V_b}(m,n,t))$ .  $C_{j,0}(m,n,t)$  koeficijenti predstavljaju niske frekvencije u ulaznim frejmovima, dok  $C_{j,l}(m,n,t)$  predstavlja visokofrekventne koeficijente na  $j$  nivou i  $l$  pravcu. Kako bi se u obzir uzele informacije koje se nalaze u pokretu objekata i izvršila kompenzacija, računaju se vektori pokreta za svaki piksel između tekućeg frejma i prethodnih odnosno predstojećih. Na taj način se dobijaju vektori pokreta  $M^{k\pm t}$ ,  $t=1, 2, \dots, t/2$  za svaku lokaciju  $z=(m,n)$ .

Kompenzacija frejmova pomoću proračuna pokreta dobija se prema:

$$\bar{V}^{k\pm t} = V^{k\pm t}(z + M^{k\pm t}) \quad (2.3)$$

Primenom diskretne vejvlet transformacije na tekući frejm i kompenzovane prethodne i sledeće frejmove dobija se metoda MCWT koja je uzima prostornu i vremensku komponentu video signala.



Slika 2.6. Multisenzorsko sjedinjavanje video signala kompenzacijom pokreta.

Sjedinjavanje koeficijenata je moguće vršiti na više načina. Za ovaj algoritam za sjedinjavanje niskofrekventnih koeficijenata uzima se pravilo težinskih faktora koji su srazmerni energiji u okolini piksela koji se sjedinjuje ( $M \times N \times T$ ), dok se visokofrekventni koeficijenti uzimaju iz jedne ili druge sekvence u zavisnosti od energije u njihovoj prostorno vremenskoj okolini, ili težinskim koeficijentima ako su slične energije.

Primena inverzne diskretne vejvlet transformacije na sjedinjene koeficijente dobija se sjedinjeni video frejm. Ovaj postupak ponavlja se za svaki frejm posebno kako bi se izvršilo sjedinjavanje cele sekvence.

### 2.3. Kolor sjedinjavanje

Sjedinjavanjem monohromatskih slika povećava se kvalitet slike i samim tim i mogućnost lakšeg izvajanja ciljeva. Međutim, ako uzmemo činjenicu da ljudsko oko može da razlikuje najviše 100 nivoa sivog [55], 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 [55,56]. Prva grupa metoda za kolor mapiranje koje koristi samo ulazne monohromatske slika [56-63]. Dobijena kolor slika ne može predstavljati

prirodne boje, ali su algoritmi znatno računarski jednostavniji i pogodni za rad u realnom vremenu.

Drugu grupu čine metode koje preslikavaju karakteristike prirodne kolor slike koja se naziva referentna u kolor sliku dobijenu iz monohromatskih [64-78]. 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 zavisni i dovode u pitanje realizaciju u realnom vremenu.

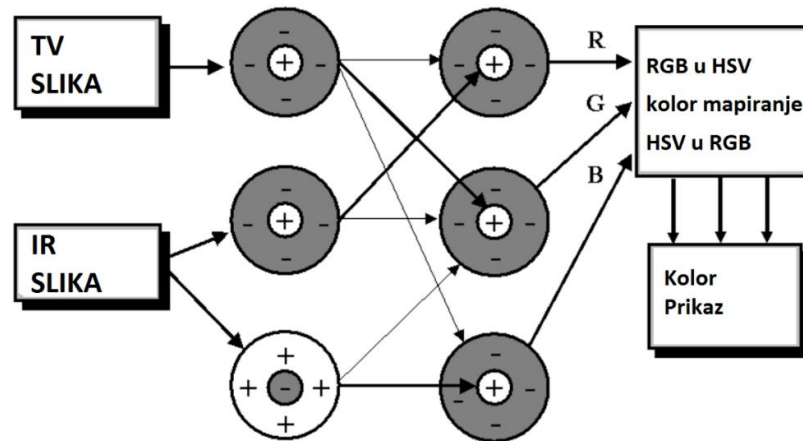
Algoritam za kolor sjedinjavanje u RGB kolor sistemu [56] je jedan od najpoznatijih algoritama za kolor mapiranje. U algoritmu se najpre određuju zajedničke komponente za dve ulazne slike, koje se zatim oduzimaju od ulaznih slika, čime se dobijaju jedinstvene komponente za svaku ulaznu sliku. Jedinstvene 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 se postavlja na nulu ili može se dobiti i kao razlika jedinstvenih komponenti. U slučaju televizijske i termovizijske slike algoritam se može opisati kao:

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} IR - VIS^* \\ VIS - IR^* \\ |VIS^* - IR^*| \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

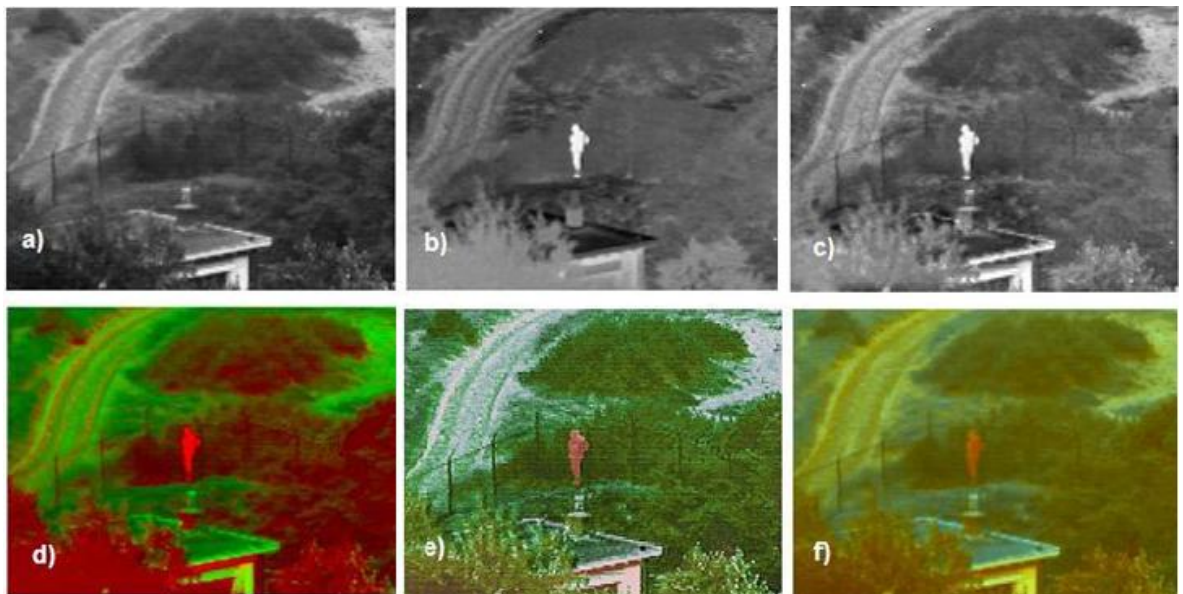
gde je  $VIS^* = VIS - comm$ ,  $IR^* = IR - comm$  i  $comm = \min\{VIS, IR\}$ . Pored objašnjene postoje i slične ideje zasnovane na RGB kolor sistemu i brzom kolor sjedinjavanju koji uz malo kompleksnije algoritme daju nešto prirodnije rezultate [57,58].

Jedan broj algoritama za kolor sjedinjavanje koristi neuronske mreže i pozitivnu i negativnu IR sliku [59-61]. Neka tipična šema sjedinjavanja prikazana je na slici 2.7. Ovakvi algoritmi imaju bitnu osobinu da su im luminansne komponente zavisne od boja na slici. Rezultati kolor mapiranja prikazani su na slici 2.8. Ulazne monohromatske slike pojedinačno daju komplementarne informacije i one su prenesene u sjedinjenu monohromatsku sliku. Kolor sjedinjavanjem jednostavnom metodom u RGB kolor sistemu [56] dobija se slika na kojoj su uočljive informacije koje su prenete iz ulaznih slika (topliji objekti iz termovizijske slike označeni crvenom bojom), ali je slika neprirodna i može da optereti posmatrača. Metodama

koje koriste neuronske mreže [59-61] dobijaju se sjedinjen slike nešto prijatnije za gledanje što se tiče kolor informacija, ali su one i dalje daleko od prirodnog izgleda.



Slika 2.7. Kolor mapiranje korišćenjem neuronskih mreža.



Slika 2.8. Ulazna monohromatska a) TV i b) termovizijska slika iz UNCAMP sekvence, c) sjedinjena monohromatska slika Laplasovom piramidom, d) kolor mapiranje, e) i f) kolor mapiranje uz neuronske mreže [79]-[80].

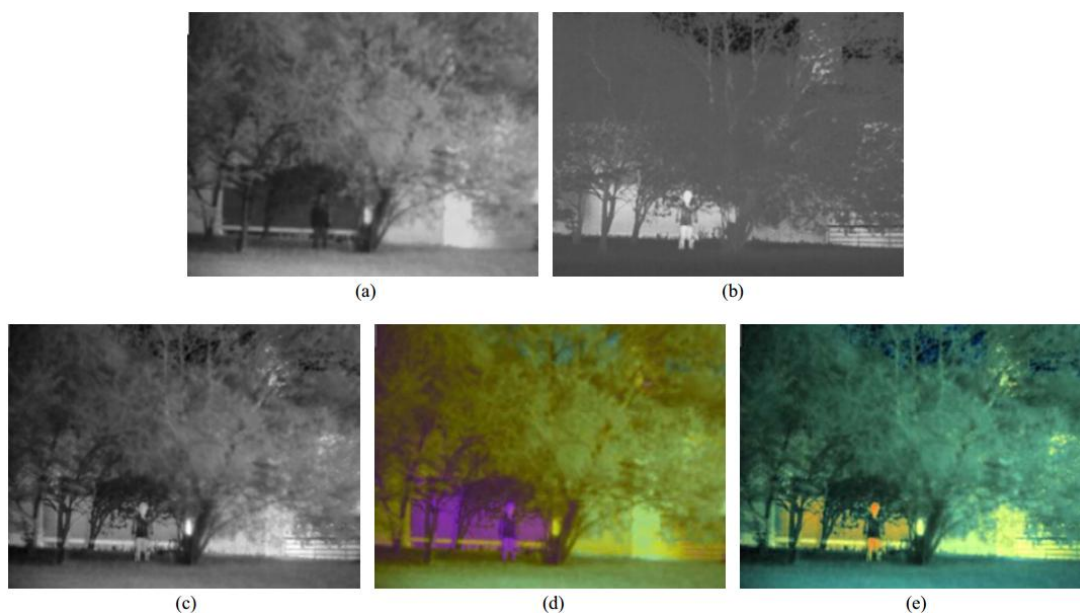
Za prirodnije i ljudskom vizuelnom sistemu približnije kolor sjedinjavanje autori koriste bojenje monohromatskih slika pomoću IHS kolor sistema [62]. Ulazne komponente sjedinjavaju se konvencionalnom metodom i čine I komponentu. H i S komponente se takođe dobijaju iz ulaznih slika nezavisno od I komponente. Autori koriste sledeće činjenice prilikom određivanja komponenti IHS kolor sistema:

## 2. Pregled literature

---

- Zelena boja je najprijetnija ljudskom oku, na koju je ono i najosjetljivije
- Objekti sa visokom temperaturom su predstavljeni crvenom bojom,
- Objekti sa niskom temperaturom su plave boje,
- Svetli objekti predstavljeni su žutom bojom,
- Tamni objekti označeni su cian bojom.

Rezultati predstavljeni su bolji od dosadašnjih tehnika jer daju boje koje su prijatnije i jasnije za ljudsko oko. Takođe, vođeno je računa o dodeljivanju različitih boja za nijanse sivog. Rezultati sjedinjavanja dati su na slici 2.9. U prvom redu su ulazne slike televizijske i termovizijske kamere, dok je sjedinjena monohromatska slika na slici (slika 2.9c). Sjedinjavanje u RGB kolor sistemu [58] (slika 2.9d) dobija se slika na kojoj se bolje uočavaju ciljevi ali zbog lošeg izbora boja i dalje je teško razlikovati ih. Slika dobijena IHS kolor sistemom jasnije izdvaja informacije iz ulaznih slika i brže se može odrediti njihova pozicija (slika 2.6e).



**Slika 2.9. Kolor sjedinjavanje monohromatskih slika: a) TV slika, b) IR slika, c) monohromatski sjedinjena slika, d) kolor mapiranje u RGB kanalima i e) sjedinjavanje u IHS kolor sistemu [58].**

Pored razvoja algoritama, razvijeni su i novi kolor sistemi za efikasnije kolor sjedinjavanje [63]. Autori predlažu novu metodu, odnosno kolor sistem za sjedinjavanje i bojenje monohromatskih slika. Novi kolor sistem je nazvan IcbCr i u stvari je modifikacija YcbCr

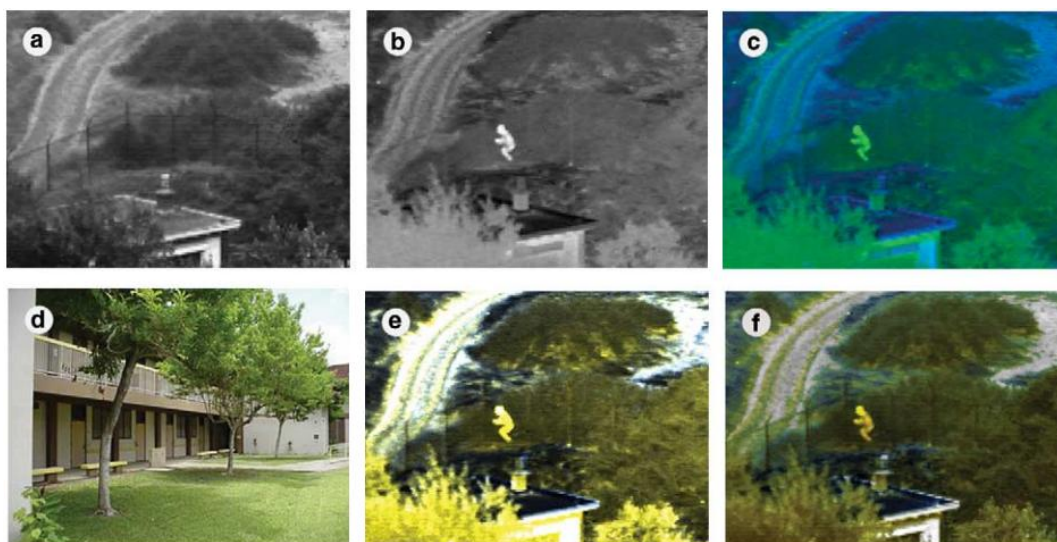
sistema [63]. Transformacija iz RGB kolor sistema u predloženi i obrnuto je veoma jednostavna i koristi se samo jedna matrica transformacije. Samim tim što ne zahteva veliki broj operacija kao kod lab, LMS ili HSV sistema znatno se ubrzava sjedinjavanje slika, odnosno bojenje. Rezultati koji se dobijaju predloženim sistemom su dobri u poređenju sa znatno složenijim metodama. Autori za poboljšanje kontrasta predlažu zamenu I kanala sjedinjene slike sa kanalom dobijenim sjedinjavanjem ulaznih monohromatskih slika sa nekom od standardnih monohromatskih metoda.

Drugi deo metoda za kolor sjedinjavanje monohromatskih slika koriste referentnu kolor sliku iz koje uzimaju kolor informacije i prenose ih u sjedinjenu sliku. Jedna od prvih metoda koristi za sjedinjavanje monohromatskih slika u kolor sliku na početku RGB kolor sjedinjavanje [56], odnosno postavljajući u RGB kanale monohromatske slike [64]. Na taj način se dobija kolor slika sa bojama koje nisu prirodne. Za dobijanje prirodnije slike koristi se referentna slika. Obe slike se prvo transformišu u  $\alpha\beta$  kolor sistem, zatim se vrši usaglašavanje kolor kanala pomoću statističkih parametara. Slika dobijena ovom metodom znatno je prirodnija od slike dobijene sjedinjavanjem kroz RGB kanale. Međutim, rezultati sjedinjavanja zavise od izbora referentne slike, čiji će raspored boja uticati na sjedinjenu sliku. Metoda je još i zahtevna zbog velikog broja operacija koje je potrebno uraditi za sjedinjavanje.

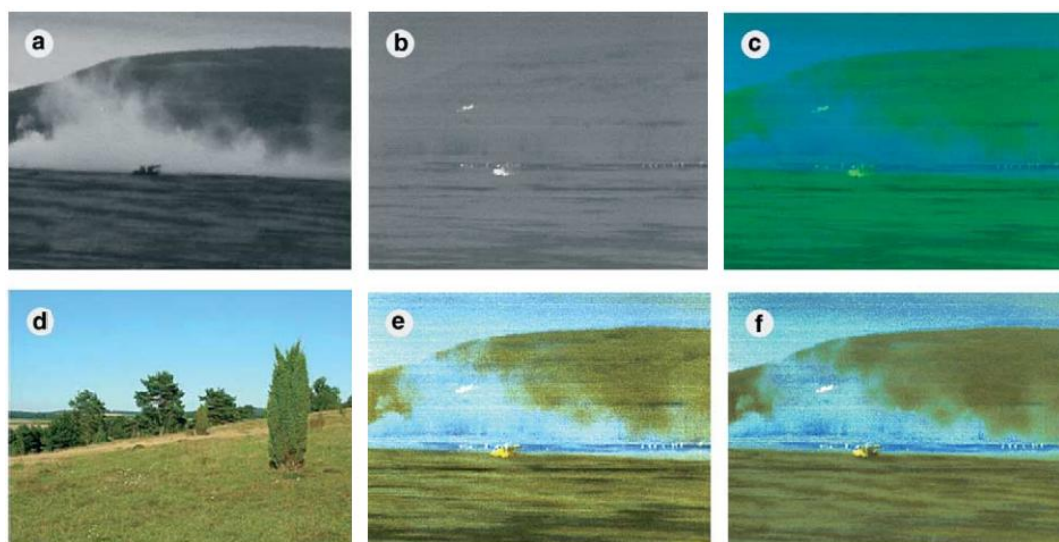
Poboljšanje karakteristika sjedinjavanja kao nastavak predložena je metoda za kolor sjedinjavanje monohromatskih slika koristeći i HSV kolor sistem [65]. Metoda koristi RGB kolor sjedinjavanje [56] i referentnu sliku u  $\alpha\beta$  kolor sistemu preslikava na sjedinjenu. Na taj način dobija sjedinjenu kolor sliku sa prirodnijim bojama koje odgovaraju izboru referentne slike. Za isticanje detalja iz ulaznih slika koristi se transformacija sjedinjene slike u HSV kolor sistem i zamenu V kanala sa sjedinjenom slikom laplasovom piramidom ulaznih monohromatskih slika. Dobijena slika poseduje jasno vidljive detalje iz ulaznih monohromatskih slika ali zahteva veliku računarsku zahtevnost uvođenjem dva kolor sistema i sjedinjavanja. Ove analize potvrđuju primeri na slikama 2.10 i 2.11. Slike 2.10a, 2.10b, 2.11a i 2.11b su ulazne iz već poznatih sekvenci, dok se na 2.10c i 2.11c nalaze sjedinjene kolor slike u RGB kolor sistemu [56], 2.10d i 2.11d slike predstavljaju referentne kolor slike koje su približne kao ulazne po boji. Sjedinjene slike metodom pomoću kanala  $\alpha\beta$  [64] date su na slikama 2.10e i 2.11e, dok sa referentnom slikom i HSV kolor sistemom



[65] prikazane su na slikama 2.10f i 2.11f. Uočljivo je da metoda koja koristi  $\alpha\beta$  [64] sistem poseduje jači kontrast ali i visoke nivoe osvetljenosti tako da su neki detalji slabo vidljivi. Ovo je ispravljeno sa zamenom kanala intenziteta HSV kolor sistema sa sjedinjenom slikom [65].



Slika 2.10. Sjedinjavanje monohromatskih slika UNCAMP sekvence pomoću referentne slike a) TV slika, b) IR slika, c) sjedinjavanje u RGB kolor sistemu, d) referentna kolor slika, e) sjedinjavanje metodom pomoću kanala  $\alpha\beta$  i f) sjedinjavanje u HSV kolor sistemu.



Slika 2.11. Sjedinjavanje monohromatskih slika MSO1 sekvence pomoću referentne slike a) TV slika, b) IR slika, c) sjedinjavanje u RGB kolor sistemu, d) referentna kolor slika, e) sjedinjavanje metodom pomoću kanala  $\alpha\beta$  i f) sjedinjavanje u HSV kolor sistemu.

Korak dalje se otišlo korišćenjem referentne slike iz dnevnih uslova za kolor sjedinjavanje noću [66-68]. Autori predlažu metodu za lažno bojenje sjedinjenih monohromatskih slika pomoću referentne slike iste scene u koloru. Referentna slika mora biti istih dimenzija i registrovana kao i ulazne slike. Ulazne slike se prvo sjedinjuju u RGB kolor sliku ubacivanjem u kanale. Zatim se formira kolor tabela ulazne slike. Iz ulazne tabele se uzimaju indeksi i traže se svi pikseli na sjedinjenoj slici koji imaju istu vrednost i uzimaju se pikseli na referentnoj slici na istim mestima. Računaju se srednje vrednosti piksela ( $\alpha\beta$ ) za svaki kanal i na taj način se dobija vrednost piksela transformacije. Slika dobijena na ovaj način je prirodna, ali zahteva da referentna slika bude registrovana i iste scene, što je problem ako se sistem kreće.

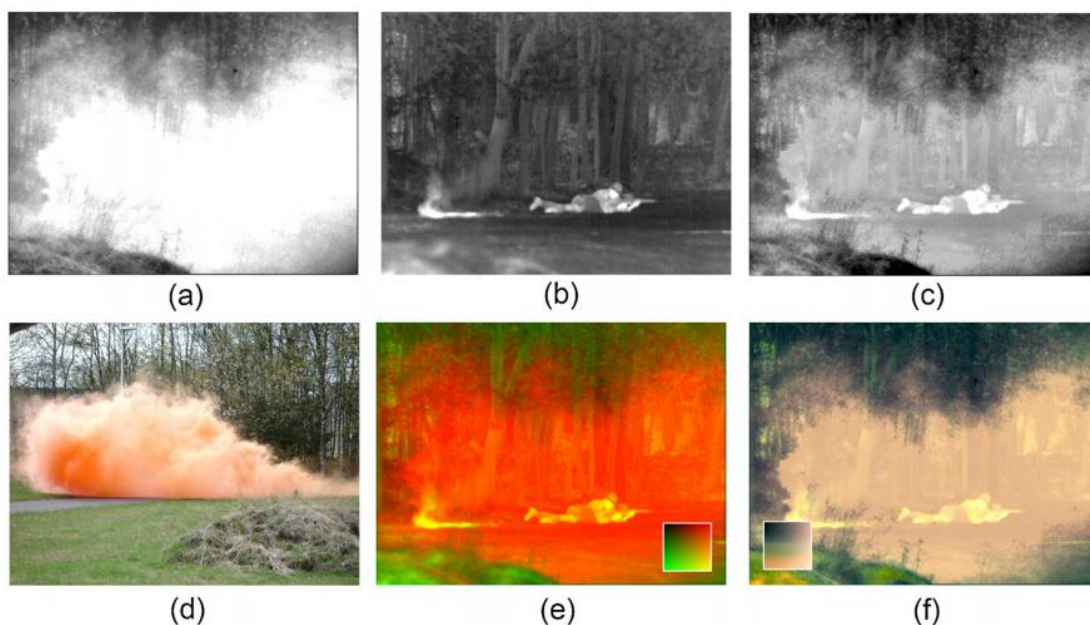
Prikaz kolor sjedinjavanja referentnom kolor slikom iste scene dat je na slici 2.12. Ulazne slike su sa tri ulazne kamere u različitim talasnim dužinama 2.12a, 2.12b i 2.12c. Na slici 2.12d nalazi se registrovana kolor slika u dnevnim uslovima iste scene, dok je na 2.12e kolor sjedinjena slika u RGB kolor sistemu. Sjedinjena slika koristeći referentnu registrovanu kolor sliku prikazana je na slici 2.12f. Objekti iz ulaznih slika su preneseni i prirodnost boja je ista kao i na referentnoj slici, što ovu metodu čini jednom od najuspešnijih. Jedini problem je što za sjedinjavanje mora postojati referentna slika sa istovetnim sadržajem kao i ulazne slike. U donjim uglovima slike 2.12e i 2.12f nalaze se lukap tabele koje sadrže ulazne 2.12e i transformisane boje 2.12f, koja posle služi i za ostale frejmove, tako da nije potrebno za svaki frejm vršiti kolor usaglašavanje.

Slična ideja sa  $\alpha\beta$  kolor sistemom i referentnim slikama korišćena je i u drugim algoritmima za kolor sjedinjavanje [69,70]. Koristeći  $\alpha\beta$  kolor sistem i deljenje sjedinjene slike na segmente dobija se sjedinjena kolor slika gde je svaki objekat različite nijanse boje [69]. Rezultat sjedinjavanja je zadovoljavajući, ali je potrebno veće vreme izvršavanja algoritma. Efikasnija metoda sa isto  $\alpha\beta$  kolor sistemom i referentnom slikom koja ne mora biti istog sadržaja [70] predstavlja kompromis između prethodne dve metode.

Takođe i ostali kolor sistemi korišćeni su u kolor sjedinjavanju monohromatskih slika, od kojih najčešće YUV kolor sistem [71-74]. Princip sjedinjavanja je sličan, gde se vrši normalizacija statističkih komponenti kolor sistema referentne slike i sjedinjene kolor slike iz ulaznih monohromatskih slika. Odlikuje ih manja računarska zahtevnost zbog jednostavne



transformacije. Isto tako i YcbCr [75], kao i Lab kolor sistem [76] koriste se za kolor sjedinjavanje, odnosno kolor sistemi gde je manja zavisnost između kolor kanala.



**Slika 2.12. Sjedinjavanje monohromatskih slika pomoću referentne slike iste scene a) TV slika, b) IR slika, c) slika SWIR kamere, d) referentna kolor slika, e) sjedinjavanje u RGB kolor sistemu, f) sjedinjavanje metodom pomoću kanala  $l\alpha\beta$  sa kolor slikom iste scene.**

Problemi neprirodnosti boja sjedinjenih slika rešavaju se sjedinjavanjem kolor i monohromatskih slika. 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 [77]. Metoda za sjedinjavanje jednog od kolor kanala sa monohromatskom slikom je jedna od standardnih metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika [7,8]. 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 [80-89]. Mana ovih metoda može da bude gubitak kontrasta na sjedinjenoj slici i narušavanje prirodnog izgleda kolor slike.

Metode za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika našle su široku primenu u sjedinjavanju multispektralnih MS i multirezolucionih slika MR, tzv. pansharpening. MR slike su monohromatske slike visoke rezolucije, dok su MS kolor slike manje rezolucije. Tri metode za sjedinjavanje MS i MR slika su najzastupljenije [77]. Metode sa IHS kolor

sistemom se zasnivaju na zameni i komponente MS slike sa monohromatskom slikom MR slikom visoke rezolucije i može se primeniti samo na tri kanala [84-89]. PCA način sjedinjavanja je sličan, s tim što se uzima prva PCA i zamenjuje monohromatskom slikom [84,88]. VF filter procedura podrazumeva filtriranje monohromatske slike visokofrekventnim VF filtrom i sabiranje sa multispektralnom slikom [83]. Metoda VF filtra daje najbolje rezultate, dok je IHS najlošija jer su i komponenta i monohromatska slika razlikuju po statističkim parametrima.

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike u realnom vremenu vrši se i pomoću kanala osvetljenosti i monohromatske slike u Lab ili YUV kolor sistemu [78]. Za isticanje objekata koristi se i izdvajanje ivica iz monohromatske slike. Rezultat je prirodnija boja nego kod metoda sa lažnim kolorom, ali na mestima gde je jak signal u monohromatskoj slici dolazi do gubitka prirodnosti.

Na slici 2.13 prikazane su kolor slika (TV slika) i monohromatska slika (IR slika) iste scene. Na IR 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 IR slici, a da se zadrži visoka rezolucija i prirodnost TV slike.



**Slika 2.13. Slike OCTEC sekvence a) TV i b) termovizijske kamere.**

Transformacijom u HSV kolor sistem i sjedinjavanjem IR slike sa V kanalom TV slike Laplasovom piramidom [8], zatim inverznom transformacijom u RGB kolor sistem dobija se slika prikazana na slici 2.14 [79]. U sjedinjenu sliku preneseni su detalji iz obe ulazne slike, ali čovek koji se nalaze iza dimne zavese slabije je uočljiv iz razloga što je dimna

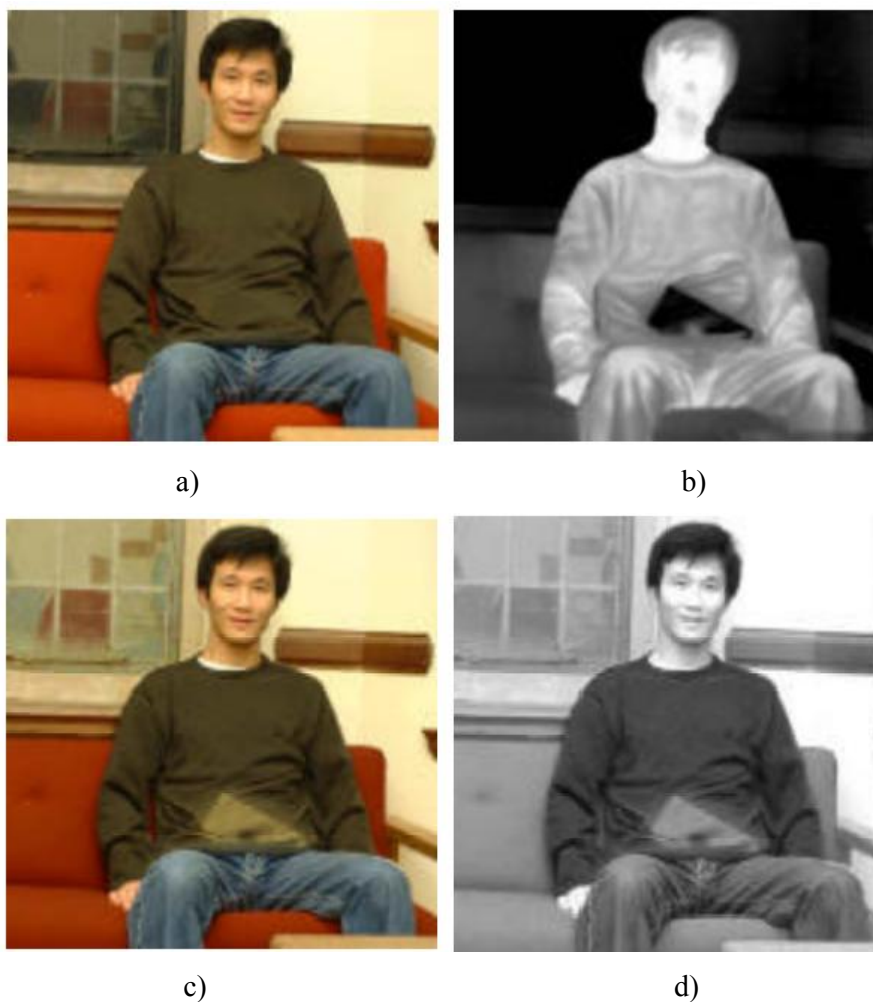
zavesse bele boje a topliji objekti iz IR slike se takođe predstavljani belom bojom. Takođe, došlo je i do malog gubitka prirodnosti boja kolor slike.



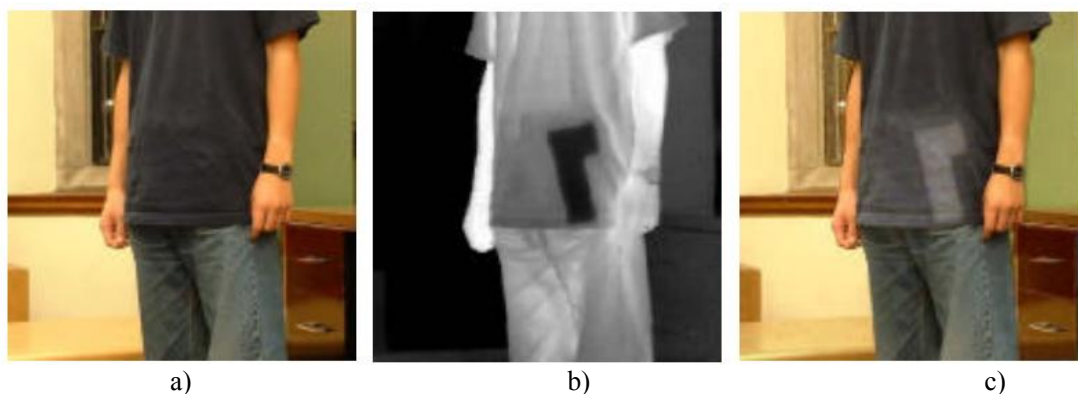
**Slika 2.14. Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike OCTEC sekvence HSV kolor transformacijom i Laplasovom piramidom.**

Iako neke od metoda daju dobre rezultate za kolor sjedinjavanje na bazama koje su korišćene za namenu algoritama, ne mogu se generalno primenjivati i za ostale scenarije. Primeri toga su metode za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika koje su našle je primenu u detekciji skrivenog oružja (DSO) [80,81]. Prva metoda koristi HSV i Lab kolor sistem i daje veoma dobre rezultate na bazi za DSO kao na slikama 2.15 i 2.16. Na slici 2.15 date su ulazne televizijska i termovizijska slika (2.15a i 2.15b), dok su 2.15c i 2.15d sjedinjena kolor i monohromatska slika. Sjedinjena kolor slika daje informacije iz obe ulazne i jasno se vidi skriveni predmet, što je veoma bitno za brzu detekciju u realnim sistemima.

Slika 2.16 prikazuje istu problematiku DSO i takođe se jasno uočava skriveni predmet. Ono što je veoma bitno za DSO je brzo određivanje i predmeta i lica u gužvi ljudi koje nosi taj predmet. Sjedinjavanjem slika dobija se da lice koje nosi farmerke i tamnu majicu ima skriveni predmet, što bi bilo nemoguće odrediti ako posmatramo pojedinačne slike. Međutim ako se uzme primena metode na uslovima prikazanim na ulaznim slikama sa slike dobija se sjedinjena slika prikazana na slici 2.17. Sjedinjena slika ne može da prikaže objekte koji su uočljivi na obe ulazne slike i nije primenjiva u realnom sistemu.



Slika 2.15. Sedinjavanje u cilju detekcije skrivenog oružja a) TV slika, b) IR slika, c) kolor slika sedinjena DSO metodom, d) monohromatski sedinjena slika.



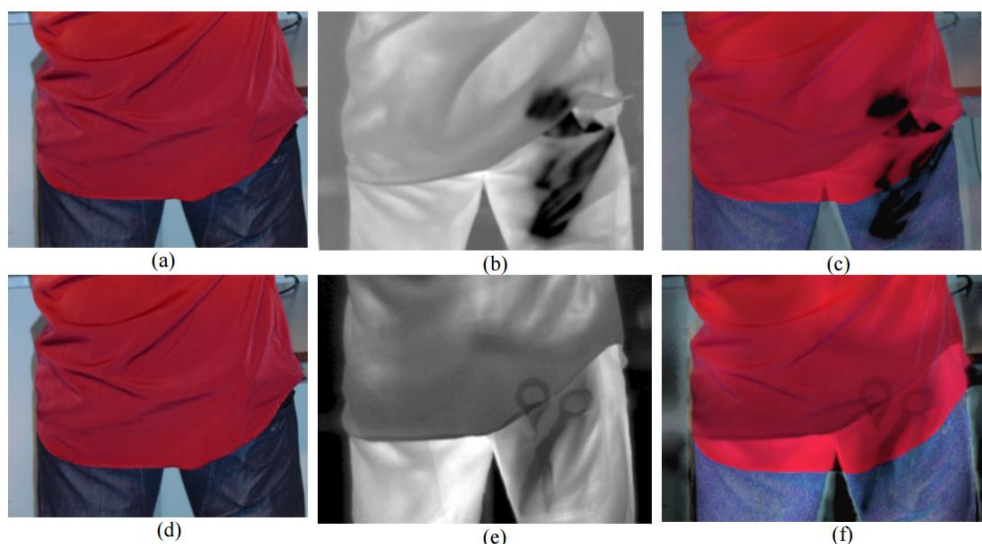
Slika 2.16. Sedinjavanje u cilju detekcije skrivenog oružja a) TV slika, b) IR slika, c) kolor slika sedinjena DSO metodom.





**Slika 2.17. Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike OCTEC sekvence DSO metodom.**

Metoda koja je zasnovana je na  $\alpha\beta$  kolor transformaciji kolor slike i zatim se vrši sjedinjavanje  $l$  komponente sa monohromatskom slikom takođe služi za DSO [81]. Sjedinjen rezultat se vraća u RGB kolor sistem i dobija se sjedinjena kolor slika. Slično kao i kod prethodne metode na bazi za DSO daje dobre rezultate (slika 2.18). Sjedinjena slika OCTEC sekvence pomoću navedene metode data je na slici 2.19. Objekti iz monohromatske slike su vidljivi u sjedinjenoj slici, ali je prirodnost boja sjedinjene slike u većoj meri izgubljena. Kao i kod prethodne metode topliji objekti u ovom slučaju su predstavljeni belom bojom i oni zavise od ostalih parametara slike.



**Slika 2.18. Detekcije skrivenog oružja a) i d) TV slika, b) i e) IR slika, c) i f) kolor slika sjedinjena DSO metodom.**



Slika 2.19. Sjedinjena kolor slika OCTEC sekvence metodom za detekciju skrivenog oružja u laž kolor sistemu.

### 2.4. Procena uspešnosti sjedinjavanja

Za procenu uspešnosti sjedinjavanja i mogućnost primene određene metode u sistemu za sjedinjavanje slika razvijene su metode koje kao izlaz daju odgovarajući skor za testirane metode. Osnovna podela na mere je subjektivne, koje izvode ljudi kao krajnji korisnici sistema i objektivne, koje se izvršavaju na računaru [90]. Iako je razvijen veći broj objektivnih mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika i dalje ne postoji mera koja je opšteprihvaćena i pogodna za procenu u svim uslovima sjedinjavanja. Sa druge strane subjektivne mere koje su pouzdanije u smislu da je čovek krajnji korisnik sistema i da se njegova procena uzima kao relevantna, komplikovane su za izvođenje. One zahtevaju duži period planiranja, strogo kontrolisane uslove i veći broj ispitanika. Pogotovo je složeno ponavljanje mera u slučaju promena parametara na metodama za sjedinjavanje ili na samim sensorima. Sa druge strane objektivne metode se mogu ponavljati veći broj puta i ne zahtevaju posebne uslove za primenu.

U literaturi postoji više različitih pristupa za objektivnu procenu uspešnosti sjedinjavanja slika. Rezultati mera su u različitim opsezima (u najvećem broju slučajeva između nule i jedan), neke od metoda predstavljaju bolje rezultate ukoliko im je vrednost manja, što dovodi do otežanog poređenja i izbora pogodne mere za procenu implementirane metode ili postojećih metoda. Možda je najpribližnija podela i svrstavanje metoda za procenu uspešnosti sjedinjavanja u 4 osnovne grupe [91], prema njihovom pristupu prilikom procene i to:

- mere zasnovane na teoriji informacija,
- mere zasnovane na odlikama slika,
- strukturna sličnost slika kao mera i
- mere inspirisane ljudskom percepcijom.

Autori [91] porede različite metode za procenu uspešnosti sjedinjavanja u smislu njihove korelisanosti, bez davanja ocene koja je mera bolja.

### 2.4.1. Mere zasnovane na teoriji informacija

Jedna od najkorišćenijih metoda koja je zasnovana na teoriji informacija (mutual information  $MI$ ) polazi od stepena zavisnosti dve slučajne promenljive  $A$  i  $B$  [92], definisane kao:

$$I(A, B) = \sum_{x,y} p(a, b) \log \frac{p(a, b)}{p(a)p(b)} \quad (2.5)$$

gde je  $p(a, b)$  združena raspodela jednaka je proizvodu  $p(a)$  i  $p(b)$  ako su promenljive nezavisne.

Sjedinjena slika trebala bi da sadrži važne informacije iz originalnih slika. Jasno je da pojam važne informacije zavisi od primene i teško ga je definisati. Zajednička informacija je količina informacija jedne slike koje se nalaze u drugoj. Za računanje  $MI$  potrebno definisati parametar gustine histograma i on može značajno da utiče na rezultat sjedinjavanja. Ipak, ova mera je pogodna za korišćenje za procenu kvaliteta sjedinjavanja slika jer ne traži referentnu sliku. Ako su ulazne slike  $A$  i  $B$  i sjedinjena slika  $F$ , može se izračunati količina informacija koje slika  $F$  sadrži iz slika  $A$  i  $B$ :

$$I(F, A) = \sum_{x,y} p_{FA}(f, a) \log \frac{p_{FA}(f, a)}{p_F(f)p_A(a)} \quad (2.6)$$

$$I(F, B) = \sum_{x,y} p_{FB}(f, b) \log \frac{p_{FB}(f, b)}{p_F(f)p_B(b)} \quad (2.7)$$

Prema tome mera uspešnosti sjedinjavanja slika definiše se kao:

$$MI_F^{AB} = I(F, A) + I(F, B) \quad (2.8)$$

Poslednja jednačina pokazuje da mera  $MI$  predstavlja ukupnu količinu informacija iz ulaznih slika  $A$  i  $B$  sadržanih u sjedinjenoj slici  $F$ . Za procenu uspešnosti sjedinjavanja može se koristiti i normalizovana  $MI$  [93] koja uzima vrednosti između 0 i 1 prema jednačini:

$$NMI_F^{AB} = \frac{I(A, F) + I(B, F)}{H(A) + H(B)} \quad (2.9)$$

Gde su  $H(A)$  i  $H(B)$  entropije ulaznih slika A i B. Ova mera je manje osetljiva ukoliko su veća preklapanja informacija.

Drugi način za proračun zajedničkih informacije kao mere za uspešnost sjedinjavanja dve slike dali su Cvejić et al. [94] i Nava et al. [95] koristeći Tsallis-ovu entropiju. Za ulaznu sliku A i sjedinjenu sliku F, Tsallis-ova entropija definiše se kao:

$$I^q(A, F) = \frac{1}{1-q} \left( 1 - \sum_{m,n} \frac{h_{A,F}(m,n)^q}{h_F(n)h_A(m)^{q-1}} \right) \quad (2.10)$$

Gde je  $q$  realna konstanta različita od 1. Mera uspešnosti sjedinjavanja dobija se iz jednačine:

$$Q_{TE}^q = I^q(A, F) + I^q(B, F) \quad (2.11)$$

ili kao normalizovana vrednost

$$Q_{TE} = \frac{I^q(A,F) + I^q(B,F)}{H^q(A) + H^q(B) + I^q(A,B)} \quad (2.12)$$

Još jedna mera zasnovana na teoriji informacija koristi nelinearni korelacioni koeficijent [96]. Mana metoda zasnovanih na teoriji informacija je što su osetljive na šum i nisu u korelaciji sa subjektivnim skorovima.

### 2.4.2. Mere zasnovane na odlikama slika

Sledeći tip mera prikazuje koliko su karakteristike iz ulaznih slika prenete u sjedinjenu sliku. Jedna od najpoznatijih metoda zasnovanih na prenosu karakteristika i uopšte metoda za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika meri prenete gradijente iz ulaznih u sjedinjenu sliku [97].

Mera zasnovana na prenosu ivičnih informacija iz viših i srednjih komponenti učestanost može se implementirati pomoću vejljet transformacije na dva nivoa [98]. Ivične informacije po horizontalnom pravcu za nivo  $s$  ulazne slike A i sjedinjene slike F, definisane su sa:

$$\psi_{H_s}^{AF}(m, n) = e^{-|LH_s^A(m,n) - LH_s^F(m,n)|} \quad (2.13)$$

gde su  $LH$  nivoi vejljet transformacije ulaznih i sjedinjene slike. Slično se dobijaju i po ostalim pravcima za  $\psi_V$  i  $\psi_D$  za vertikalni i dijagonalni pravac. Globalno očuvanje na  $s$  nivou  $EP_s^{AF}$  se dobija kao aritmetička sredina očuvanja po pravcima, dok se normalizovana mera za jedan pravac računa kao



## 2. Pregled literature

---

$$Q_s^{AB/F} = \frac{\sum_m \sum_n (EP_s^{AF}(m,n)\omega_s^A(m,n) + EP_s^{BF}(m,n)\omega_s^B(m,n))}{\sum_m \sum_n (\omega_s^A(m,n) + \omega_s^B(m,n))} \quad (2.14)$$

Gde se za težinske koeficijente uzima energija iz visokih frekvencija ulaznih slika A i B prema:

$$\omega_s^{A,B}(m,n) = LH_A^2(m,n) + HL_A^2(m,n) + HH_A^2(m,n) \quad (2.15)$$

Konačna mera se dobija kao proizvod sa različitih nivoa vejevleta:

$$Q_m = \prod_{s=1}^N (Q_s^{AB/F})^{\alpha_s} \quad (2.16)$$

Gde  $\alpha_s$  predstavlja relativnu važnost svakog nivoa  $s$ .

Uticao prostornih frekvencija najpre je razmatran i korišćen za merenje globalnih promena nivoa sivog [99] na slici i definisana je sa:

$$SF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2} \quad (2.17)$$

Gde su  $RF$  i  $CF$  frekvencije po kolonama i vrstama respektivno i definisane na slici dimenzije  $M \times N$  sa:

$$RF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [I(i,j) - I(i,j-1)]^2} \quad (2.18)$$

$$CF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{j=1}^M \sum_{i=2}^N [I(i,j) - I(i-1,j)]^2} \quad (2.19)$$

Pri tome termin prostorne frekvencije odnosi se na proračun u prostornom domenu definisan jednačinama i nije u vezi sa Furijeovom transformacijom i proračuna u frekvencijskom domenu. U nastavku je mera proširena koristeći i dijagonalne pravce uzimajući glavne  $MDF$  i sporedne  $SDF$  dijagonale za svaki piksel [99] prema jednačinama:

$$MDF = \sqrt{w_d \frac{1}{MN} \sum_{i=2}^M \sum_{j=2}^N [I(i,j) - I(i-1,j-1)]^2} \quad (2.20)$$

$$SDF = \sqrt{w_d \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=2}^N [I(i,j) - I(i-1,j+1)]^2} \quad (2.21)$$

Gde je  $w_d = 1/\sqrt{2}$  i predstavlja rastojanje u dijagonali, slično kao sto je za vrste i kolone  $w_d = 1$ . Ukupna prostorna frekvencija koja predstavlja kombinaciju u četiri pravca u tom slučaju izračunava se prema jednačini:

$$SF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2 + (MDF)^2 + (SDF)^2} \quad (2.22)$$

U slučaju sjedinjavanja multisenzorskih slika, potrebno je izračunati prostorne frekvencije za obe ulazne slike ( $SF_A$  i  $SF_B$ ) i za sjedinjenu sliku ( $SF_F$ ). Kako bi se mogle porediti prostorne frekvencije sjedinjene slike sa ulaznim slikama, autori su predložili uvođenje

referentne prostorne frekvencije koja se dobija iz ulaznih slika ( $SF_R$ ). Za proračun referentne prostorne frekvencije uzimaju se u obzir gradijenti prvog reda u četiri pravca ulaznih slika. Na taj način dobijaju se četiri referentna gradijenta kao maksimum apsolutnih vrednosti gradijenata između ulaznih slika A i B:

$$\text{Grad}^D(I_R(i,j)) = \max \{ \text{abs}[\text{Grad}^D(I_A(i,j))], \text{abs}[\text{Grad}^D(I_B(i,j))] \} \quad (2.23)$$

Za svaki pravac, horizontalni, vertikalni, glavna i sporedna dijagonala, tj.  $D = \{H, V, MD, SD\}$ . Iz svakog gradijenta dobija se referentna frekvencija u jednom pravcu. Na primer referentna frekvencija po kolonama dobija se iz jednačine:

$$RF_R = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=2}^N [\text{Grad}^H(I_R(i,j))]^2} \quad (2.24)$$

Ukupna referentna prostorna frekvencija dobija se iz jednačine, uključujući referentne prostorne frekvencije po sva četiri pravca. Prema tome  $SF_R$  se dobija iz ulaznih slika i nije potreba referentna slika kako bi se izračunala mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja.

Mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja zasnovana na prostornim frekvencijama  $rSFe$  dobija se kao odnos razlike prostorne frekvencije sjedinjene i referentne frekvencije i referentne frekvencije:

$$rSFe = (SF_F - SF_R) / SF_R \quad (2.25)$$

Prema jednačini 2.22 vide se da je slučaj idealnog sjedinjavanja slika ako je  $rSFe = 0$ , i što je mera manja to je efikasnije sjedinjavanje. Vrednost mere može biti pozitivna ako je slučaj da sjedinjena slika ima više informacija od ulaznih i negativna u obrnutom slučaju, koji je u većini aplikacija realan.

Fazna podudarnost je takođe korišćena za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika i zasniva se na merenju prenesenih glavnih momenata (uglova i ivica) iz ulaznih u sjedinjenu sliku [100,101]. Mera se računa prema jednačini:

$$Q_P = (P_P)^\alpha (P_M)^\beta (P_m)^\gamma \quad (2.26)$$

Gde su  $p$ ,  $M$  i  $m$  fazna podudarnost, maksimalni i minimalni moment, dok su  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  težinski faktori za svaku komponentu u zavisnosti od njene važnosti.

### 2.4.3. Mere zasnovane na indeksu strukturne sličnosti (Structural Similarity Index Measure, *SSIM*)

Indeks strukturne sličnosti za slike zasnovan je na ideji da je ljudski vizuelni sistem osetljiv na strukturne informacije [102]. Njihov gubitak izaziva distorziju u slici i za razliku od tradicionalnih metoda koje se zasnivaju na pikselnoj proceni, ovde se uzima struktura slike. Wang je predstavio *SSIM* za slike A i B sledećom definicijom:

$$SSIM(A, B) = [l(A, B)]^\alpha [c(A, B)]^\beta [s(A, B)]^\gamma \quad (2.27)$$

Gde su  $l$ ,  $c$  i  $s$  osvetljenost, kontrast i korelaciona komponenta, tako da se jednačina može napisati u sledećem obliku:

$$SSIM(A, B) = \left( \frac{2\mu_A\mu_B + C_1}{\mu_A^2 + \mu_B^2 + C_1} \right)^\alpha \left( \frac{2\sigma_A\sigma_B + C_2}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 + C_2} \right)^\beta \left( \frac{\sigma_{AB} + C_3}{\sigma_A\sigma_B + C_3} \right)^\gamma \quad (2.28)$$

Gde su  $\mu_A$  i  $\mu_B$  srednje vrednosti slika A i B, a  $\sigma_A$ ,  $\sigma_B$  i  $\sigma_{AB}$  varijanse i kovarijansa slika A i B. Parametri  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$  služe da odrede relativnu važnost svake od komponenti. Konstante  $C_1$ ,  $C_2$  i  $C_3$  definisane su kako bi se izbeglo deljenje sa nulom. U slučaju kada su  $\alpha=\beta=\gamma=1$  i  $C_3=C_2/2$  prethodna jednačina postaje:

$$SSIM(A, B) = \left( \frac{2\mu_A\mu_B + C_1}{\mu_A^2 + \mu_B^2 + C_1} \right) \left( \frac{2\sigma_{AB} + C_2}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2 + C_2} \right) \quad (2.29)$$

Što odgovara Univerzalnom indeksu kvaliteta (Universal Image Quality Index - *UIQI*) [103] i određuje se prema jednačini:

$$Q(A, B) = \frac{\sigma_{AB}}{\sigma_A\sigma_B} \frac{2\mu_A\mu_B}{\mu_A^2 + \mu_B^2} \frac{2\sigma_A\sigma_B}{\sigma_A^2 + \sigma_B^2} \quad (2.30)$$

Računanje indeksa strukturne sličnosti zasnovano je na proračunu delova slike (prozora) koji idu od gornjeg levog do donjeg desnog kraja slike. *SSIM* se računa lokalno za svaki prozor, zatim se sabiraju vrednosti za sve prozore u slici i usrednjava njihova vrednost kao konačna mera. *SSIM* i *UIQI* je adaptiran za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika i najčešće se koristi preko dva sledeća pristupa.

Prva definicija je korišćenjem *UIQI* za svaki prozor  $w$  odnosno  $Q(A, B|w)$  i data je u prema sledećoj jednačini [104]:

$$Q_S = \frac{1}{|w|} \sum_w [\lambda Q(A, F|w) + (1 - \lambda) Q(B, F|w)] \quad (2.31)$$

Odnosno gde se sabiraju *UIQI* vrednosti za svaki prozor sa težinskim faktorima  $\lambda$  koje određuju varijanse u prozoru za slike A i B:

$$\lambda = \frac{\sigma_A}{\sigma_A + \sigma_B} \quad (2.32)$$

Cvejić predlaže druge težinske komponente koje zavise od kovarijansi ulaznih i sjedinjene slike za procenu uspešnosti sjedinjavanja  $Q_C$  [105]:

$$\lambda = \begin{cases} 0 & \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}} \leq 0 \\ \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}} & 0 \leq \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}} \leq 1 \\ 1 & \frac{\sigma_{AF}}{\sigma_{AF} + \sigma_{BF}} > 1 \end{cases} \quad (2.33)$$

Težinski faktori zavise od sličnosti u prostornom domenu između ulaznih i sjedinjene slike za razliku od prethodne metode.

Yang predlaže meru  $Q_Y$  [106] zasnovanu na  $SSIM$  sa težinskim koeficijentima iz (2.33) prema sledećem:

$$Q_Y = \begin{cases} \lambda SSIM(A, F|w) + (1 - \lambda) SSIM(B, F|w) & SSIM(A, B|w) \geq 0,75 \\ \max(SSIM(A, F|w), SSIM(B, F|w)) & SSIM(A, B|w) < 0,75 \end{cases} \quad (2.34)$$

#### 2.4.4. Mere inspirisane ljudskom percepcijom

Dva osnovna pristupa mera zasnovanim ljudskom percepcijom predstavljeni su u [107,108]. Prva mera Chen-Varshney [107] predlažu metodu čija je osnova izdvajanje ivičnih informacija pomoću Sobel filtra, zatim podelu slike na delove (prozore) koji se ne poklapaju i računanjem srednjih vrednosti kvadrata ivičnih intenziteta lokalnih prozora dobijaju konačnu meru. Chen-Blum predlažu novu meru  $Q_{CB}$  [108], koja je zasnovana na proračunu lokalnog kontrasta u frekventnom domenu.

## 2.5. Mere za procenu sjedinjavanja video sekvenci

### 2.5.1. Zajedničke informacije kao mera za procenu sjedinjavanja video sekvenci

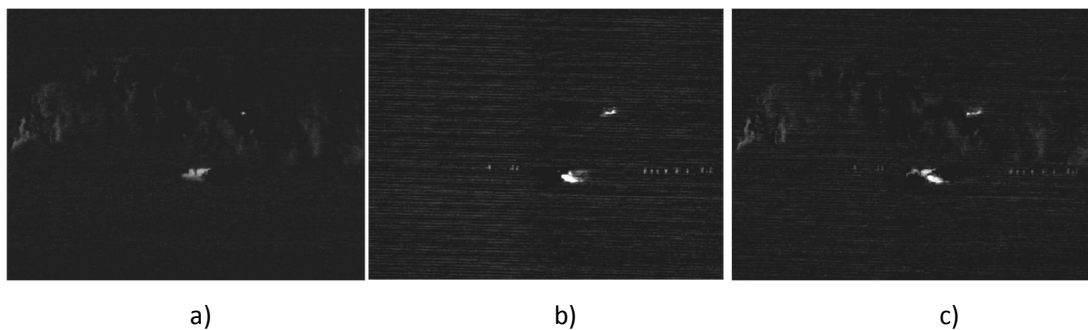
Zajedničke informacije mogu se koristiti za proračun uspešnosti sjedinjavanja sekvence slika. Oliver Rockinger i ThomasFechner [42] predložili su meru za sjedinjavanje sekvence slika koja se bazira na proračunu zajedničkih informacija razlika dva frejma ulaznih slika i sjedinjene slike. Jedan od glavnih ciljeva sjedinjavanja sekvence slika je vremenska stabilnost i saglasnost sjedinjene sekvence. Vremenska stabilnost podrazumeva da promene vrednosti nivoa sivog u sjedinjenoj sekvenci mogu biti prouzrokovane samo promenama

nivoa sivog u ulaznim sekvencama ili bar jednoj ulaznoj sekvenci, tj. da ove promene ne smeju biti prouzrokovane samim algoritmima za sjedinjavanje. Vremenska postojanost sjedinjene sekvence podrazumeva da promene u ulaznim sekvencama moraju biti predstavljene u sjedinjenoj sekvenci bez kašnjenja ili promene kontrasta. Autori u ovom radu porede razlike između frejmova *IFD* (*inter-frame-differences*) ulaznih sekvenci i sjedinjene sekvence. Razlika između frejmova (*IFD*) između dva sukcesivna frejma sekvence  $V_x(m, n, t)$  definiše se kao:

$$dV_x(m, n, t) = V_x(m, n, t) - V_x(m, n, t + 1) \quad (2.35)$$

Za proračun vremenske stabilnosti i postojanosti, prvo se pronalaze delovi u slikama razlike frejmova sjedinjene sekvence koje se nalaze i na ulaznim sekvencama, odnosno na jednoj ulaznoj sekvenci.

Na slici 2.20 prikazane su razlike između dva frejma televizijske i termovizijske slike ulazne sekvence, kao i razlika sjedinjena dva frejma ROLP piramidom.



**Slika 2.20.** Razlika dva sukcesivna frejma sekvence a) televizijske slike, b) termovizijske slike i c) slike sjedinjene ROLP piramidom.

Na krajnje desnoj, sjedinjenoj slici, vidi se da je ova metoda sjedinjavanja prouzrokovala nestanak jednog dela vozila koji je uočljiv na ulaznoj slici razlike.

Za proračun uspešnosti sjedinjavanja dve sekvence preko zajedničkih informacija koristi se sledeća jednačina:

$$I((V_a, V_b); V_f) = H(V_a, V_b) + H(V_f) - H(V_a, V_b, V_f), \quad (2.36)$$

gde su  $H(S_1, S_2)$  i  $H(S_1, S_2, F)$  združene entropije razlike frejmova ulaznih sekvenci i razlike frejmova ulaznih i sjedinjene sekvence respektivno. Iz jednačine se može videti da ukoliko postoji promena vrednosti nivoa sivog u razlikama frejmova u sjedinjenoj sekvenci koje se

ne nalaze u ulaznim sekvencama rezultira povećanje zajedničke entropije  $H(V_a, V_b, V_f)$  koja smanjuje vrednost zajedničkih informacija.

### 2.5.2. Indeks strukturne sličnosti kao mera za procenu sjedinjavanja video sekvenci

Mera zasnovana na indeksu strukturne sličnosti – *SSIM* za mirne slike može se prilagoditi i za video sekvence [109]. Kao i kod prethodne mere od osnovnog interesa je očuvanje prostornih informacija i vremenske stabilnost na koje je ljudski vizuelni sistem osetljiv. Osnovni princip mere je sličan kao kod mere za mirne slike za dobijanje prostornog značaja pomoću *SSIM* uz odgovarajuće težinske faktore, dok se za dinamički značaj uzima razlika sukcesivnih frejmova uz težinske komponente.

Procena uspešnosti prenesenih prostornih informacija iz ulaznih videa  $V_a$  i  $V_b$  u sjedinjeni  $V_f$  na osnovu *SSIM* indeksa za jedan frejm za svaki piksel  $m$  i  $n$ , računa se prema sledećoj jednačini:

$$Q_{s,t}(V_a, V_b, V_f) = \frac{\sum_m \sum_n [\lambda_a(w_{m,n,t})SSIM(V_a, V_f | (w_{m,n,t})) + \lambda_b(w_{m,n,t})SSIM(V_b, V_f | (w_{m,n,t}))]}{\sum_m \sum_n \lambda_a(w_{m,n,t}) + \lambda_b(w_{m,n,t})} \quad (2.37)$$

Lokalni težinski faktori  $\lambda_a(w_{m,n,t})$  i  $\lambda_b(w_{m,n,t})$  određuju lokalni značaj za frejm ulaznih videa. Regioni sa više energije ili sa većom varijansom sadrže više informacija i samim time privlače i više pažnje od posmatrača [110]. Prema tome u lokalnim prozorima se može koristiti za proračun težinskih koeficijenata, ali postoji problem u slučaju šuma, što onemogućava direktno korišćenje. U cilju povećanja otpornosti na šum lokalni koeficijenti se računaju prema jednačini [111]:

$$\lambda_{a/b}(w_{m,n,t}) = \log \left( \frac{\sigma_{a/b}^2(w_{m,n,t})}{\delta_{a/b}(t)} \right) \quad (2.38)$$

Gde je  $\sigma_{a/b}^2(w_{m,n,t})$  lokalna varijansa za prozor u frejmu videa, a  $\delta_{a/b}(t)$  predstavlja proračunatu snagu šuma za odgovarajući frejm.

Vremenski indeks kvaliteta sjedinjavanja  $Q_{T,t}$  računa se na sličan način kao i prostorni, samo što se umesto proračuna *SSIM* indeksa za tekući frejm koristi razlika dva frejma  $D_a$ ,  $D_b$  i  $D_f$  za ulazne i sjedinjeni video i težinski koeficijenti  $\xi_a$  i  $\xi_b$  koji odgovaraju promenama u video signalu:

$$Q_{T,t}(Va, Vb, Vf) = \frac{\sum_m \sum_n [\xi_a(w_{m,n,t})SSIM(D_a, D_f|(w_{m,n,t})) + \xi_b(w_{m,n,t})SSIM(D_b, D_f|(w_{m,n,t}))]}{\sum_m \sum_n \xi_a(w_{m,n,t}) + \xi_b(w_{m,n,t})} \quad (2.39)$$

Težinski koeficijenti predstavljaju značaj promena u video signalu i slično kao kod prostornih koeficijenata da bi se povećala otpornost na prisustvo šuma računaju se prema jednačini:

$$\xi_{a/b}(w_{m,n,t}) = 1 + \log \left( 1 + \left\| v_{r, \frac{a}{b}}(m, n, t) \right\|_2 \right) \quad (2.40)$$

Gde  $v_r$  predstavlja brzinu promene piksela i računa se iz algoritma za optički tok (engl. Optical flow) [112].

Konačno kombinujući prostorno i vremensko očuvanje informacija dobijenih pomoću *SSIM* indeksa dobija se jedinstvena mera za dinamičko sjedinjavanje video sekvenci za svaki frejm kao proizvod pojedinačnih mera sa različitim doprinosima  $\gamma$ :

$$Q_t(Va, Vb, Vf) = Q_{S,t}(Va, Vb, Vf)^\gamma Q_{T,t}(Va, Vb, Vf)^{1-\gamma} \quad (2.41)$$

Gde se koeficijent  $\gamma$  nalazi u opsegu od 0 do 1 i definiše relativni značaj prostorne i vremenske komponente mere.

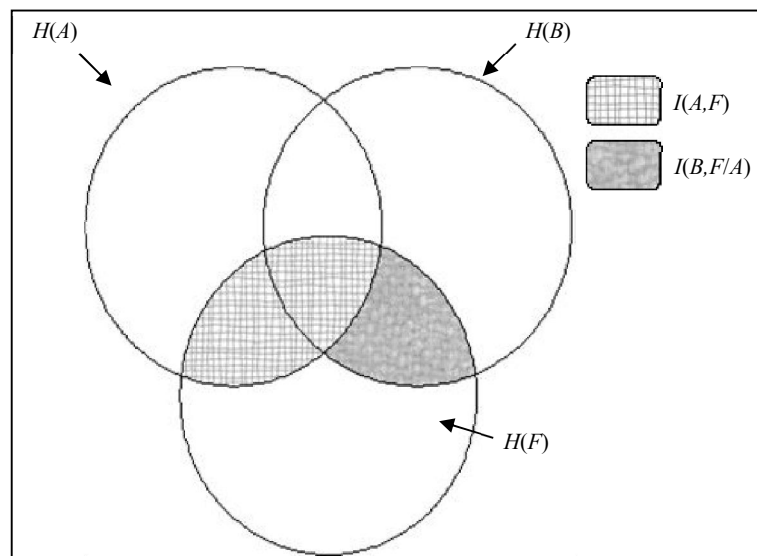
## 2.6. Procena uspešnosti sjedinjavanja kolor slika

### 2.6.1. Zajedničke informacije kao mera kvaliteta kolor sjedinjavanja

Svrha procesa sjedinjavanja slika je kombinacija multispektralnih slika u sjedinjenu koja uključuje maksimum mogućih informacija koje se nalaze u ulaznim slikama. Ulazne slike često pokazuju visoki stepen korelacije budući da pokrivaju različite delove elektromagnetskog spektra. Pošto se iste informacije mogu naći u više ulaznih slika opisuju se kao preklapanje informacija. Kao primer, u slučaju multisenzorskih slika, svaki opseg otkriva različita gledišta iste scene ali u isto vreme velika količina preklapajućih informacija može se videti u sastavu ili spektralnoj korelaciji. U objektivnoj proceni efikasnosti algoritma sjedinjavanja slika preklapajuće informacije mogle bi se razmatrati samo jednom za razliku od prethodnih mera [113].

Mera za procenu sjedinjavanja slika bazirana je na objektivnom proračunu zajedničke količine informacija zajedničku informaciju izvornih slika razmatra samo jednom. Svaka

ulazna slika tretira se kao diskretna slučajna promenjiva sa odgovarajućom funkcijom raspodele  $p(a)$  ili  $p(b)$ . Rezultujuća sjedinjena slika  $F$  takođe se tretira kao diskretna slučajna promenjiva sa funkcijom raspodele  $p(f)$ . Zajedničke informacije  $I(A,F)$  opisuju zajedničke informacije ulazne slike  $A$  i sjedinjene slike  $F$ . Uslovne zajedničke informacije  $I(B,F/A)$  opisuju zajedničke informacije između slike  $B$  i  $F$  bez  $A$ . U ovom slučaju samo informacije sadržane u slici  $B$  uzimaju se u obzir pri proračunu zajedničkih informacija između  $B$  i  $F$ . Generalni oblik uslovne zajedničke informacije  $I(B,F/A)$  garantuje da će zajednička informacija izvornih slika biti razmatrana samo jednom, kao što je ilustrovano na slici 2.21.



Slika 2.21. Uslovna međusobna informacija tri slike.

Zbir svih uslovnih zajedničkih informacija predstavlja totalnu količinu zajedničke informacije  $CI$  (*common information*), koja se od izvornih slika prenosi na sjedinjenu sliku i u slučaju dve izvorne slike može se napisati kao:

$$CI = I(A,F) + I(B,F/A) \quad (2.42)$$

Združena entropija  $H(A,B)$  predstavlja totalnu količinu informacija koja je prisutna u izvornim slikama. Tako se dolazi do mere za procenu performansi sjedinjavanja slika  $IFPM$  (*The Image Fusion Performance Measure*):

$$IFPM = \frac{CI}{H(A,B)} = \frac{I(A,F) + I(B,F/A)}{H(A,B)} \quad (2.43)$$



Mera *IFPM* ima dinamički opseg [0 1], gde vrednost nula odgovara nedostatku zajedničkih informacija izvornih slika i sjedinjene slike, dok vrednost jedan odgovara efikasnom procesu sjedinjavanja u kome su sve informacije izvornih slika prenete u sjedinjenu sliku (idealni slučaj).

Mera *IFPM* za monohromatsko sjedinjavanje može se uz odgovarajuće dopune koristiti i za procenu uspešnosti kolor sjedinjavanja [114]. Kao uspešan način za procenu sjedinjavanja kolor slika pokazalo se razdvajanje kanala intenziteta i hromatskog kanala i primena mera na obe komponente. Jedan od kolor sistema gde je komponenta intenziteta manje zavisna o hromatskih komponenti je CIELAB kolor sistem i upravo je on iskorišćen za dobijanje ukupne mere [115]. CIELAB kolor sistem sastoji se od monohromatske komponente  $L$  i dve hromatske  $a$  i  $b$ . Radi lakše predstave u radu je korišćen cilindrični koordinatni sistem tako da dobijamo:

$$C_{ab} = [a^2 + b^2]^{1/2} \quad (2.44)$$

$$h_{ab} = \tan^{-1} \left[ \frac{b}{a} \right] \quad (2.45)$$

Gde  $C_{ab}$  predstavlja čistoću, a  $h_{ab}$  nijansu boje, slično kao kod HSV kolor sistema. Iz razloga što je ljudski vizuelni sistem osetljiviji na nijanse boje nego na njenu čistoću, *IFPM* mera za kolor sjedinjavanje (*CIFM*) razmatra samo  $h_{ab}$  komponentu sistema.

*CIFM* mera za procenu uspešnosti kolor sjedinjavanja uzima u obzir dve komponente. Prva komponenta je prenos intenziteta piksela iz ulaznih u sjedinjenu kolor sliku i to je u stvari mera *IFPM* ranije objašnjena. Drugi deo mere su hromatske informacije prenete iz ulaznih u sjedinjenu sliku koristeći ugaone koordinate  $h_{ab}$  koje predstavljaju komponentu nijanse boje.

Za proračun očuvanja kolora na sjedinjenoj slici najpre se računa funkcija marginalne gustine verovatnoće za ugaone koordinate  $p(h_{ab})$ :

$$p(h_{ab}) = \iint_{L,C} p(L, C_{ab}, h_{ab}) dL dC_{ab} \quad (2.46)$$

Sjedinjena kolor slike se razmatra u CIELAB sistemu i njene  $h_{ab}$  koordinate imaju marginalnu funkciju gustine verovatnoće  $q(h_{ab})$ . Kako bi se izračunalo očuvanje kolor

informacija u sjedinjenoj slici, korišćeno je Kullback-Leibler rastojanje između dveju funkcija definisano sa:

$$D(p_{ab}||q_{ab}) = \sum_h p(h_{ab}) h \log \frac{p(h_{ab})}{q(h_{ab})} \quad (2.47)$$

Ukoliko su  $q(h_{ab})$  i  $p(h_{ab})$  slične, rezultat je približno nula, što znači da je distribucija boje iz ulaznih u sjedinjenu sliku skoro idealna. Kako bi se dobila komponenta mere za očuvanje boja predstavljena je raspodela nijansi *HD* (Hue Distribution) kao:

$$HD = 1 - D(p_{ab}||q_{ab}) = 1 - \sum_h p(h_{ab}) h \log \frac{p(h_{ab})}{q(h_{ab})} \quad (2.48)$$

Konačna mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor slika CIFM, dobija se kao:

$$CIFM = (IFPM, HD) \quad (2.49)$$

Vektor koji sadrži dve komponente rešava problem procene uspešnosti sjedinjavanja kolor slika. Veća vrednost *IFPM* znači da je veća količina informacija iz ulaznih slika prenesena u sjedinjenu sliku. Koristeći uslovne zajedničke informacije izbegnuto je preklapanje koje je značajno ako slike imaju slične sadržaje. Takođe, *HD* deo mere računa razlike u nijansi u CIELAB sistemu sjedinjene i ulaznih slika.

### 2.6.2. Univerzalni indeks kvaliteta kao mera kolor sjedinjavanja

Kao i ostale mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja monohromatskih slika i mera bazirana na Univerzalnom indeksu kvaliteta *UIQI* [103] može se primeniti na kolor sjedinjavanje. Ideju procene kvaliteta kolor slika koristeći *UIQI* predstavljeno je u [116]. Autori predlažu korišćenje kolor sistema koji razdvaja kanal intenziteta i hromatske kanale i zatim primenjuju poznatu meru zasnovanu na indeksu kvaliteta (*Q*) za svaki kanal posebno. Kao jedno od rešenja za izbor kolor sistema u radu je korišćen  $\lambda\beta$  kolor sistem.

Indeks *Q* autori računaju za svaki kanal pojedinačno i na taj način dobijaju tri različite mere za kanal intenziteta i dva hromatska kanala [116]. Indeks se računa za lokalni region veličine 8x8 od gornjeg levog do donjeg desnog ugla, dok se ukupna vrednost dobija usrednjavanjem po svim prozorima (*M* prozora za celu sliku) para slika:

$$Q = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M Q_j \quad (2.50)$$

Na ovaj način dobijamo tri indeksa sa oznakama  $Q_l$ ,  $Q_\alpha$  i  $Q_\beta$ . Konačan kolor indeks za procenu kvaliteta kolor slika  $Q_C$  računa se kao:

$$Q_C = \sqrt{w_l(Q_l)^2 + w_\alpha(Q_\alpha)^2 + w_\beta(Q_\beta)^2} \quad (2.51)$$

Gde su  $w_l$ ,  $w_\alpha$  i  $w_\beta$  težinski koeficijenti koji definišu važnost svakog od kanala u konačnoj meri, a računaju se optimizacijom mere sa subjektivnim testovima. Vrednost mere  $Q_C$  uzima vrednost od 0 do 1, odnosno od totalnog gubitka do idealne slike.

Mera za kolor slike nalazi primenu u kompresiji i ostalim obradama slike i primenjiva je u slučaju da posedujemo originalnu i iskvarenu sliku. Međutim u slučaju sjedinjavanja kolor i monohromatske slike, što je jedan od ciljeva sjedinjavanja slika, potrebno je meru prilagoditi za taj slučaj. U proceni kolor sjedinjavanja, kao i do sada razmatraćemo prenos intenziteta kroz  $l$  kanal i intenziteta monohromatske slike i prenosa hromatskih informacija iz kolor u sjedinjenu sliku.

Koristeći *UIQI* za monohromatske slike dobija se mera za prenos intenziteta iz ulaznih u sjedinjenu sliku u parcijalnu meru  $Q_{IF}$  prema jednačini:

Na kraju konačna mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor slika  $Q_{CF}$  dobija se prema:

$$Q_{CF} = \sqrt{w_{IF}(Q_{IF})^2 + w_\alpha(Q_\alpha)^2 + w_\beta(Q_\beta)^2} \quad (2.52)$$

Parametre koje određuju relativni značaj svake od parcijalnih mera odredićemo tako da mera bude u skladu sa ljudskim vizuelnim sistemom. Za određivanja parametara najpre su odrađeni subjektivni testovi, a zatim je izvršena procena uspešnosti kolor sjedinjavanja preko mere  $Q_{CF}$  sa različitim parametrima. Maksimalna vrednost SROC mere koje određuje korelaciju subjektivnih i objektivnih rezultata na osnovu ranga daće vrednost parametara. Koristeći se rezultatima prema [116] nalazimo da je očekivana vrednost parametara  $w_{IF}$ ,  $w_\alpha$  i  $w_\beta$  oko vrednosti [3, 1, 1]. Vrednosti parametara su menjane u opsegu od  $\pm 0.5$  sa korakom 0.1. Korišćene su tri metode kolor sjedinjavanja na bazi koja sadrži 3 različita scenarija. Maksimalna vrednost korelacije subjektivne i objektivne mere dobijeni su za parametre  $[w_{IF}, w_\alpha, w_\beta] = [3.2, 1.1, 0.9]$ .

### 2.6.3. Poređenje objektivnih mera

Izbor mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja zavisi od više parametara, tako da do sada nije prihvaćena ni jedna mera koja je pogodna za sve uslove primene u sjedinjavanju slika. Jedan od načina kategorizacije mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja je poređenje rezultata koje one daju u vidu Kendal  $\tau$  ranga korelacionog koeficijenta [117]. Najpre se definiše set sa elementima  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  gde su parovi  $x$  i  $y$  rezultati mera koje se porede za metode sjedinjavanja 1 do  $n$ . Zatim se vrši poređenje svakog para u setu i par je usaglašen ako je  $x_i > x_j$  i  $y_i > y_j$  ili  $x_i < x_j$  i  $y_i < y_j$ , dok je u ostalim slučajevima neusaglašen. Ukoliko je  $x_i = x_j$  ili  $y_i = y_j$  par ne pripada ni jednom. Kendal  $\tau$  korelacija za merenje sličnosti mera za sjedinjavanje računa se kao:

$$\tau = 2 \frac{\text{Broj usaglašenih parova} - \text{broj neusaglašenih parova}}{n(n-1)} \quad (2.53)$$

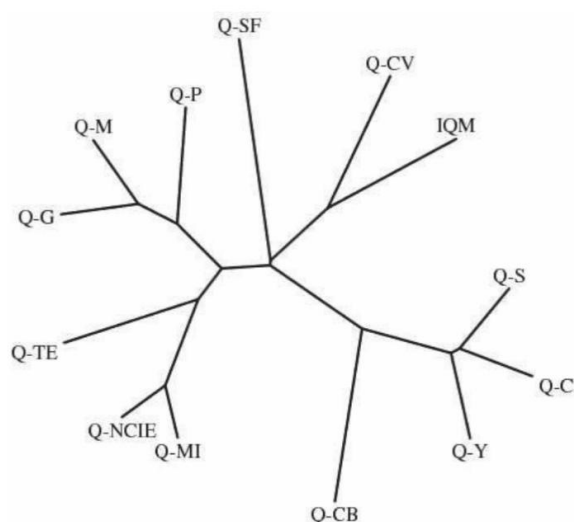
Korelacioni koeficijent uzima vrednosti u opsegu od 1 do -1, što predstavlja totalno slaganje ili neslaganje mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Korelacioni koeficijent je naročito pogodan za poređenje kada mere imaju različite dinamičke opsege i teško je na osnovu vrednosti izvršiti njihovo poređenje. Primer rezultata dve mere na 6 različitih metoda za sjedinjavanje slika dat je u tabeli 2.1.

Tabela 2.1. Poređenje rezultata objektivnih mera za sjedinjavanje slika.

	Metoda 1	Metoda 2	Metoda 3	Metoda 4	Metoda 5	Metoda 6
	[10]	[9]	[42]	[11]	[6]	[8]
Mera 1 [97]	0,55	0,48	0,63	0,52	0,44	0,59
Mera 2 [104]	3,1	2,8	3,6	4,0	2,5	3,7

Računanjem usaglašenosti za svaki par dobija se 10 usaglašenih parova i 5 neusaglašenih parova, što u ovom slučaju daje rezultat korelacionog koeficijenta od 0,3.

U cilju vizuelizacije i lakšeg poređenja korelacije između mera može se koristiti dendrogram koji transformiše korelacione koeficijente u rastojanja na dijagramu [118,119]. Što su bliže na stablu mere to je njihova korelacija veća i obrnuto. Primer dendrograma za ranije pomenute mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja dat je na slici 2.22.



Slika 2.22. Prikaz dendograma sa objektivnim merama za procenu uspešnosti sjedinjavanja.

#### 2.6.4. Subjektivna procena uspešnosti sjedinjavanja

Perceptualni ili subjektivni testovi predstavljaju najprihvaćeniji i najrasprostranjeniji način određivanja uspešnosti sjedinjavanja. U njima ljudski posmatrači (subjekti), pod kontrolisanim uslovima, procenjuju sjedinjene slike ili izvršavaju određene (merljive) aktivnosti sa sjedinjenim slikama. Subjektivne testove moguće je klasifikovati na osnovu nekoliko aspekata.

U zavisnosti od uloge subjekta u testu postoje aktivni ili testovi sa zadatkom i pasivni ili ocenjivački subjektivni testovi [120]. U aktivnim testovima subjekti obavljaju neku aktivnost ili izvršavaju određeni zadatak koristeći informacije koje dobijaju u vidu sjedinjenih slika. Uspešnost sjedinjenih slika meri se kroz uspešnost subjekata da izvrše neki zadatak (npr. testovi u kojima se očekuje da subjekti pronađu i prepoznaju određeni objekat na sjedinjenoj slici). Proteklo vreme i verovatnoće tačne identifikacije i lažnog alarma su pokazatelji uspešnosti algoritma sjedinjavanja koji proizvodi prikaz. U pasivni testovima posmatrači nemaju aktivnu ulogu i jednostavno procenjuju prikazane sjedinjene slike i izražavaju svoje mišljenje o uspešnosti sjedinjavanja. Primer su testovi sa "obaveznim izborom" gde se subjekti odlučuju za jednu ili nijednu od ponuđenih sjedinjenih slika na osnovu svog doživljaja.

Subjektivni testovi mogu biti formalni i neformalni u zavisnosti od nivoa kontrole nad uslovima pod kojima se obavlja test. Formalni testovi strogo prate opširno definisani skup

pravila i uslova koji definišu aspekte poput veličine prikaza, svetlosnih uslova, udaljenosti posmatrača od prikaza, test procedure itd. Neformalni testovi prate slabije definisanu formu i generalno se organizuju kao pasivni testovi. Formalni testovi su često aktivni testovi za procenu sjedinjavanja u specifičnim namenama gde su uslovi i postupci zahtevani od subjekata dovoljno dobro definisani samom namenom.

Broj i iskustvo posmatrača koji učestvuju u testu je još jedan važan faktor u subjektivnom utvrđivanju uspešnosti sjedinjavanja. Opšteprihvaćeno mišljenje u vezi sa brojem posmatrača je "što više to bolje", pošto ovaj broj direktno određuje kredibilitet rezultata. Zbog relativno komplikovane postavke, formalni testovi se uglavnom prave za manji broj subjekata, do 10, u poređenju sa neformalnim čiji broj ide od 10 do 30. Sastav subjektivnog uzorka može se u zavisnosti od iskustva podeliti na iskusan, poluiskusan i naivan. Iskusni posmatrači su tesno vezani za oblast sjedinjavanja slika i podrobno su upoznati sa ciljevima procesa. Oni su neophodni za procenu sjedinjavanja u specifičnim namenama. Sa druge strane, naivni posmatrači nemaju prethodni kontakt sa sjedinjenim slikama, ali zadovoljavaju osnovne kriterijume ovakve vrste testiranja.

Izlaz subjektivnih eksperimenata su ocene kvaliteta posmatrača, koje se nakon testa usrednjavaju i prikazuju kroz prosečnu subjektivnu ocenu (mean opinion score *MOS*). *MOS* je najčešće korišćeni metod generalizacije subjektivnih skorova datih od strane više nezavisnih posmatrača kvalitetu nekog audio i/ili video signala i koristi se kao polazna osnova za razvoj objektivnih mera procene. To je prosta aritmetička sredina skorova posmatrača (učesnika testa) datih nekom signalu:

$$MOS_i = \frac{1}{N_s} \sum_1^{N_s} SQ(n, i) \quad (2.54)$$

gde su:

$i$ – indeks (oznaka) videa sa degradacijom u subjektivnom testu,

$SQ(n, i)$  – subjektivni kvalitet dat od  $n$ -tog posmatrača  $i$ -toj sekvenci  $i$

$N_s$ – broj posmatrača u subjektivnom testu.

### 2.6.5. Poređenje subjektivnih i objektivnih testova

Za poređenje rezultata subjektivnih i objektivnih mera uzeta su dva koncepta u vidu Pearson Linear Correlation Coefficient, *LCC* i Spearman Rank-Order Correlation Coefficient,

## 2. Pregled literature

---

*SROCC*. *LCC* metrika za skup od  $N$  parova  $(x_i, y_i)$  koji je u idealnom slučaju uparenosti se dobija prema sledećoj jednačini:

$$LCC = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.55)$$

Gde  $\bar{x}$  i  $\bar{y}$  predstavljaju srednje vrednosti skupova, što je u našem slučaju srednje vrednosti odgovora subjekata za svaku metodu iz sekvence i srednja vrednost mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja za metodu iz sekvence.

Druga metoda za uparenost skupova subjektivnih i objektivnih rezultata u ovom radu je korišćen Spearman Rank-Order Correlation Coefficient, *SROCC* i definiše se kao:

$$SROCC = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^N (\aleph_i - \gamma_i)}{N(N^2 - 1)} \quad (2.56)$$

Gde su  $\aleph_i$  i  $\gamma_i$  rangovi vrednosti  $x_i$  i  $y_i$ . Kroz ovaj parametar poredi se promena između susednih parova subjektivnih rezultata sa promenom unutar odgovarajućih vrednosti objektivnih mera. *SROCC* radi samo sa rangovima i samim tim ignoriše relativne distance između njih i uzima se za mali broj odbiraka, što je naš slučaj. Sa porastom *SROCC* raste i uparenost subjektivne i objektivne procene, a idealan slučaj je 1.

## **3. VIDEO SJEDINJAVANJE U REALNOM VREMENU**

Tehnike video sjedinjavanja pomenute u prethodnom poglavlju, koje uzimaju u obzir vremensku komponentu daju bolje rezultate od standardnih frejm po frejm metoda, ali su one vremenski zahtevne i za veće rezolucije videa dovode u pitanje rad u realnom vremenu. Ovakve metode zahtevaju kombinaciju već postojećih multiveličinskih metoda, razlaganje više od jednog frejma za proračun sjedinjenih koeficijenta tekućeg frejma i još dodatnih vremenski parametara (proračun pokreta, vremenski filtri) što značajno doprinosi složenosti algoritama. Neki od algoritama zahtevaju vreme obrade veće od jedne sekunde po frejmu za rezolucije videa manje od 0,1 megapiksela [41].

Prema tome potrebno je pronaći novi pristup sjedinjavanju video sekvenci koji će otkloniti nedostatke koji su ranije opisani i uz prostorno-vremensku stabilnost omogućiti izvršavanje algoritama u realnom vremenu, odnosno izvršavati sjedinjavanje video sekvenci minimalne rezolucije 640x480 piksela na 25 frejmova u jednoj sekundi. Na osnovu ranijih rezultata i poređenja metoda za sjedinjavanje mirnih slika, pokazalo se da prema subjektivnim testovima i objektivnim merama sjedinjavanje Laplasovom piramidom daje najbolje rezultate. Takođe, algoritam nije vremenski zahtevan u poređenju sa algoritmima koji daju slične skorove testova. Rezultate potvrđuju i autori [4] koji porede 18 različitih metoda za sjedinjavanje sa 9 mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Takođe, dali su i analizu vremena potrebnog za izvršenje algoritama. Kao zaključak se ističe da je sjedinjavanje Laplasovom piramidom među najuspešnijim metodama kada se u obzir uzmu oba parametra. Većina metoda je već neupotrebljiva za sjedinjavanje u realnom vremenu na slikama rezolucije 270x360, gde se za sjedinjavanje zahteva i do 94 sekunde za jedan par slika. Za navedenu rezoluciju samo 4 algoritma je moguće primeniti u realnom vremenu, koji su po



većini mera za sjedinjavanje lošiji od sjedinjavanja Laplasovom piramidom. Iz tih razloga primena Laplasove piramide u video sjedinjavanju bi mogla da reši postojeće probleme i bude pogodna u sistemima koji zahtevaju rad u realnom vremenu. Potrebno je za smanjenje vremena procesorske obrade smanjiti i broj frejmova koje treba procesirati a da se pri tome zadrži vremenska komponenta sjedinjavanja. Isto tako možda najvažnije deo algoritma su i tehnike izbora sjedinjenih piksela, koji direktno utiče na izborni rezultat.

#### 3.1. Sjedinjavanje dinamičkom laplasovom piramidom

Osnovu Laplasove piramide predstavlja Gausova piramida [8]. Prvo se formira Gausova ili NP piramida. To je niz slika dobijenih filtriranjem ulazne slike NP filtrom i umanjjenih po veličini faktorom dva. Prvi korak u dobijanju Gausove piramide je filtriranje niskopropusnim filtrom originalne slike  $G_0$  da bi dobili sliku  $G_1$ . Slika  $G_1$  je "redukovana" verzija originalne slike  $G_0$  sa dva puta manjom rezolucijom. Na sličan način dobijamo sliku  $G_2$  koja je redukovana verzija slike  $G_1$ . Sekvenca  $G_0, G_1, G_2, \dots, G_n$  naziva se Gausova piramida.

Slika  $G_0$  predstavlja matricu sa  $C$  kolona i  $R$  vrsta piksela, svaki piksel predstavlja nivo sivog i uzima celobrojnu vrednost  $I$  između 0 i  $K-1$ . Ova slika predstavlja dno ili nulti nivo Gausove piramide. Prvi nivo piramide  $G_1$  dobija se redukovanjem ili niskopropusnom filtracijom slike  $G_0$ . Svaka vrednost piksela na prvom nivou piramide je usrednjena vrednost piksela sa nultog nivoa prozorskim filtrom  $5 \times 5$ . Svaka vrednost piksela na drugom nivou piramide  $G_2$  dobija se primenom istog prozora na piksele sa prvog nivoa  $G_1$ .

Veličina prozora filtriranja nije fiksna ali veličina  $5 \times 5$  daje dobre rezultate sa malim računarskim zahtevima. Ovaj proces naziva se redukcija (engl. *REDUCE*) i može se zapisati kao  $G_l = REDUCE(G_{l-1})$ , odnosno

$$G_l(m, n) = \sum_{i,j=-2}^2 w(i, j) G_{l-1}(2m+i, 2n+j) \quad (3.1)$$

gde broj  $N$  predstavlja broj nivoa Gausove piramide. Prilikom sjedinjavanja slika vrednost parametara  $N$  mora predstavljati kompromis između brzine sjedinjavanja i kvaliteta sjedinjene slike.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

Za filtriranje se koristi dvodimenzionalni filtar dimenzija 5x5 piksela (generišući kernel).

Filtar je odabran tako da zadovoljava nekoliko uslova:

1. Separabilnost:

$$w(i, j) = w_g(i) \cdot w_g(j) \quad (3.2)$$

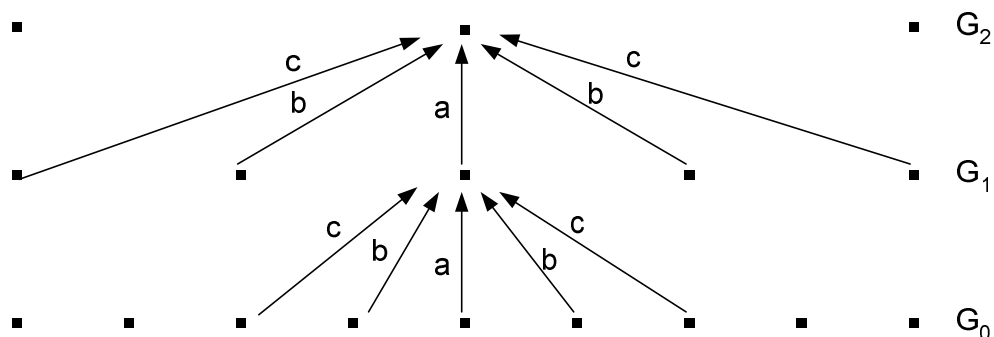
2. Normalizacija i simetričnost:

$$\sum_{i=-2}^2 w_g(i) = 1, w_g(i) = w_g(-i), i = 0, 1, 2 \quad (3.3)$$

3. Jednak doprinos tačaka na datom i na sledećem višem nivou (*equal contribution*).

Neka je  $w_g(0)=a$ ,  $w_g(-1)=w_g(1)=b$  i  $w_g(-2)=w_g(2)=c$ . Da bi ovaj uslov bio zadovoljen mora važiti  $a+2c=2b$ .

Grafička prezentacija primene prozora filtriranja u jednodimenzionalnom slučaju prikazana je na slici 3.1.



Slika 3.1. Formiranje Gausove piramide u jednodimenzionalnom slučaju.

Jedan od slučajeva kada su sva tri uslova zadovoljena je:

$$w_g(0)=a \quad w_g(-1)=w_g(1)=1/4 \quad w_g(-2)=w_g(2)=1/4-a/2 \quad (3.4)$$

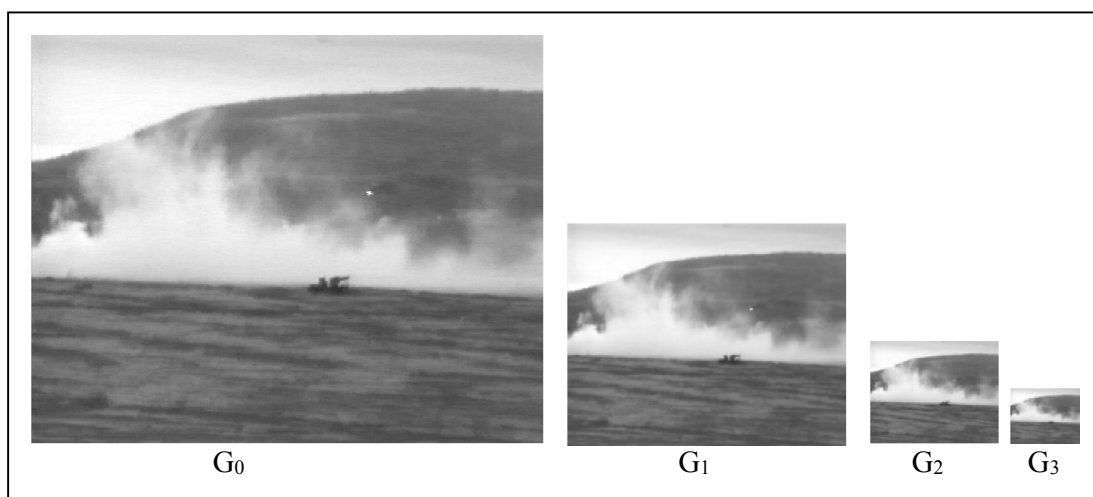
Iterativni postupak generisanja Gausove piramide je ekvivalentan konvoluciji originalne slike  $G_0$  sa skupom ekvivalentnih funkcija  $h_l$  ( $g_l = h_l \oplus g_0$ ), tj.:

$$G_l(m, n) = \sum_{i=-M_l}^{M_l} \sum_{j=-M_l}^{M_l} h_l(i, j) g_0(m \cdot 2^l + i, n \cdot 2^l + j) \quad (3.5)$$

Na slici 3.2 prikazana je Gausova piramida izvorne slike. Pri generisanju piramide korišćen je parametar generišućeg kernela  $a=0.4$ . Leva slika je izvorna slika i čini nulti nivo piramide.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

Dimenzije najnižeg nivoa Gausove piramide su 380x500 piksela a dimenzije najvišeg nivoa piramide su 48x68 piksela. Viši nivo piramide je četiri puta manji od prethodnog nivoa.



**Slika 3.2. Gausova piramida televizijske slike.**

Inverzna operacija od redukovanja je ekspanzija (engl. *EXPAND*). Ekspanzija predstavlja dobijanje matrice  $(2M+1) \times (2N+1)$  od matrice  $(M+1) \times (N+1)$  tako što se nove vrednosti piksela dobijaju interpolacijom sa prethodnog nivoa. Neka je slika  $G_{l,k}$  dobijena ekspanzijom slike  $G_l$   $k$  puta, onda je:

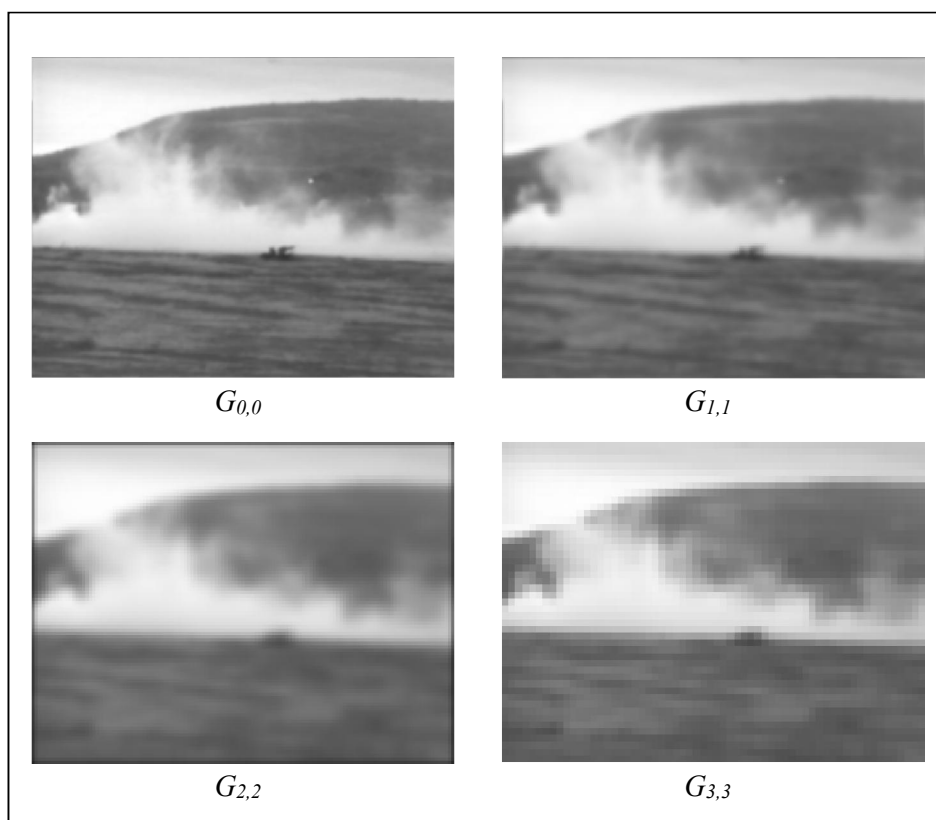
$$G_{l,0} = G_l, \text{ i } G_{l,k} = \text{EXPAND}(G_{l,k-1}) \quad (3.6)$$

Što znači da je

$$G_{l,k}(m,n) = 4 \sum_{i,j=-2}^2 w(i,j) G_{l,k-1}\left(\frac{m+i}{2}, \frac{n+j}{2}\right) \quad (3.7)$$

U prethodnom izrazu u sumi učestvuju samo članovi za koje su vrednosti  $(m+i)/2$  i  $(n+j)/2$  celobrojne.

Ako ekspandujemo  $l$  puta sliku  $G_l$  dobićemo sliku  $G_{l,l}$  koja je iste veličine kao i originalna slika. Na slici 3.3 prikazane su slike  $G_{0,0}$ ,  $G_{1,1}$ ,  $G_{2,2}$  i  $G_{3,3}$  koje se dobijaju ekspanovanjem nivoa Gausove piramide sa slike. Na slici 3.2 uočava se efekat koji ima niskofrekventno filtriranje – razmrljavanje izvorne slike.



**Slika 3.3. Ekspandovane slike Gausove piramide.**

Sekvencu  $L_0, L_1, \dots, L_{N-1}$  dobijamo kao razliku između NP slike i ekspanzije slike sa višeg nivoa:

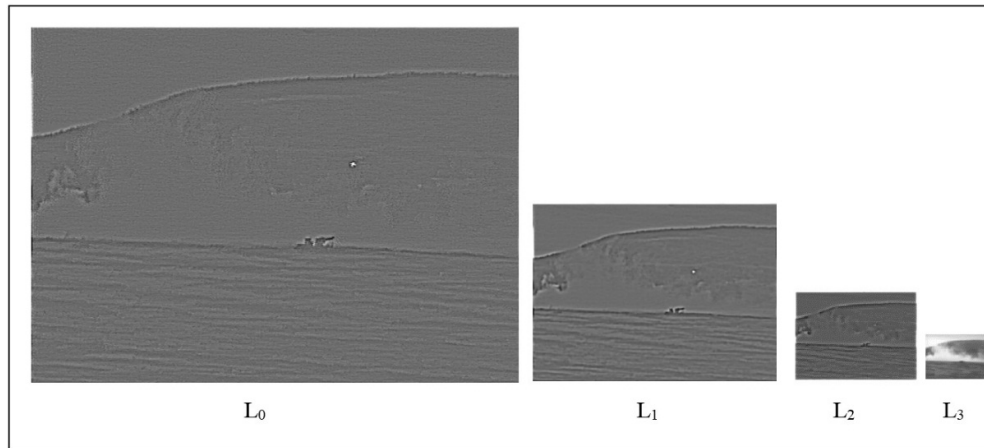
$$L_l = G_l - EXPAND(G_{l+1}) \quad (3.8)$$

Na ovaj način dobijamo sekvencu od slika propuštenih kroz filter propusnik opsega. Iz ovog razloga ovakva piramida naziva se *DOLP (difference of low-pass)* ili Laplasova piramida. Laplasova piramida je kompletna reprezentacija originalne slike.

Laplasova piramida televizijske slike sa 4 nivoa prikazana je na slici 3.4. Leva slika predstavlja nulti nivo piramide i sadrži sitnije detalje, odnosno više delove spektra. Skroz desna slika predstavlja poslednji nivo piramide (u ovom slučaju treći nivo) i sadrži veće pojave, odnosno niže frekvencije. Može se videti da se originalna slika može dobiti ekspanzijom a zatim sabiranjem nivoa Laplasove piramide:

$$G_0 = \sum_{l=0}^N L_{l,l} \quad (3.9)$$

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

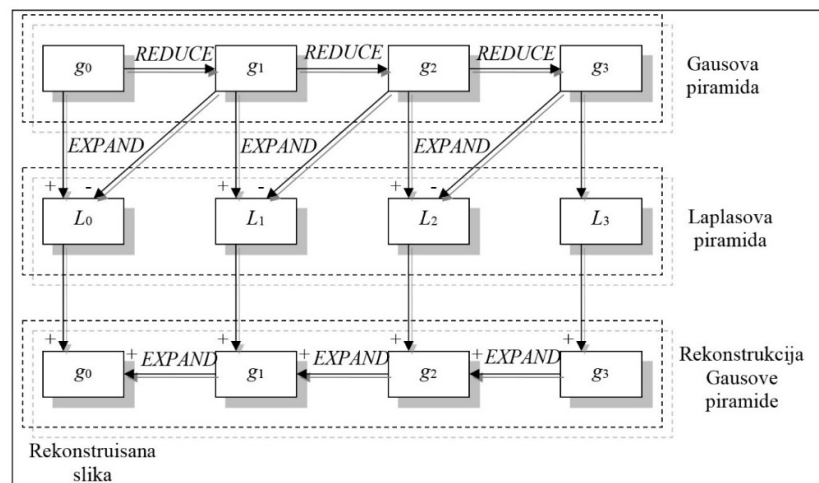


Slika 3.4. Laplasova piramida televizijske slike.

gde je  $L_{l,l}$  ekspanovana slika na  $l$ -tom nivou  $l$  puta. Mnogo jednostavniji postupak je da se slika sa  $n$ -tog nivoa ekspanduje, pa onda sabere sa slikom na  $n-1$  nivou i tako sve do nultog nivoa (slika 3.5). Ovaj postupak je obrnut od redosleda dobijanja Laplasove piramide i prikazan je jednačinom:

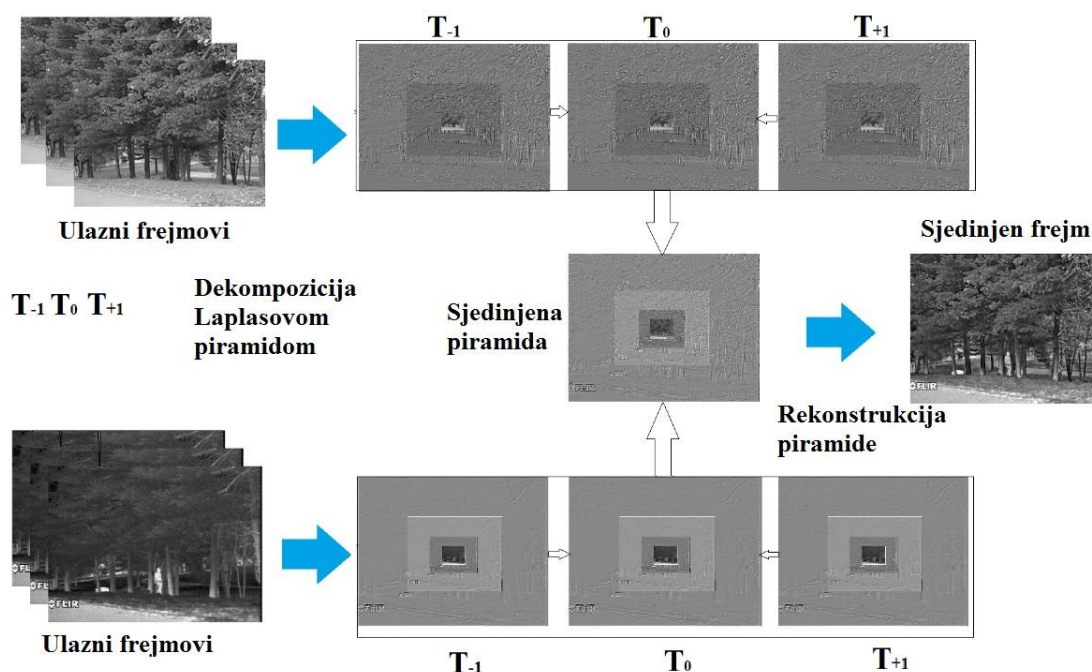
$$G_N = L_N \quad G_i = L_i + EXPAND(G_{i+1}) \quad (3.10)$$

Vrednost svake tačke u Laplasovoj piramidi predstavlja razliku konvolucija ekvivalentnih funkcija  $h_l$  i  $h_{l+1}$  sa originalnom slikom. Vrednosti tačaka u piramidi mogu se dobiti i konvolucijom originalne slike sa odgovarajućom Laplasovom funkcijom (zbog čega se i naziva Laplasova piramida). Kompletan postupak generisanja Gaus-Laplasove piramide i rekonstrukcije izvorne slike prikazan je blok dijagramom na slici 3.5.



Slika 3.5. Postupak generisanja Gaus-Laplasove piramide i rekonstrukcije izvorne slike.

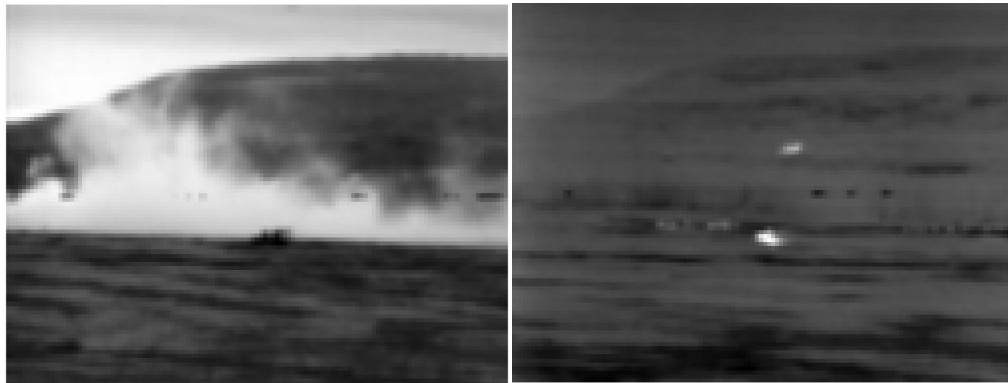
Predloženi algoritam koristi Laplasovu piramidu za razlaganje video sekvence i pri tome za sjedinjavanje jednog (tekućeg frejma) koristi tri sukcesivna frejma (prethodni, tekući i sledeći frejm) (slika 3.6). Ono što predstavlja prednost u odnosu na postojeće algoritme za video sjedinjavanje je što se za sjedinjavanje jednog frejma vrši razlaganje Laplasovom piramidom samo jednog frejma, dok se ostala dva uzimaju iz memorije. Odnosno za sjedinjavanje sledećeg frejma korišće se dva frejma iz prethodnog sjedinjavanja, što značajno smanjuje vreme procesiranja. Isto tako nema ni dodatnih obrada kao što su detekcija pokreta ili izdvajanje pozadine.



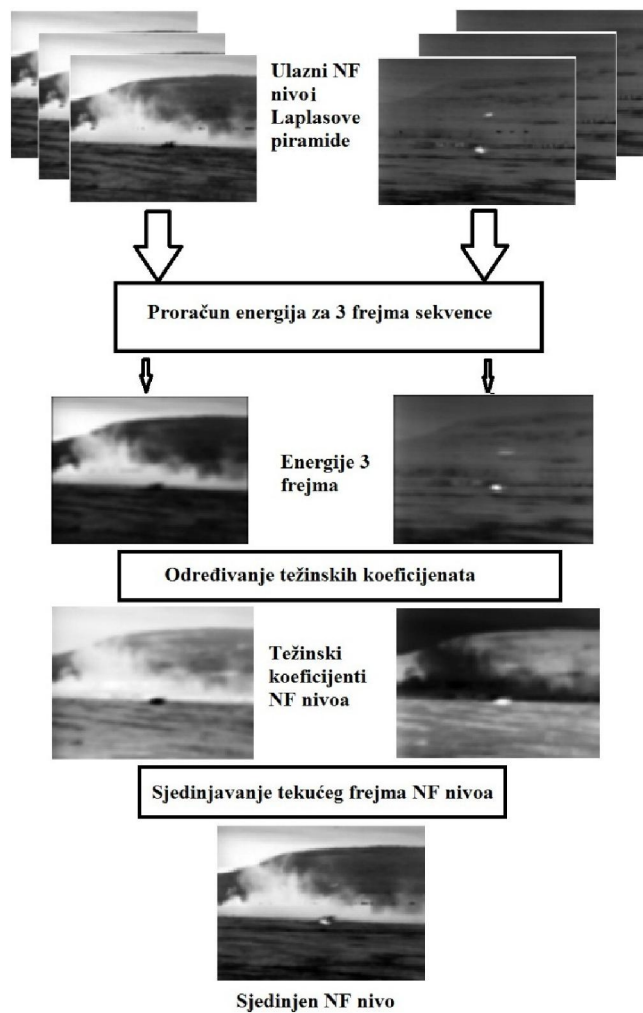
Slika 3.6. Šema sjedinjavanja dinamičkom Laplasovom piramidom.

Sjedinjena Laplasova piramida uzimaće vrednosti samo iz Laplasovih piramida tekućeg frejma ulaznih sekvenci (slika 3.7), dok prethodne i sledeće dekompozicije ulaznih frejmova određivaće značaj dobijen iz energije signala. Prvo se grupišu niskofrekventni nivoi Laplasove piramide obe sekvence sva tri frejma. Pravilo sjedinjavanja će biti prostorno-vremensko zasnovano na energijama okoline centralnog piksela (slika 3.8). Veličina prostora koja će se uzeti u proračun  $M=N=T=3$ . Na taj način će se zadržati prostorna i vremenska stabilnost u sjedinjenoj sekvenci.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.7. NF nivoi Lapsusove piramide za tekući frejm TV i IR sekvence.



Slika 3.8. Sjedinjavanje NF nivoa dinamičkom Laplasovom piramidom.

Sjedinjeni niskofrekventni koeficijenti Laplasove piramide dobijaju se prema:

$$F_{L0}^k(m, n) = \omega_{Va}^k(m, n)L_0^{Va,k}(m, n) + \omega_{Vb}^k(m, n)L_0^{Vb,k}(m, n) \quad (3.11)$$

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

Gde su  $L_0^{Va,k}(m,n)$  i  $L_0^{Vb,k}(m,n)$  niskofrekventni koeficijenti Laplasove piramide tekućeg frejma na poziciji  $(m,n)$ , a  $\omega_{Va}^k(m,n)$  i  $\omega_{Vb}^k(m,n)$  lokalne težinski koeficijenti koji predstavljaju energiju okoline piksela u prostorno vremenskom domenu. Niskofrekventni koeficijenti predstavljaju najniži nivo u kome je sadržana glavna energija i veće strukture frejma. Prema tome težinski koeficijenti za sjedinjavanje niskofrekvencijskih koeficijenata Lapasove piramide određuju se iz:

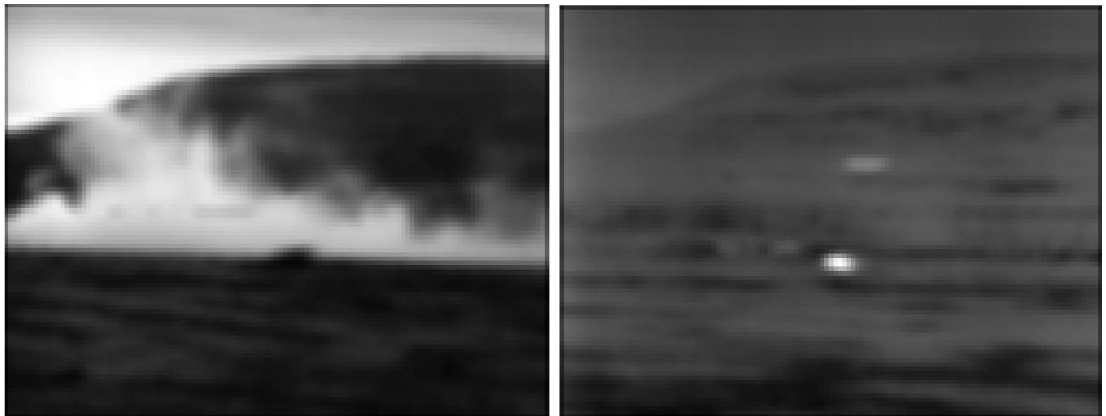
$$\omega_{Va}^k(m,n) = \frac{E_{Va}^k(m,n)+\varepsilon}{E_{Va}^k(m,n)+E_{Vb}^k(m,n)+\varepsilon} \quad (3.12)$$

$$\omega_{Vb}^k(m,n) = 1 - \omega_{Va}^k(m,n) \quad (3.13)$$

Gde je  $\varepsilon$  mala pozitivna konstanta kako bi se izbeglo deljenje sa nulom. Lokalna prostorno-vremenska energija  $E$  za centralni piksel i njegovu prostorno-vremensku okolinu računa se prema:

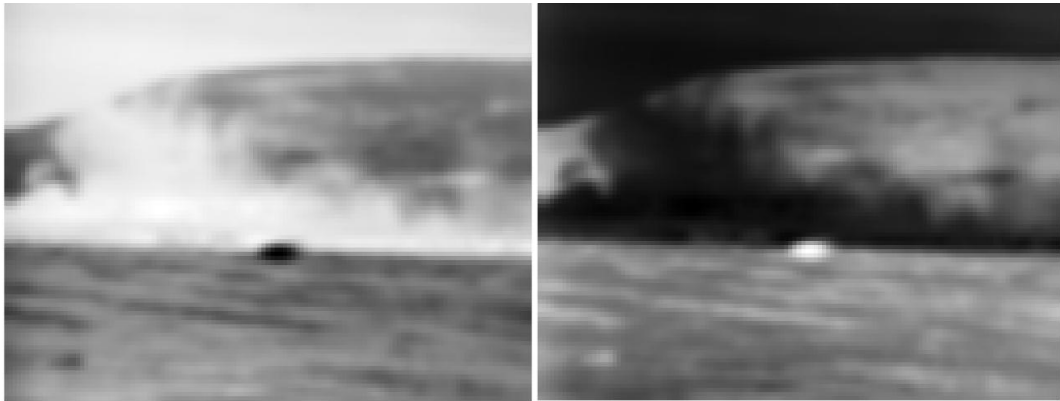
$$E_{\frac{Va}{Vb}}^k(m,n) = \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} \sum_{\eta=-T/2}^{T/2} \left| L_0^{\frac{Va}{Vb}}(x+m, y+n, t+\eta) \right|^2 \quad (3.14)$$

U našem slučaju uzeta je okolina od 3 piksela, tako da sve tri sume su od -1 do 1. Na slici 3.9 date su energije NF nivoa Laplasove piramide za tekući frejm TV i IR sekvence i vidi se da one odgovaraju vrednostima signala NF nivoa Laplasove piramide kao na slici 3.7. Slika 3.10 predstavlja težinske koeficijente  $\omega_{Va}^k(m,n)$  i  $\omega_{Vb}^k(m,n)$  za tekući frejm, dok je na slici 3.11 prikazan sjedinjeni NF tekući frejm opisanom metodom.



Slika 3.9. Energije NF nivoa Laplasove piramide za tekući frejm TV i IR sekvence.





Slika 3.10. Težinski koeficijenti za NF nivoe Laplasove piramide za tekući frejm TV i IR sekvence.

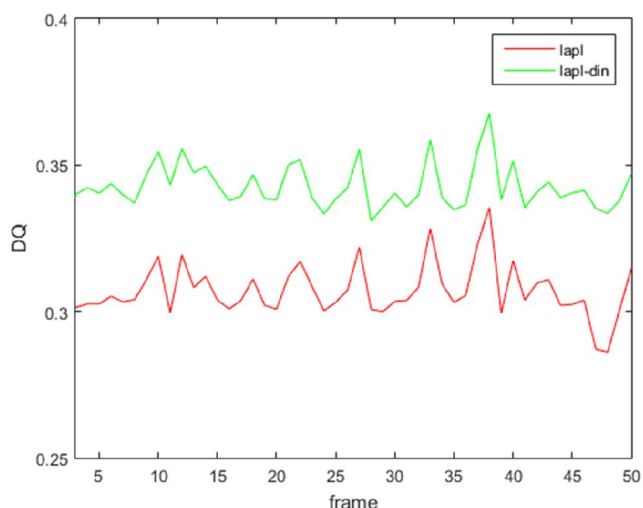


Slika 3.11. Sjedinjena NF slika tekućeg frejma.

Sledeći korak je sjedinjavanje koeficijenata Laplasove piramide  $L_i^{Va}(m,n,t)$  i  $L_i^{Vb}(m,n,t)$  koji predstavljaju više frekvencije a samim tim i finije detalje. Slično kao kod sjedinjavanja niskih frekvencija i ovde se koristi prostorno-vremensko okruženje piksela koji se sjedinjuje veličine  $M \times N \times T$ . Veličina prozora u svim pravcima je ista i iznosi 3.

Prema dobro poznatim tehnikama za sjedinjavanje viših frekvencija zasnovani na multiveličinskim razlaganjima, izbor maksimalne apsolutne vrednosti piksela se najčešće koristi kao pouzdana odluka. Međutim u ovom slučaju koriste se tri sukcesivna frejma i ukoliko se uzmu u obzir i okolni pikseli u prostornom domenu, na izbornu odluku će uticati prozor dimenzija  $3 \times 3 \times 3$ . Izbor koeficijenta piramide u sjedinjenu koristeći pravilo veće okolne energije bi bilo rešenje za sjedinjavanje visokofrekventnih nivoa. Rezultati mere  $DQ$  [98] za sjedinjavanje video sekvenci na prvih 50 frejmova va1 sekvence za standardno sjedinjavanje laplasovom piramidom i predloženu metodu dato je na slici 3.12.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

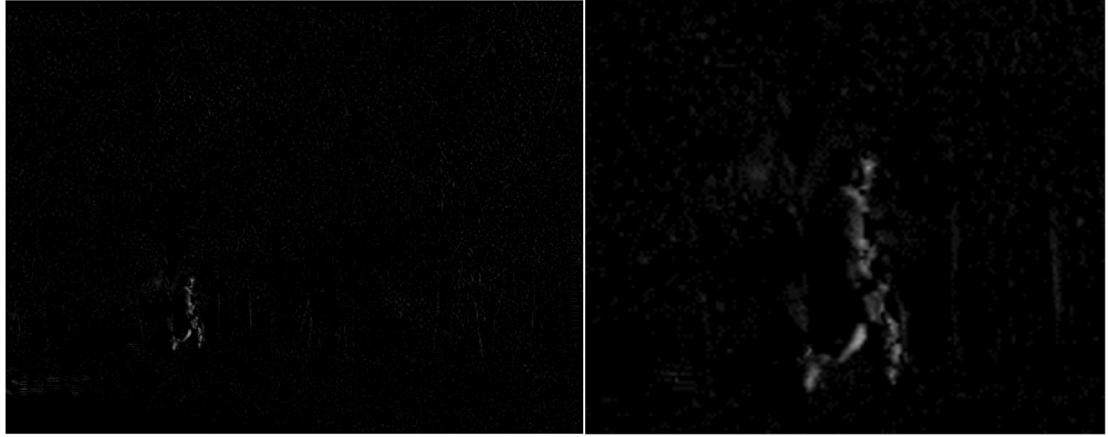


**Slika 3.12. Rezultati mere  $DQ$  za sjedinjavanje Laplasovom piramidom i dinamičkom Laplasovom piramidom.**

Poredeći rezultate mere  $DQ$  na sekvenci va1 vidi se da je kroz sekvencu ova vrednost veća koristeći predloženo dinamičko sjedinjavanje od sjedinjavanja Laplasovom piramidom frejm po frejm. Dinamičkim sjedinjavanjem postižu se bolji rezultati od maksimalnog izbora jer je uzeta i vremenska komponenta. Samim tim izborne odluke su bolje i smanjene su rekonstrukcijske greške u sjedinjavanju. Međutim, iako je vrednost mere  $DQ$  veća vide se i dalje velike oscilacije kroz frejmove. Na slici 3.12 prikazani su i rezultati sukcesivnih frejmova dinamičkim sjedinjavanjem gde se vidi da i dalje postoje treperenja kroz sekvencu koja uzrokuju vremensku nestabilnost. Ovo je vidljivo i na razlici ova dva frejma u vidu oreola oko vojnika i pikselima koji imaju veću vrednost iako nema značajnijih promena na pozadini scene što je vidljivo na slici 3.14 na kojoj se nalazi i uvećani deo oko vojnika.



**Slika 3.13. Dva sukcesivna frejma sjedinjena dinamičkom Laplasovom piramidom.**



Slika 3.14. Razlika dva sukcesivna frejma sa slike 3.7 i uvećan deo oko vojnika.

Vremenska nestabilnost može se poboljšati efikasnijim izbornim odlukama koje se najčešće u višim frekvencija. Često se dešava da uzimanjem koeficijenata iz jedne ili druge ulazne piramide poveća prostornu i vremensku nestabilnost iako su vrednosti koeficijenata piramide i energije oko njih slične. Poboljšanje uspešnosti sjedinjavanja može se postići ako se za sjedinjavanje viših frekvencija najpre definiše prostorno-vremenski indeks sličnosti [25] ulaznih piksela koji se sjedinjuju i njegove okoline Laplasovih piramida  $S_{Vab}^k(m, n)$  i dobija se prema:

$$S_{Vab}^k(m, n) = \frac{2 \sum_{m=-M/2}^{M/2} \sum_{n=-N/2}^{N/2} \sum_{\eta=-T/2}^{T/2} |L_i^{Va}(x+m, y+n, t+\eta) L_i^{Vb}(x+m, y+n, t+\eta)| + \varepsilon}{E_{Va}^k(m, n) + E_{Vb}^k(m, n) + \varepsilon} \quad (3.12)$$

Vrednost indeksa sličnosti nalazi se u opsegu između 0 i 1, gde 1 označava totalnu sličnost, a vrednosti oko 0 veoma malu sličnost ulaznih koeficijenata. Ukoliko je indeks sličnosti mali znači da je jedna od ulaznih lokalnih energija dominantnija i piksel iz piramide koja ima veću energiju uzima se u sjedinjenu piramidu. Ukoliko je indeks sličnosti veliki znači da su obe lokalne prostorno vremenske komponente slični i da su sličnog značaja. U tom slučaju oba ulazna piksela sa težinskim koeficijentima ulaze u sjedinjenu piramidu. Ostaje pitanje određivanje praga sličnosti  $\xi$  za optimalno sjedinjavanje. Ovo se može napisati kao:

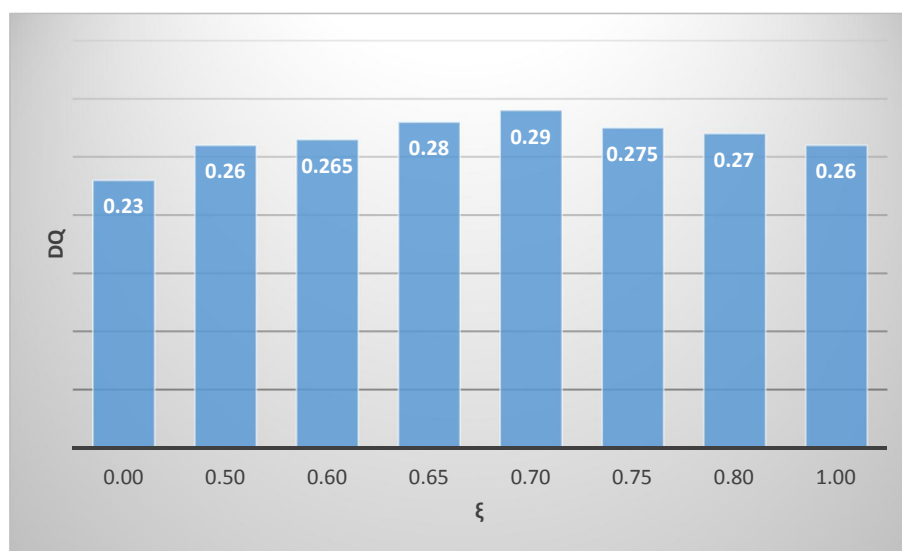
$$F_{Li}^k(m, n) = \begin{cases} L_j^{Va,k}(m, n), & S_{Vab}^k(m, n) < \xi \text{ i } E_j^{Va}(m, n) \geq E_j^{Vb}(m, n) \\ L_j^{Vb,k}(m, n), & S_{Vab}^k(m, n) < \xi \text{ i } E_j^{Va}(m, n) < E_j^{Vb}(m, n) \\ \omega_j^{Va}(m, n) L_j^{Va,k}(m, n) + \omega_j^{Vb}(m, n) L_j^{Vb,k}(m, n) & \end{cases} \quad (3.13)$$

Za određivanja praga  $\xi$  za indeks sličnosti koristi se dinamička mera za procenu uspešnosti  $DQ$ . Vrednost praga je menjana u opsegu od 0 do 1 sa korakom od 0,05. Krajnje vrednosti

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

praga 0 predstavlja izbor piksela sa maksimalnom okolnom energijom, odnosno 1 podrazumeva sjedinjavanje viših frekvencija težinskim koeficijentima. Određivanje optimalne vrednosti izvršeno je na bazi od 6 video sekvenci koja je opisana u poglavlju 3.2 i izračunate su srednje vrednosti mere  $DQ$  na svim sekvencama. Grafički prikaz nekih pragova (kako se ne bi slika opterećivala sa svim vrednostima) dat je na slici 3.9.



Slika 3.15. Vrednosti mere  $DQ$  za različite pragove sličnosti.

Sa slike se vidi da vrednost praga  $\xi=0,7$  daje optimalnu vrednost sjedinjavanja prema meri  $DQ$  gledano kroz srednju vrednost na svim sekvencama.

### 3.2. Analiza rezultata

Analiza rezultata najpre će biti izvršena na postojećoj bazi koja je sastavljena od 6 različitih scenarija (slika 3.16). Sekvence su uzete da pokriju različite scenarije kao što su urbani i ruralni. Takođe, sekvence predstavljaju bliže i dalje objekte od interesa, kako bi se što bolje predstavili rezultati sjedinjavanja. Najpre će se izvršiti poređenje metode dinamičkog sjedinjavanja Laplasovom piramidom sa standardnom Laplasovom piramidom [8] i SIDWT [42]. Ovde dve metode su za statičko sjedinjavanje frejm po frejm iako SIDWT je invarijantna na pomeraje tako da se može primeniti u dinamičkom sjedinjavanju. Razlog poređenja je da se odredi poboljšanje u odnosu na metode koje su dale najbolje rezultate na sjedinjavanju pojedinačnih frejmova.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

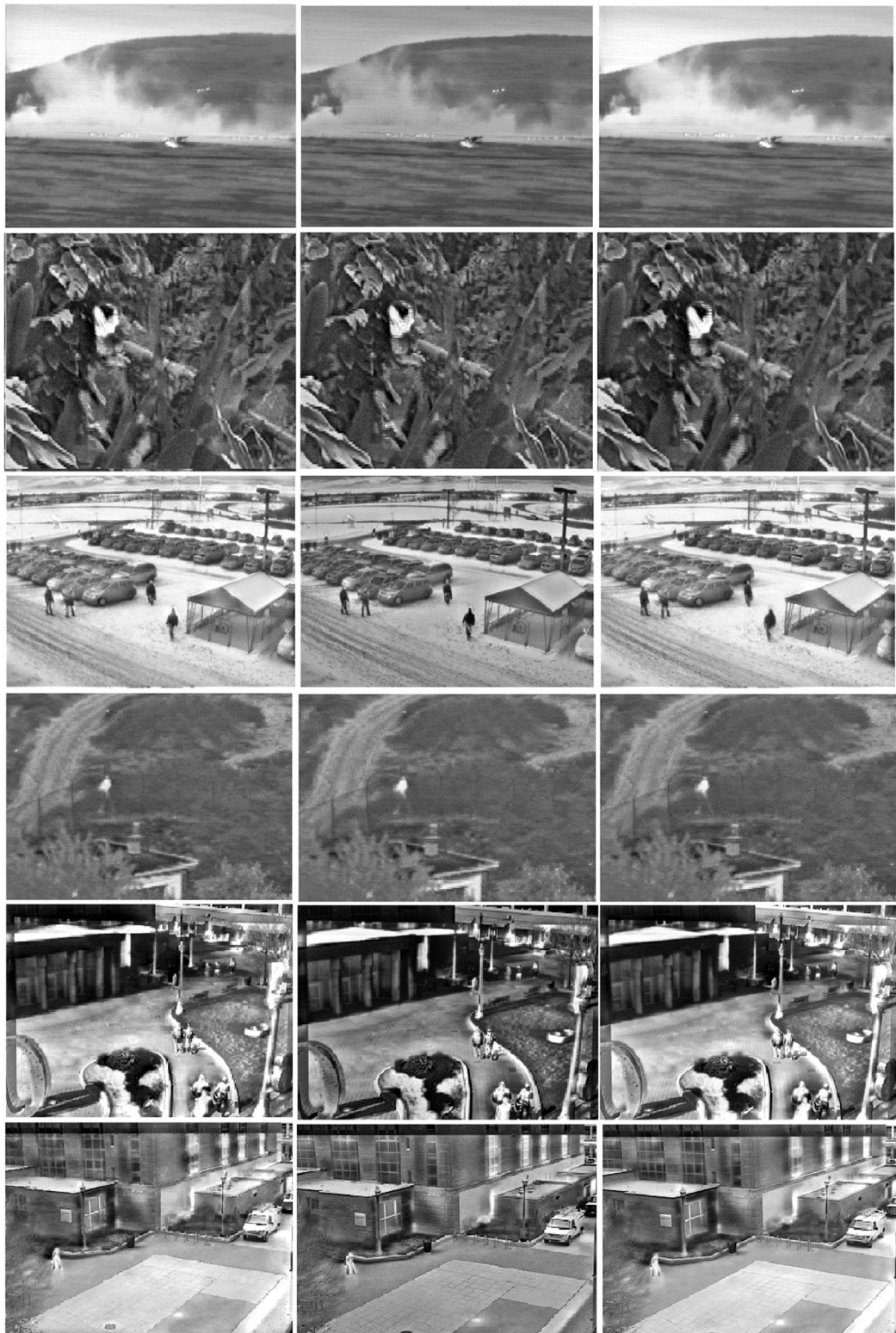


**Slika 3.16. Multisenzorski parovi slika iz 6 različitih scenarija.**

Na slici 3.17 su dati rezultati sjedinjavanja na jednom frejmu iz svake sekvence za sve tri metode sjedinjavanja. Prvu kolonu predstavlja sjedinjavanje standardnom Laplasovom piramidom, druga kolona je SIDWT sjedinjavanje, dok treću kolonu predstavlja sjedinjavanje dinamičkom Laplasovom piramidom sa optimizovanim pragom. Broj nivoa sjedinjavanja sve tri metode je isti i iznosi 4 kako bi se bolje uporedili rezultati. Sa slike se može vizuelno videti da sjedinjavanje dinamičkom Laplasovom piramidom (LAP DIN) daje najbolje rezultate i da je kontrast izraženiji nego kod druge dve metode na svim sekvencama.

Uočava se i smanjenje efekta šuma koji se najjasnije vidi u drugoj po redu sekvenci, gde na bazi u termovizijskoj slici postoji veći nivo šuma, koji je prenesen i na sjedinjavanje Laplasovom piramidom i na SIDWT, dok je kod dinamičkog sjedinjavanja on prisutan u znatno manjoj meri (slika 3.18). Pored smanjenja efekta šuma uočava se i znatno bolji kontrast na sjedinjenoj slici predloženom metodom u odnosu na SIDWT metodu. Čovek je znatno uočljiviji kod LAP DIN metode, a takođe i pozadina se bolje razlikuje nego kod metode SIDWT.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.17. Rezultati sjedinjavanja metode na bazi slika: prva kolona Laplasova piramida, druga kolona SIDWT i treća kolona LAP DIN.



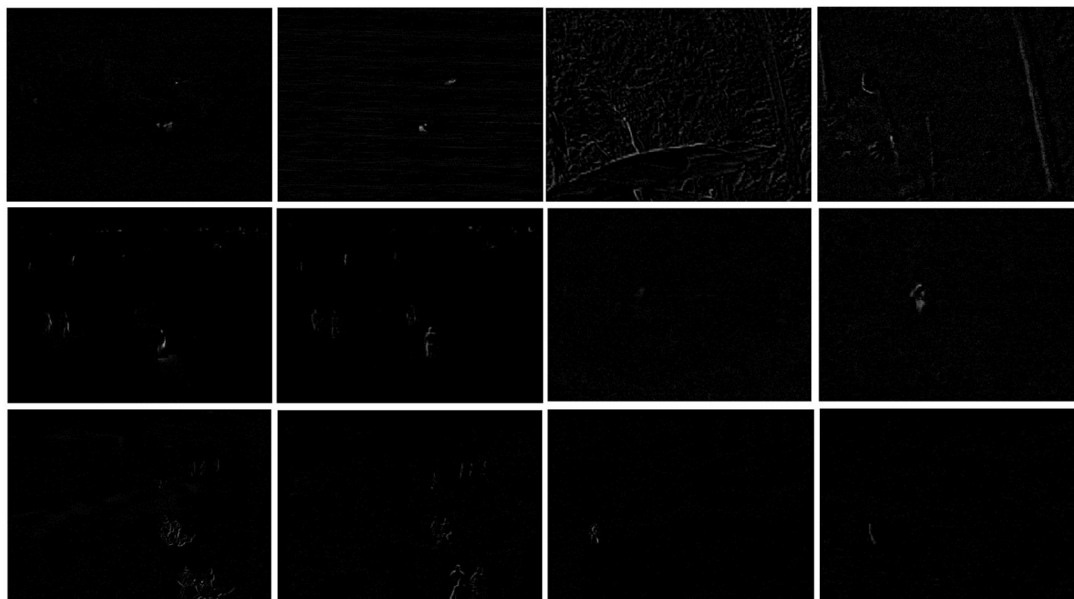


Slika 3.18. Ulazna IR slika i sjedinjene slika EDEN sekvence LAP DIN i SIDWT metodom redom.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

Za analizu vremenske stabilnosti razlika dva susedna frejma može vizuelno dati najbolju predstavu. Na slici 3.19 prikazane su razlike sukcesivnih frejmova ulaznih sekvenci, dok na slici 3.20 su razlike frejmova u sjedinjenim sekvencama sa istim metodama.



**Slika 3.19. Razlike sukcesivnih frejmova ulaznih sekvenci.**

Iz razlika frejmova ulaznih slika vidi se da postoje pomeraji u delovima slika. Pokret je najviše izražen u drugoj sekvenci (gornji red desno) gde se kreće i kamera tako da postoji pokret na celoj sceni. Uz to je još i termovizijska slika sa većim šumom. Razlike sukcesivnih frejmova sjedinjenih video sekvenci na slici po kolonama su sjedinjavanje standardnom Laplasovom piramidom, SIDWT sjedinjavanje i sjedinjavanje dinamičkom Laplasovom piramidom (LAP DIN) po kolonama od prve do treće respektivno. Očekivano u prvoj koloni su najlošiji rezultati i uočljive su promene koje se ne nalaze na ulaznim sekvencama. Ovo je posebno izraženo na poslednjoj sekvenci, gde su najmanje promene na ulaznim sekvencama dok se kod sjedinjavanja Laplasovom piramidom nalazi veliki broj piksela koji prikazuju promene između frejmova. Takođe, vidljivo je i smanjenje šuma na sjedinjenim slikama dinamičkom Laplasovom piramidom.

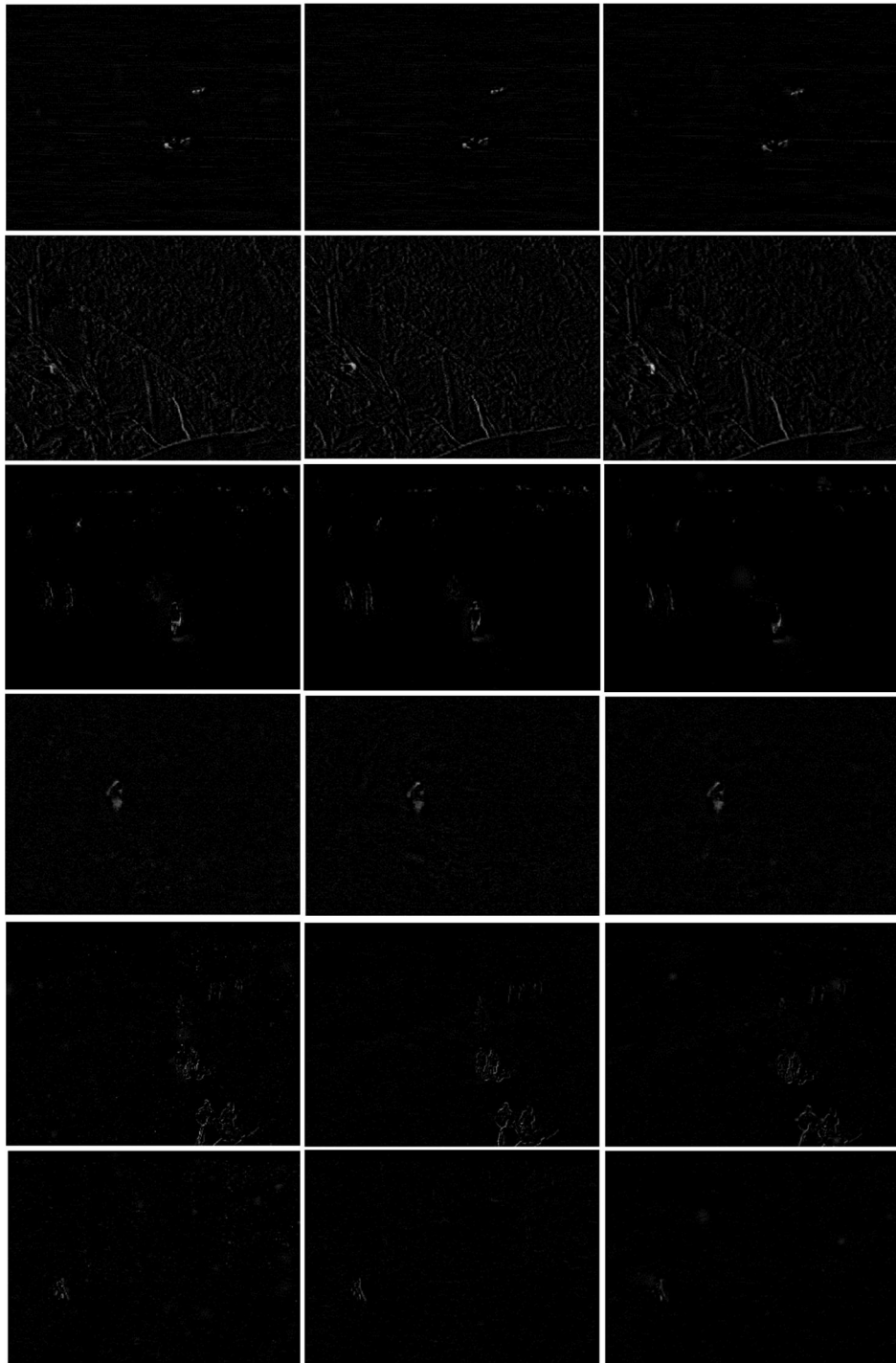
Na slici 3.21 prikazane su razlike sukcesivnih frejmova ulaznih sekvence OHIO 1 i sjedinjene Laplasovom piramidom i LAP DIN metodom. Sa slike se vidi da osim kretanja pešaka nema značajnijih promena na ulaznim slikama. Sjedinjena slika LAP DIN metodom verodostojno prenosi piksele koje su posledica pokreta. Sjedinjavanje Laplasovom



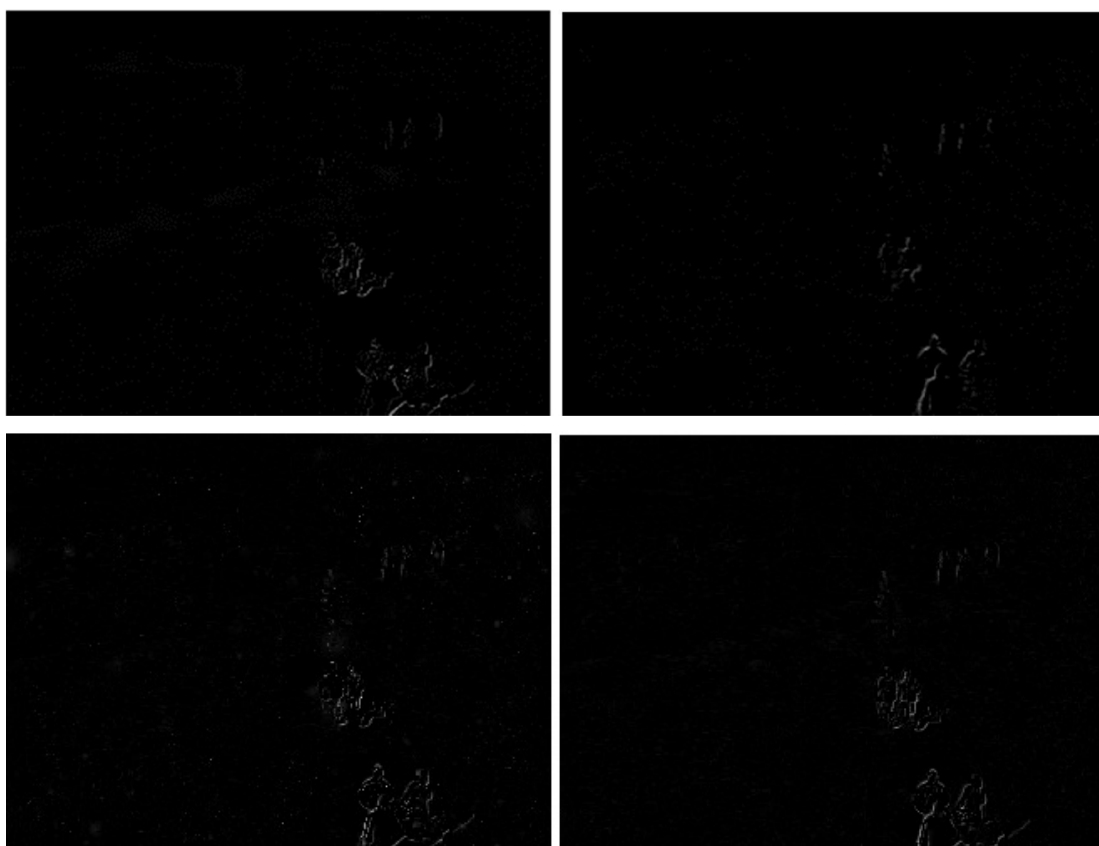
### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

piramidom unosi artefakte i treperenja u sjedinjenoj sekvenci, što se može videti većim brojem svetlih piksela koji se ne nalaze na ulaznim sekvencama.

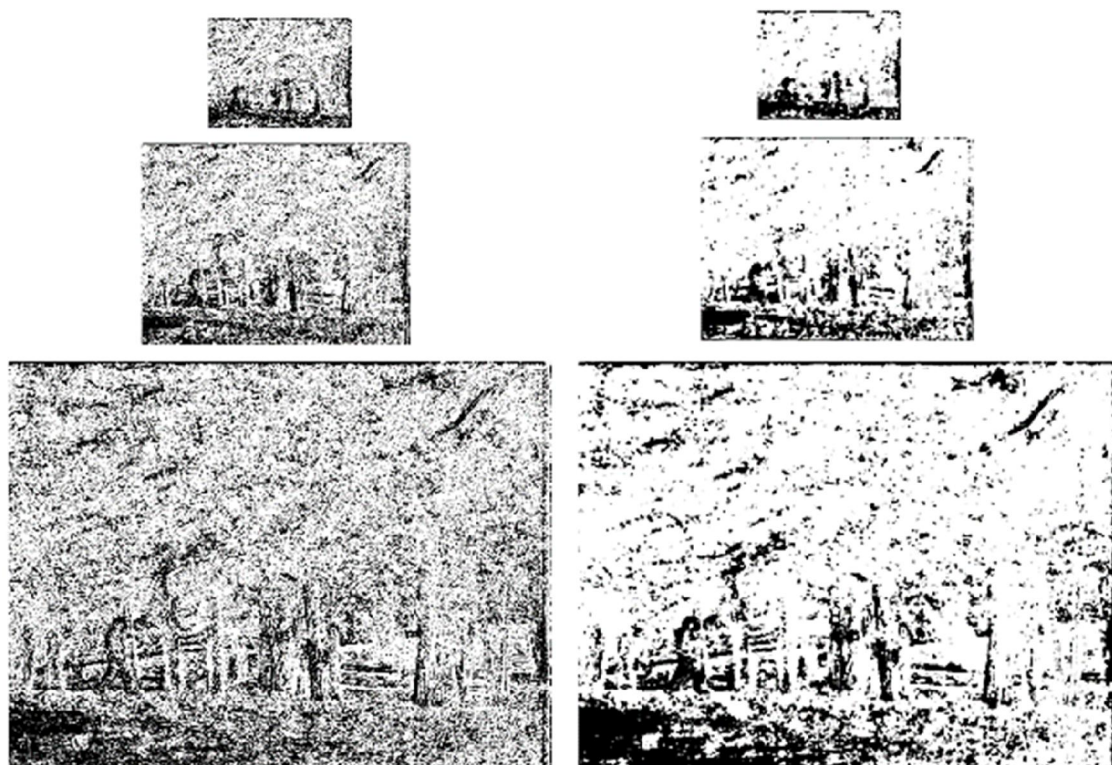


**Slika 3.20. Razlika sukcesivnih frejmova u metodama za sjedinjavanje: prva kolona Laplasova piramida, druga kolona SIDWT i treća kolona LAP DIN.**



**Slika 3.21. Razlika sukcesivnih frejmova OHIO1 sekvence: ulazne slike gornji red i sjedinjene Laplasovom piramidom i LAP DIN metodom donji red.**

Uspešnost procesa sjedinjavanja pored načina razlaganja, određuju izborne odluke piksela podnivoa koji se sjedinjuju. Boljim izborom izbegava se pojava artifakata na sjedinjenoj slici. Uz to kontrast između objekata i pozadine je veći i ciljevi se lakše detektuju. Kao bitan parametar je i vremenska stabilnost gde nema treperenja i pojave lažnih ciljeva. Na slici 3.22 su prikazane izborne odluke nivoa Laplasove piramide frejm po frejm i dinamičkog sjedinjavanja koje prenose informacije iz ulaznih u sjedinjenu piramidu. Svetli pikseli pokazuju prenesene koeficijente iz televizijske, dok tamni iz termovizijske video sekvence. Sivi pikseli su pikseli uzeti iz obe ulazne sekvence sa težinskim faktorima koji su srazmerni okolnoj energiji piksela koji se sjedinjuje (pravilo važi samo za dinamičku piramidu). Što se tiče dinamičkog sjedinjavanja, uočava se veoma mali broj sivih piksela na slici, što znači da ulazni koeficijenti su slabo korelisani po pitanju lokalnih energija. Sa slike se vidi znatno bolja izborna odluka kod dinamičkog sjedinjavanja, jer su pikseli koji se prenose iz ulaznih piramida grupisaniji. Samim tim je i očuvana prostorno vremenska stabilnost.



Slika 3.22. Izborne odluke piksela po nivoima Laplasove piramide za standardno sjedinjavanje frejm po frejm u levoj koloni i za LAP DIN u desnoj koloni.

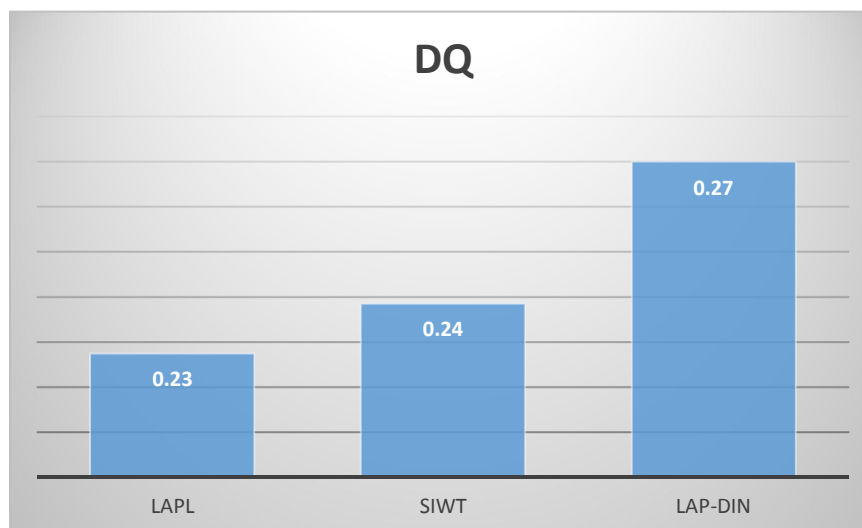
#### 3.2.1. Subjektivna i objektivna analiza dinamičkog sjedinjavanja

Rezultati video sjedinjavanja poređeni su subjektivnim i objektivnim testovima. Za objektivne mere uzeti su algoritmi koji računaju prostorne i vremenske informacije koje su prenete iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu ( $DQ$ ,  $DMI$  i  $STFe$ ). Mere koje su detaljnije opisane u poglavlju 4 pokazale su visoku korelaciju sa subjektivnim testovima i na taj način veoma dobro opisuju uspešnost sjedinjavanja video sekvenci. Rezultati sjedinjavanja za 6 video sekvenci iz opisane baze, prema meri za procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci  $DQ$  dati su na slici 3.23. Sa slike se vidi da sjedinjavanje metodom dinamičkog Laplasovog sjedinjavanja (LAP-DIN) daje bolje rezultate od sjedinjavanja metoda za svaki frejm posebno. Ovo su i očekivani rezultati na osnovu prethodne analize sjedinjenih sekvenci.

Rezultati mere  $DQ$  za procenu uspešnosti sjedinjavanja po sekvencama dati su u tabeli 3.1. Iz tabele se zaključuje da je redosled metoda za sjedinjavanje sličan u svim sekvencama (osim druge sekvence gde je LAPL sjedinjavanje bolje od SIDWT) i da je sjedinjavanje dinamičkom laplasovom piramidom uspešnije u svim sekvencama. Najveća vrednost mere

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

je upravo na drugoj sekvenci gde je pokazano da pored uspešnog sjedinjavanja došlo je do smanjenja nivoa šuma u sjedinjenoj sekvenci. Najlošiji rezultati sjedinjavanja su u šestoj sekvenci u kojoj se pojavljuje najviše fluktuacija vrednosti intenziteta piksela.



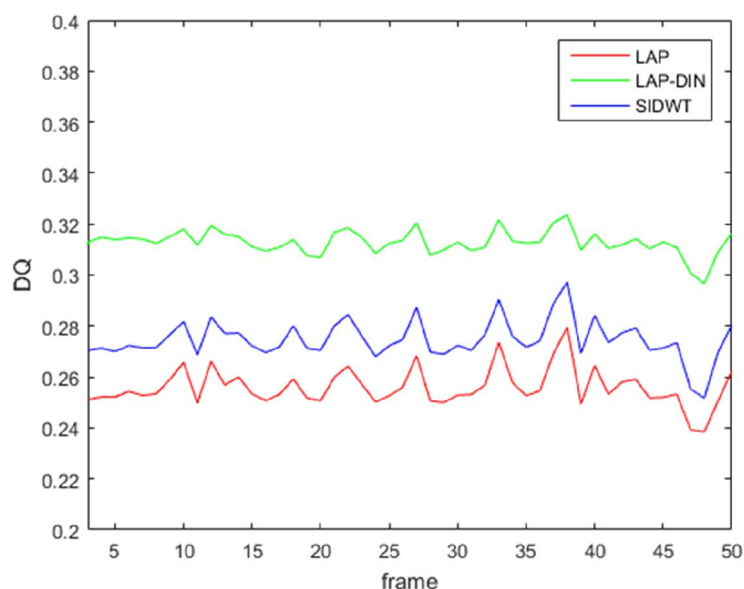
Slika 3.23. Rezultati mere  $DQ$  za metode Laplasovog sjedinjavanja, SIDWT I LAP DIN.

Tabela 3.1. Rezultati mere  $DQ$  po sekvencama za metode LAP, SIDWT I LAP DIN.

	LAP	SIDWT	LAP-DIN
Sekv 1	0.23	0.23	0.26
Sekv 2	0.26	0.25	0.30
Sekv 3	0.20	0.22	0.23
Sekv 4	0.26	0.26	0.29
Sekv 5	0.23	0.26	0.28
Sekv 6	0.19	0.21	0.23
Ukupno	0.23	0.24	0.27

Rezultati mere  $DQ$  za prvih 50 frejmova prve sekvence dati su na slici 3.24. Uočava se da je mera  $DQ$  znatno stabilnija sa manjim oscilacijama kroz sekvencu za dinamičko sjedinjavanje u odnosu na sjedinjavanja ostalim algoritmima. Promene koje su uočljive na slici su posledica pokreta na sceni i uspešnosti sjedinjavanja prostorno vremenskih informacija.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



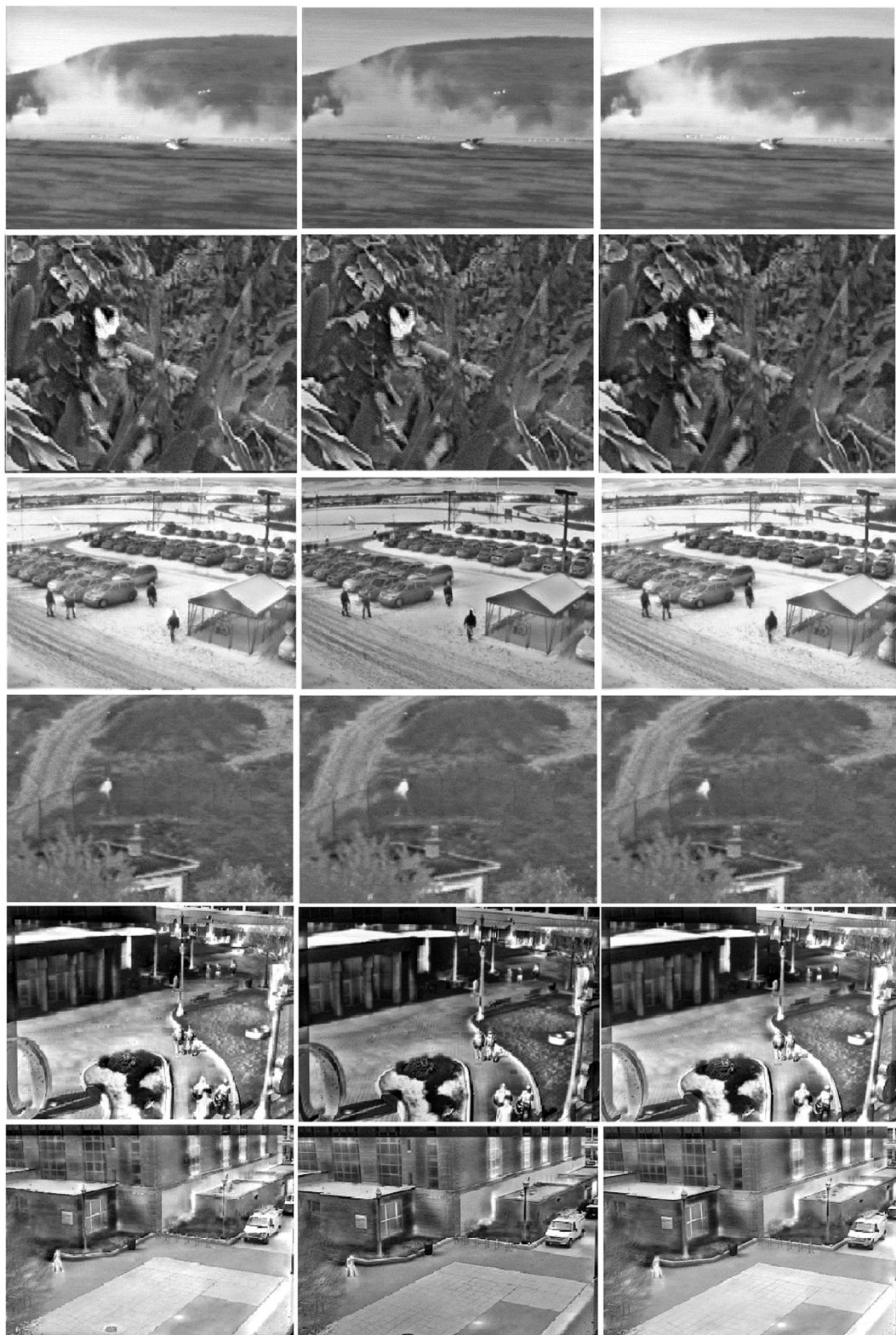
**Slika 3.24. Rezultat mere  $DQ$  za 50 frejmova sekvence va1.**

#### *Poređenje metoda za sjedinjavanje video signala*

Za analizu sjedinjavanja video sekvenci uzete su i metode koje u sebi sadrže i vremensku komponentu. Poređiće se uspešnost sjedinjavanja sa laplasovom dinamičkom piramidom i računarska zahtevnost. Pored već analizirane dinamičke Laplasove piramide [8] (prva kolona), u analizu je uzeta MCWT metoda [25] zasnovana na proračunu detekcije pokreta i diskretne vejllet transformacije (druga kolona) i metoda 3D laplasove piramide [50] (treća kolona), koja nije pogodna za rad u realnom vremenu. Metode 3D sjedinjavanja mogu se koristiti u sistemima koji zahtevaju čuvanje video sekvenci u cilju smanjenja memorijskog prostora i efikasnije detekcije a nema potrebe za rad u realnom vremenu. Vizuelni prikaz frejmova navedenih metoda dat je na slici 3.25.

Kontrast kod metoda koje pored prostorne komponente uzimaju i vremensku komponentu veći je nego kod metoda koje vrše sjedinjavanje frejm po frejm. Sa slike se vidi da je izraženiji nego i kod 3D sjedinjavanja. Poredeći same frejmove ne vidi se veća razlika između dinamičkih i 3D metoda, već ostaje poređenje razlika frejmova gde bi se jasnije videle nestabilnosti koje unose metode sjedinjavanja video signala. Takođe, upoređiće se i subjektivni i objektivni testovi ovih algoritama za sjedinjavanje kao merodavne tehnike. Na slici 3.26 date su uvećani sjedinjeni frejmovi MSO1 sekvence LAP DIN i MCDWT metodama. Uočava se bolji kontrast kod sjedinjavanja LAP DIN metodom i jasnije uočavanje i razlučivanje objekata na slici.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.25. Rezultati sjedinjavanja za metode LAP DIN, MCDWT i 3D Lap po kolonama.



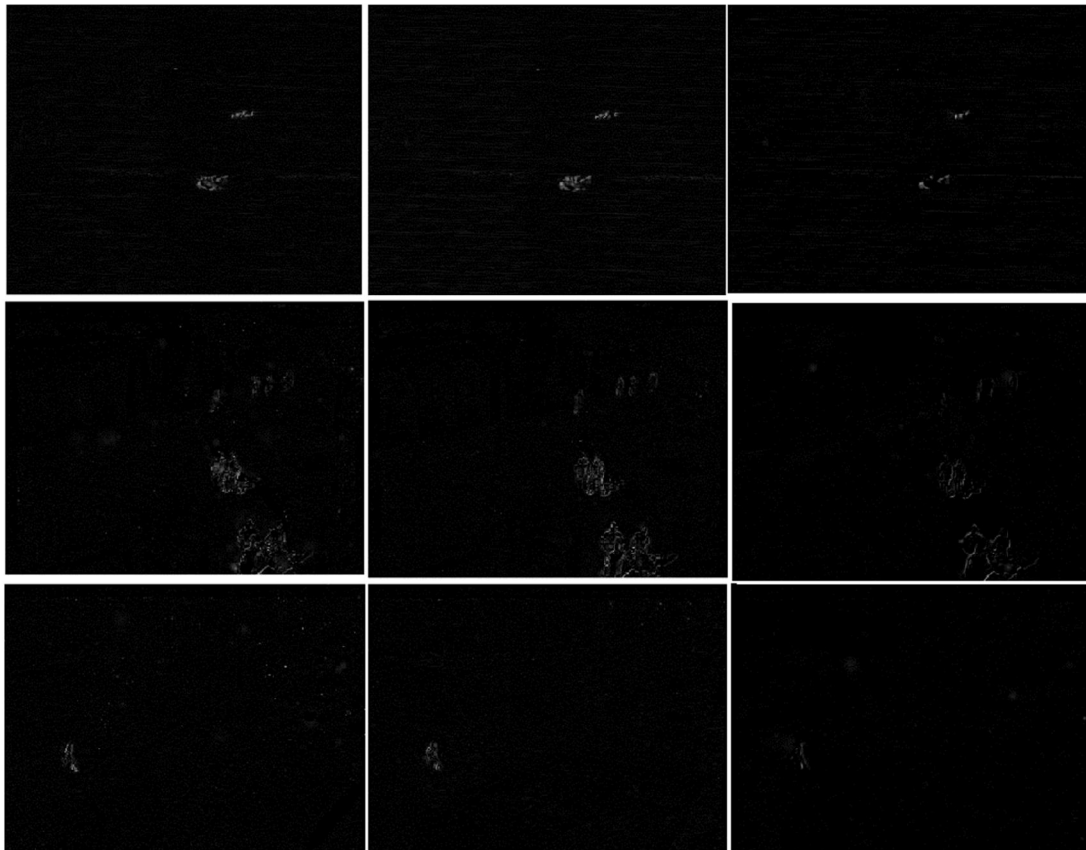
### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---



**Slika 3.26. Sjedinjena slika MSO1 sekvence LAP DIN i MCDWT metodom.**

Iz baze su uzete prva, peta i šesta sekvenca gde se vide razlike u sjedinjavanju metodama za dinamičko i 3D sjedinjavanje video signala. Slično kao i kod prethodne slike raspored metoda po kolonama je isti i u prvoj koloni je MCWT video sjedinjavanje, druga kolona je 3D Laplasova piramida, dok je treća kolona dinamičko Laplasovo sjedinjavanje (slika 3.27).

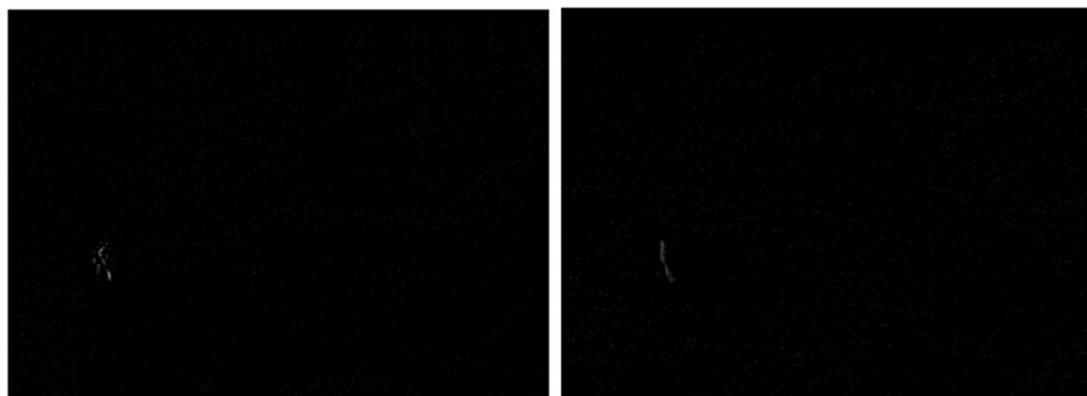


**Slika 3.27. Razlike sukcesivnih frejmova za 3 sekvence za metode sjedinjavanja LAP DIN, MCDWT i 3D Lap po kolonama.**

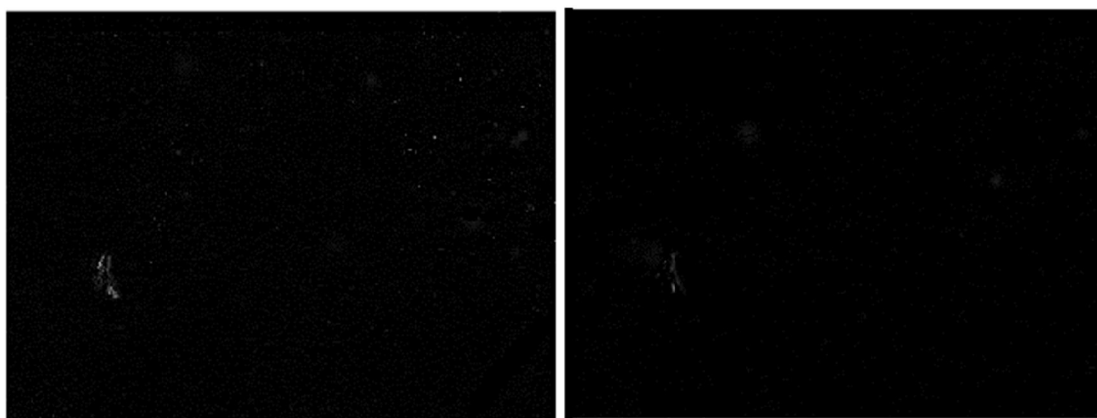
### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

Iako je gledajući zasebno frejmove rezultat sjedinjavanja skoro identičan, uočavaju se nestabilnosti koje unose određene metode u razlici sukcesivnih frejmova. Ovo je najuočljivije u prvoj koloni sa MCDWT sjedinjavanjem, gde postoji veći broj uočljivih piksela koji predstavljaju ustvari treperenje na video sekvenci. Ova metoda zahvaljujući detekciji pokreta jasno izdvaja piksele na kojima postoji promena u sekvenci. Metoda sa 3D Laplasovom piramidom redukuje treperenja sa malim brojem pojedinačnih piksela. Takođe kod ove metode se i ivice jasno vide i pokret koji se nalazi u sekvenci je uočljiv. Treća kolona sa dinamičkom Laplasovom piramidom predstavlja kompromis između prethodne dve metode sa nešto slabije izraženim pokretom ali sa malim brojem pisela izvan objekata koji se kreću. Ovo je prikazano i na uvećanom razlikom ulaznih frejmovima sekvence OHIO2 na slici 3.28 i razlikom uzastopinih frejmova sjedinjenim metodama MCDWT i LAP DIN na slici 3.29.



**Slika 3.28. Razlika dva sukcesivna frejma OHIO2 sekvence.**



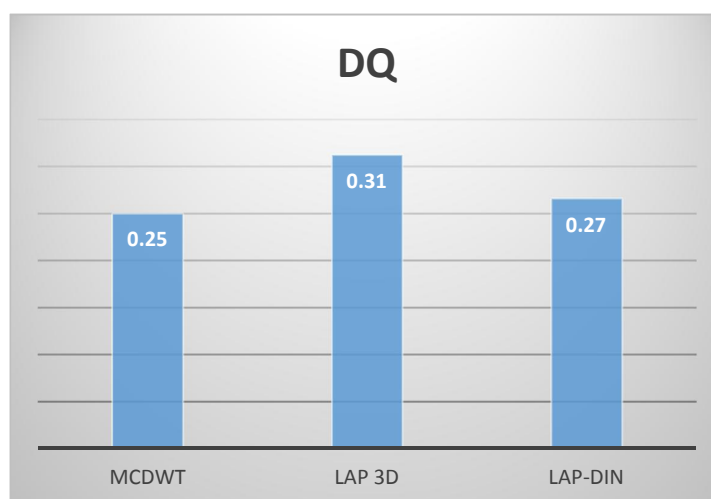
**Slika 3.29. Razlika sukcesivnih frejmova sjedinjene OHIO2 sekvence MCDWT i LAP DIN metodom.**



### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

Rezultati mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja  $DQ$  dati su na slici 3.30 i vidi se da je sjedinjavanje 3D Laplasovom piramidom najuspešnije tehnika sjedinjavanja video sekvenci. Mera  $DQ$  [41] je veoma osetljiva i promena na drugoj decimali znači već dosta uspešnije sjedinjavanje video sekvenci. Sledeća po rangju je metoda dinamičkog sjedinjavanja Laplasovom piramidom, koja kako je ranije opisano značajno bolja od metoda sjedinjavanja frejm po frejm, bolja i od metode za sjedinjavanje video sekvence na osnovu kompezacije pokreta. Metoda dinamičke Laplasove piramide je već dala bolje rezultate od konvecionalnih metoda za sjedinjavanje video sekvenci .



Slika 3.30. Rezultati mere  $DQ$  za dinamičke metode sjedinjavanja.

Rezultati mere  $DQ$  po sekvencama dati su u tabeli 3.2. I ovde je redosled sjedinjavanja isti u najvećem broju sekvenci i na prvom mestu je Laplasovo 3D sjedinjavanje, zatim sledi dinamičko Laplasovo sjedinjavanje i na kraju DWT sa kompenzacijom pokreta. Jedina razlika je kod poslednje sekvence na kojoj metoda MCDWT daje najbolje rezultate u poređenju sa ostale dve i daje najbolju vremensku stabilnost.

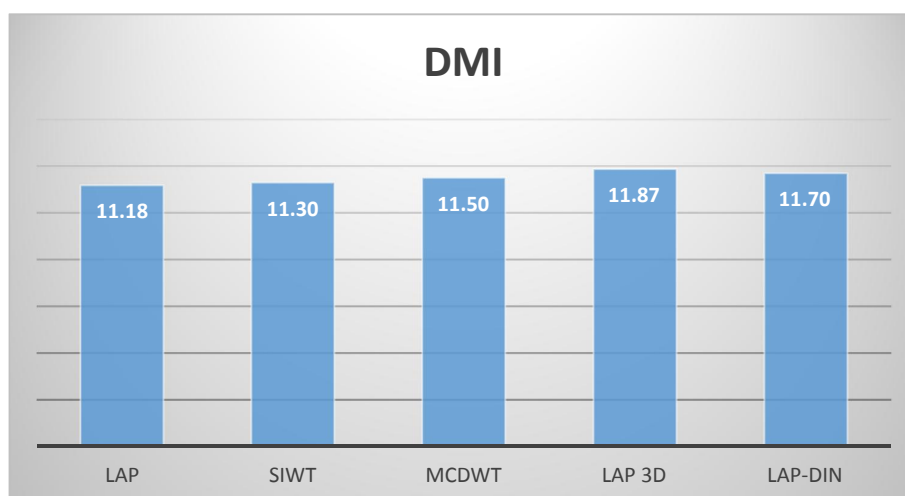
Sjedinjavanje 3D Laplasovom piramidom i inače sjedinjavanja koja koriste 3D tehnike su uspešnije od ostalih metoda za sjedinjavanje jer uzimaju celu sekvencu i samim tim i veći vremeski raspon frejmova u obzir. Iz tog razloga ovi algoritmi su dosta složeniji za obradu i njihova primena u sistemima koji zahtevaju rad u realnom vremenu nije primenjiva. Potrebna je i velika količina memorije kako bi se ovakvi algoritmi izveli i za veće sekvence sa većim rezolucijama nisu primenjivi ni u oflajn sistemima.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

Tabela 3.2. Rezultati mere  $DQ$  za dinamičke metode sjedinjavanja MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.

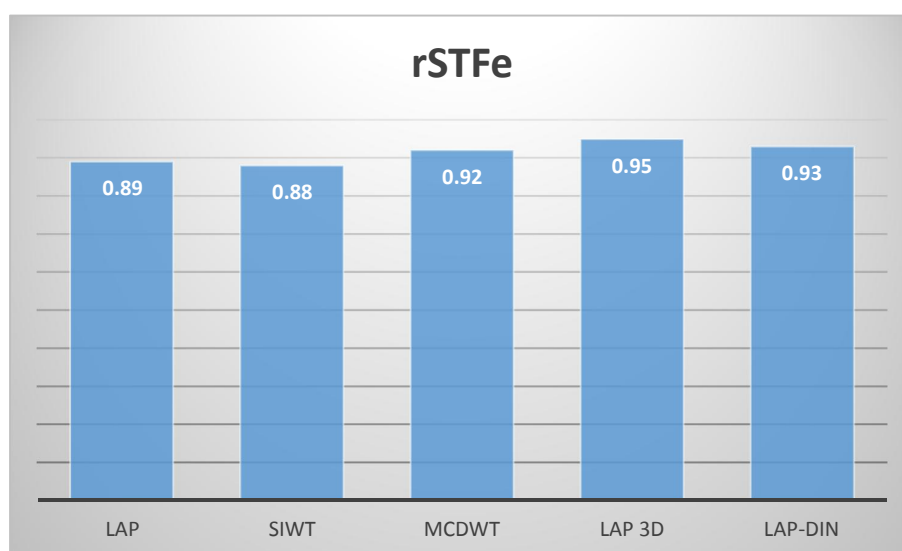
	MCWT	LAP 3D	LAP DIN
Sekv 1	0.24	0.32	0.26
Sekv 2	0.26	0.37	0.30
Sekv 3	0.23	0.30	0.23
Sekv 4	0.22	0.30	0.23
Sekv 5	0.26	0.30	0.28
Sekv 6	0.30	0.28	0.29
Ukupno	0.25	0.31	0.27

Pored objektivne mere  $DQ$  analizirani su i rezultati 5 metoda za sjedinjavanje video sekvenci i merom  $DMI$  zasnovanoj na prenesenim zajedničkim informacijama razlike sukcesivnih frejmova iz ulaznih u sjedinjnu sekvencu. Metode sjedinjavanja su Laplasova piramida frejm po frejm (LAP) [8], SIDWT [42], MCDWT [25], Laplasova 3D piramida [50] i dinamička Laplasova piramida [121] (slika 3.31). Redosled rezultata mere  $DMI$  je po rangui isti kao i kod mere  $DQ$ . Najbolje rezultate daje 3D Laplasova piramida, zatim sjedinjavanje dinamičkom Laplasovom piramidom i istim redosledom do najlošijeg od izabranih metoda Laplasovom piramidom frejm po frejm. Iako se mera  $DMI$  [42] po redosledu rangiranja poklapa sa  $DQ$  merom vidi se da je razlika između rezultata veoma mala.



Slika 3.31. Rezultati mere  $DMI$  za pet metoda sjedinjavanja.

Rezultati mere  $rSTFe$  [122] koja se zasniva na prostorno-vremenskom očuvanju frekvencija iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu daju isti redosled sjedinjavanja kao i prethodne dve mere (slika 3.32). Najbolje rezultate daje Laplasova 3D piramida, dok najlošije standardno sjedinjavanje Laplasovom piramidom. Na osnovu dosadašnjih rezultata potvrđeno je da sjedinjavanje Laplasovom piramidom daje najbolje rezultate na frejm po frejm sjedinjavanju tako da je i kroz istraživanje ekstenzija ostalih metoda potvrđeno da je dinamičko Laplasovo sjedinjavanje i 3D Laplasova piramida uspešnija tehnika od ostalih kao što su 3D DWT, dinamičko DWT sjedinjavanje i ostale metode. Ipak, pored navedenog predložena LAP DIN metoda daje najbolje rezultate od metoda za rad u realnom vremenu, pošto 3D tehnike sjedinjavanja nisu primenjive u ovakvim sistemima.



Slika 3.32. Rezultati mere  $rSTFe$  za pet metoda sjedinjavanja.

#### 3.2.2. Baza za sjedinjavanje video sekvenci

Za potrebe istraživanja i izrade doktorske disertacije napravljen je multisenzorski sistem za fuziju video signala. Sistem se sastoji od glave sa televizijskom i termovizijskom kamerom i motorizovanog nosača za usmeravanje multisenzorske glave (slika 3.33). Termovizijska kamera je nehlađena FLIR tau2 rezolucije 640x480 piksela. Termovizijska kamera je analogna sa USB kontrolom i napajanjem. Optika na kameri je 100mm sa jednim vidnim uglom bez zuma. Televizijska kamera je firme The Imaging Source, maksimalne rezolucije 5 mega piksela i maksimalnih 115 frejmova u sekundi. Optika je integrisana sa kontinualnim

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

zumom do 30 puta. Motorizovani nosač senzora (PAN-TILT) je nosivosti do 15kg sa pomeranjem po azimutu od 0 do 359<sup>0</sup> i po elevaciji ±45<sup>0</sup>. Brzina kretanja je do 32<sup>0</sup>/s.

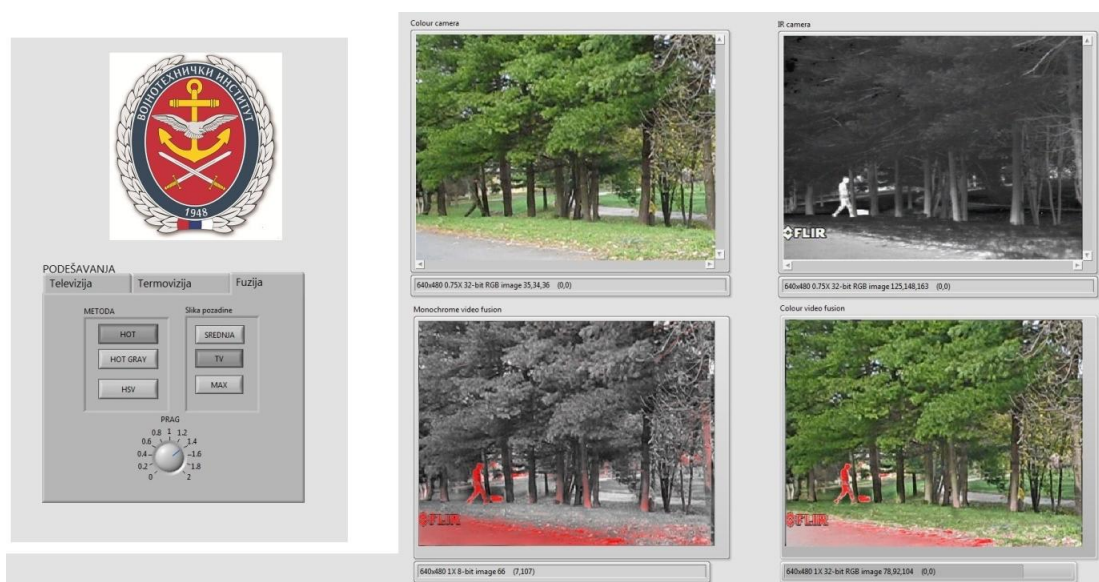
Za akviziciju, obradu video sekvenci, kontrolu i upravljanje korišćen je National Instruments PXI sistem sa i7 procesorom i 8GB RAM memorije. Konverzija analognog signala u digitalni termovizijske kamere vrši se na PXI kartici koja je smeštena u kućištu računara, dok je upravljanje preko USB porta. Televizijska kamera je povezana preko LAN priključka na PXI platformu sa POE napajanjem.

Softver za akviziciju i sjedinjavanjem video sekvenci u realnom vremenu napravljen je u LabView programskom paketu (slika 3.34). Korisnički interfejs sadrži prikaz ulaznih video sekvenci u gornjem desnom uglu i sjedinjavanje videa sa dve metode sjedinjavanja (monohromatsko i kolor) u donjem desnom uglu. Sa leve strane su tasteri koji određuju parametre ulaznih videa, izbor metoda za sjedinjavanje i parametre sjedinjavanja.



Slika 3.33. Multisenzorski sistem za akviziciju video sekvenci.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



**Slika 3.34. Korisnički interfejs za akviziciju i sjedinjavanje video sekvenci u realnom vremenu.**

Baza od 8 video sekvenci rezolucije 640x480 piksela sa televizijske i termovizijske kamere napravljena je za potrebe istraživanja i analize metoda i mera za sjedinjavanje video sekvenci (slika 3.35). Različiti vremenski uslovi (sunčano, oblačno, smanjena vidljivost) uzeti su u obzir pri izboru video sekvenci. Takođe, osmatrana je bliža (sekvence 1, 2 i 4), srednja (sekvence 3, 5 i 7) i dalja (sekvence 6 i 8) scena, urbano i ruralno područje, kao i objekti koji se nalaze u vazduhu (sekvenca 4).

Sekvenca 1 predstavlja blisku scenu vojnika koji je jasno vidljiv na termovizijskoj slici, dok na televizijskoj zbog maskirnosti se slabije uočava. Pozadina slike je drveće i svi objekti su u krupnom planu (vojnici i drveće). Sekvenca 2 predstavlja čoveka ispred zgrade sa upaljenom cigaretom koja je jasno vidljiva na termovizijskoj slici zbog razlike u temperaturi sa pozadinom. Na sceni se nalaze i automobili koji zbog sunčanog dana i visoke temperature su većeg kontrasta u odnosu na pozadinu. Sekvenca 3 je iz gradskog okruženja i prikazuje parking ispred marketa i deo prometnog puta. Na sceni se kreću vozila i pešaci na parking, kao i vozila na putu većom brzinom. Sekvenca 4 predstavlja daleko scenu sa objektima (zgradama) i avionom u vazduhu. Scena je statična i jedino je avion pokretan. Sekvenca 5 je iz gradskog okruženja. Na slici su zgrade i automobili na ulici parkirani i u pokretu. Sekvenca 6 je iz seoskog okruženja na kojoj se nalazi seosko domaćinstvo sa okolinom. Od objekata na sceni uočljive su domaće životinje u pokretu i seoske zgrade. Sekvenca je nestabilisana i sa malim je pomerajima multisenzorskog sistema. Na sekvenci 7 je daleka

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

scena regionalnog puta. Pored zgrada na većoj daljini uočljivi su motorna sredstva različitih veličina u pokretu. Sekvenca 8 je nestabilisana sa značajnim poremećajima i predstavlja vangradsku sredinu sa lokalnim putem. Uočljivi su objekti - zgrade i vozila u pokretu.

**Tabela 3.3. Tabela prikaz sadržaja sekvenci u bazi VTI.**

Sekvenca	Naziv	Sadržaj	Daljina	Trajanje (s)	Fps
Sekv 1	Va1	Vojnik se kreće u šumi	30m	12	25
Sekv2	uprava	Muškarac sa cigaretom ispred zgrade	60m	12	25
Sekv 3	metro	Ulica i parking ispred metroa sa vozilom i pešacima u pokretu	400m	12	25
Sekv 4	avion	Avion u letu	1500m	12	25
Sekv 5	zgrada	Vozilo u pokretu na ulici ispred zgrade	300m	12	25
Sekv 6	selo	Stado ovaca na livadi u selu	600m	12	25
Sekv 7	obilaznica	Vozila u pokretu na obilaznom putu	5000m	12	25
Sekv 8	put	Vozila u pokretu na putu u nestabilisanoj sekvenci	800m	12	25

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---





### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

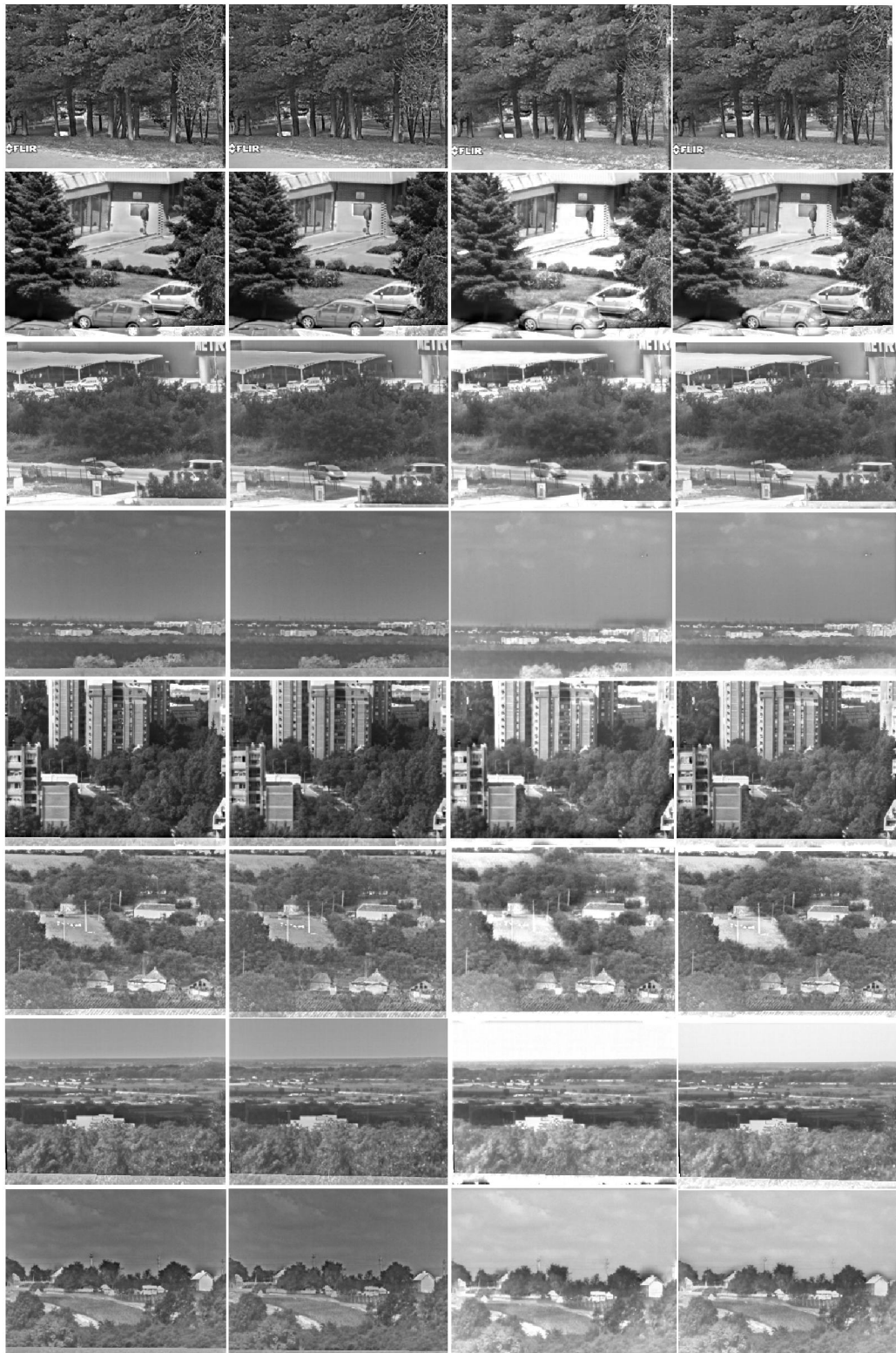
---



Slika 3.35. Baza od osam parova video sekvenci televizijske i IR kamere.



### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.36. Prikaz frejma iz sjedinjenih sekvenci za metode Laplasove piramide, SIDWT, MCDWT i LAP DIN po kolonama.

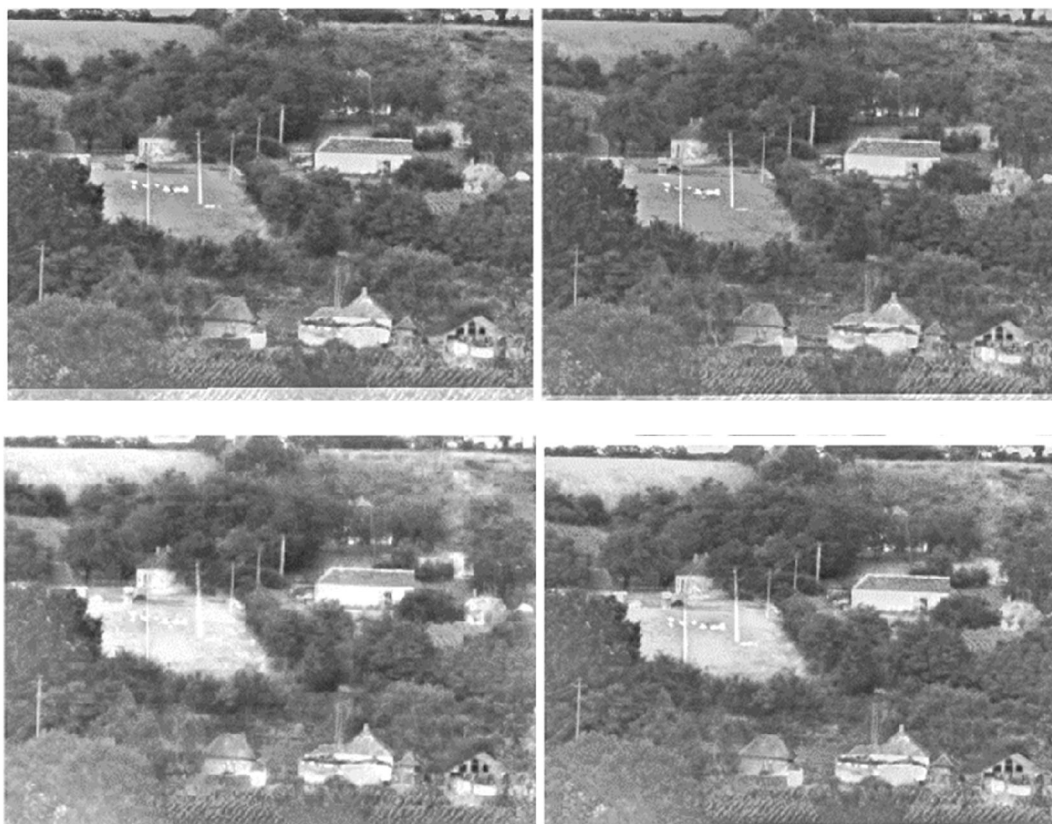
### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

Na slici 3.36 prikazani su po jedan frejm sjedinjanih sekvenci iz baze za metode sjedinjavanja Laplasovom piramidom u prvoj koloni, SIDWT u drugoj koloni, DWT sa detekcijom i kompenzacijom pokreta - MCWT u trećoj koloni i dinamičkom Laplasovom piramidom LAP DIN u četvrtoj koloni.

Slično kao i kod prethodne baze i ovdje je uočljiv veći dinamički opseg vrednosti piksela kod metoda koje uzimaju vremesku komponentu (MCWT i LAP DIN). Samim tim su i objekti uočljiviji, pogotovo na mestima gde su izlazni pikseli komplementarni. Prednosti dinamičkog sjedinjavanja vidljivi su u većini sekvenci gde su smanjena izobličenja u vidu oreola oko objekata gde je veća promena intenziteta piksela.

Medjutim ovo može biti i problem kao na primer na sekvenci 6 gde se kod MCWT metode slabije uočavaju pokretni objekti iz termovizijske slike jer je pozadina svetlija u odnosu na ostale metode. Vidljivost oreola oko zgrade kod 8 sekvence je uočljivo kod MCWT metode gde su zbog nestabilnosti veće promene na celoj sceni (slika 3.37).

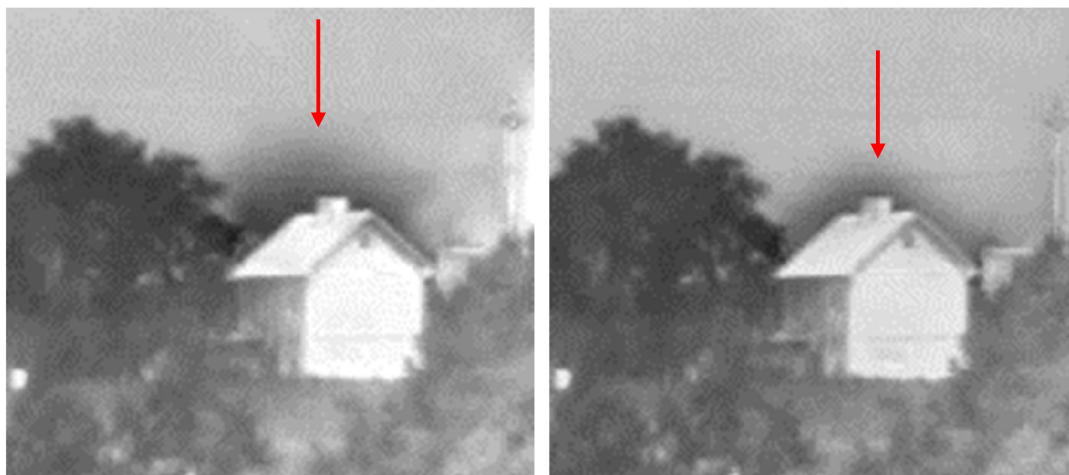


**Slika 3.37. Frejm iz sekvence selo sa metodama sjedinjavanja Laplasovom piramidom, SIDWT, MCDWT i LAP DIN.**

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

Pojava artifakata i oreola učljiva je i na sekvenci put gde je na slici 3.38 izdvojen deo oko kuće gde je ova pojava veoma uočljiva. Vidi se i smanjenje ovog efekta korišćenjem LAP DIN metode na slici desno. Ovo je posledica DWT metode koja se koristi za razlaganje i koje je veoma osetljiva na promene.



**Slika 3.38.** Uvećani deo frejma sjedinjene sekvence pomoću MCDWT levo i LAP DIN desno.

Dinamičke promene koje su prenete iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu mogu se prikazati preko razlike sukcesivnih frejmova kao na slici 3.39. Izabrane su četiri karakteristične sekvence i njihovi sukcesivni frejmovi ulaznih i sjedinjenih sekvenci (sekvenca 1, 3, 6 i 8). Metode sjedinjavanja na razlici sukcesivnih frejmova su Laplasova piramida frejm po frejm u prvoj koloni, MCDWT u drugoj koloni i dinamička Laplasova piramida u trećoj koloni.

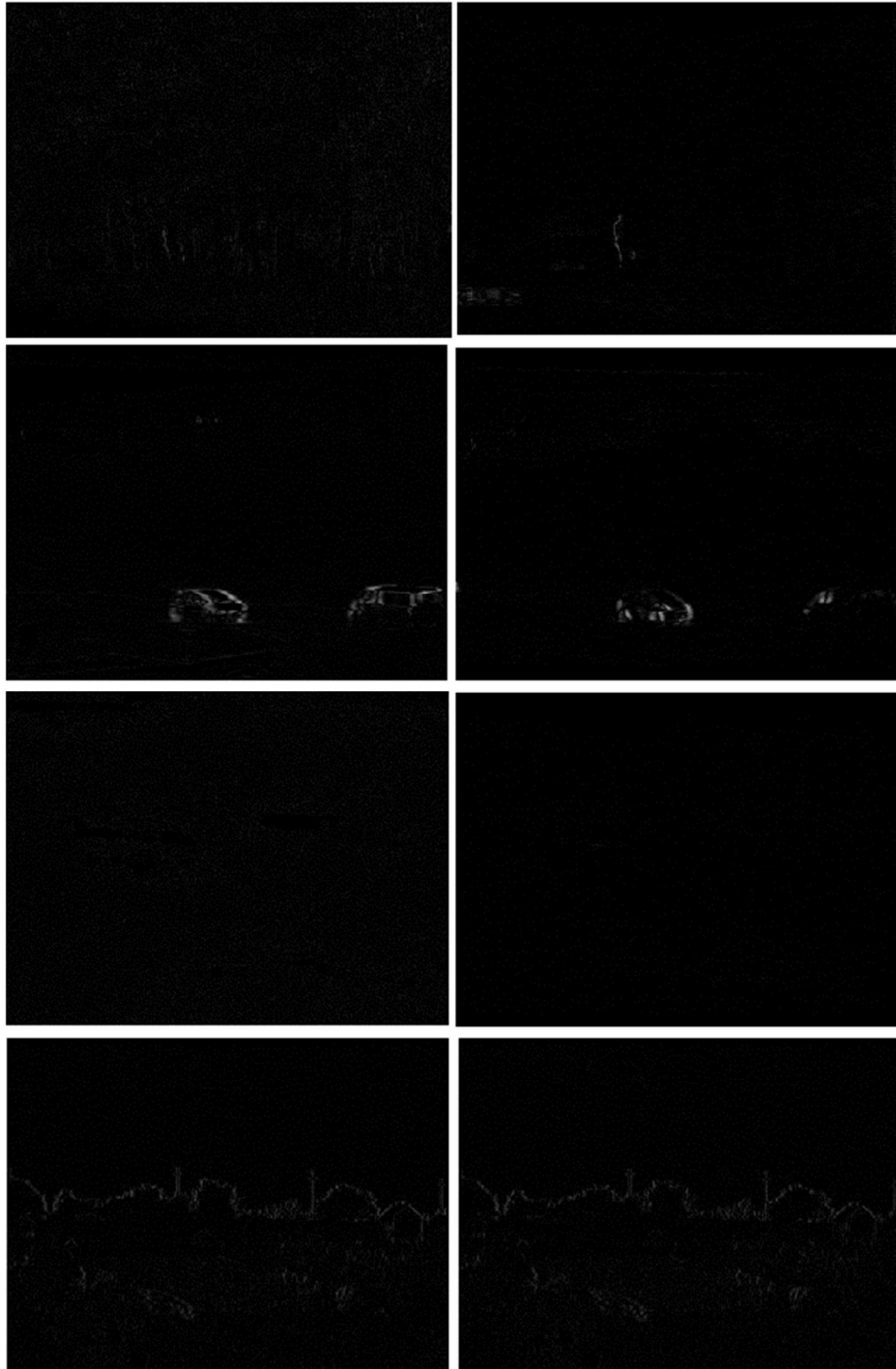
Na ulaznim sekvencama vide se promene usled pokreta objekata na sceni, najviše na trećoj i osmoj sekvenci (slika 3.39). Na trećoj sekvenci se vide promene pokrete automobila, dok su na osmoj sekvenci promene najveće i posledica su promene kompletne scene zbog izostanka stabilizacije. Na prvoj sekvenci su promene usled kretanja vojnika, dok na šestoj sekvenci je prisustvo šuma uz slabo vidljive promene.

Što se tiče metoda za sjedinjavanje najlošije rezultate daje klasična Laplasova piramida kod koje su ivice najrazmrljanije u odnosu na druge dve metode (slika 3.40). Metoda dinamičkog Laplasovog sjedinjavanja daje jasne ivice koje su posledice kretanja i to kada se prenese u sjedinjenu sekvencu umanjuje pojavu oreola i treperenje. Na šestoj sekvenci gde je veće prisustvo šuma na sjedinjenim sekvencama je to najmanje uočljivo kod dinamičkog, dok je

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

najvidljivije kod klasične Laplasove piramide. I u ovom slučaju MCDWT metoda je po vizuelnoj analizi između ova dva sjedinjavanja Laplasovom piramidom.

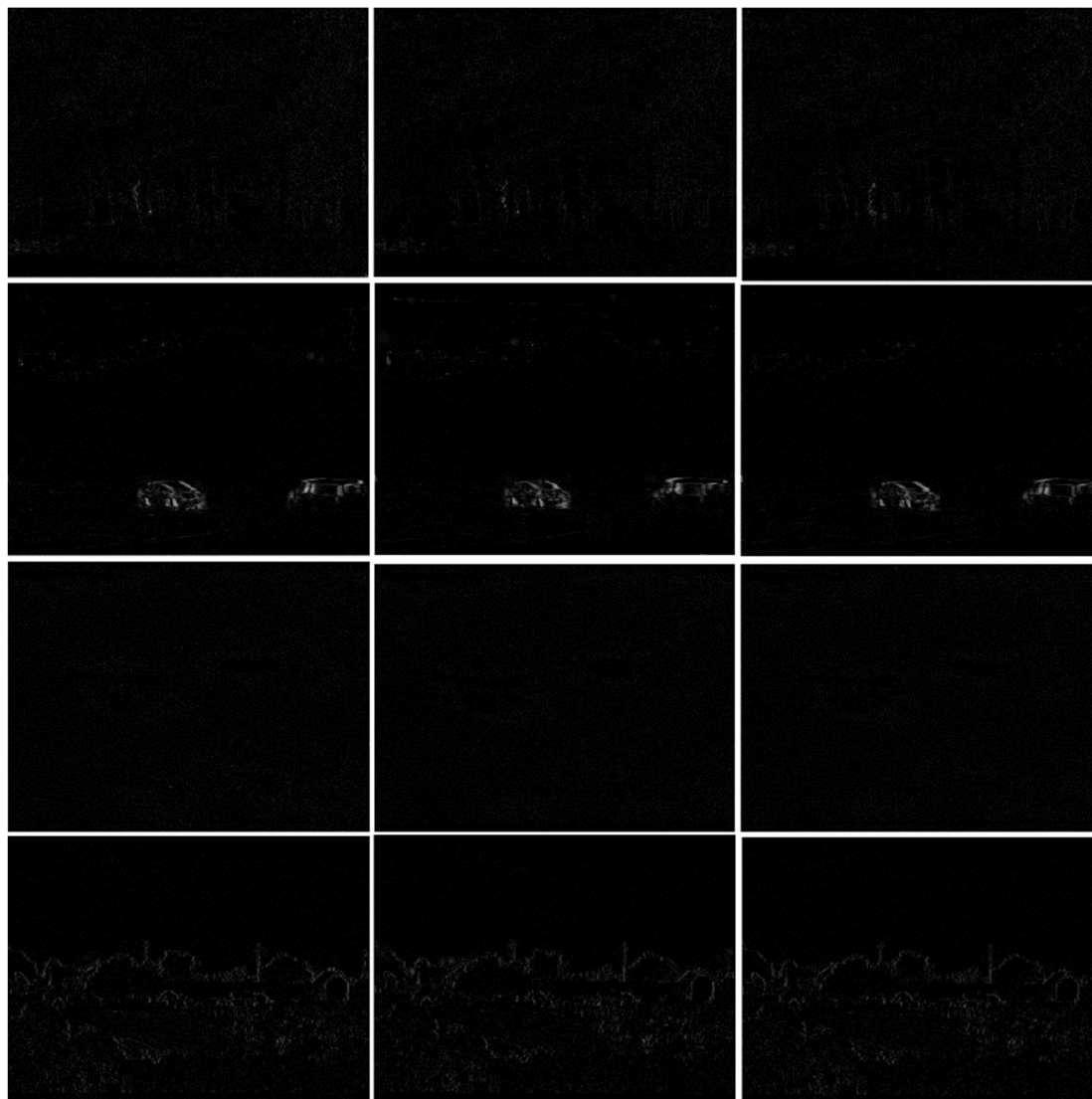


Slika 3.39. Razlike sukcesivnih frejmova za ulazne TV slike leva kolona i IR slike desna kolona.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

Očigledno je da čak i slaba dinamika na ulaznim sekvencama zahteva vremenski pouzdanije sjedinjavanje, kako bi se izbegli problemi poput treperenja i pojačanja šuma na sjedinjenoj sekvenci. Ovo je pokazatelj prednosti u primeni predložene metode dinamičkog Laplasovog sjedinjavanja u odnosu na ostale metode u realnim sistemima.



**Slika 3.40. Poređenje razlike sukcesivnih frejmova za metode Laplasove piramide leva kolona, MCDWT srednja kolona i LAP DIN desna kolona.**

Kao mera vremenske stabilnosti uzeta je promena jednog piksela iz sekvence 2 kroz frejmove na ulaznom i sjedinjenim video sekvencama. Uzeta je tačka sa koordinatom (360, 100) i iz ulaznih sekvenci se vidi da ne postoje značajnije promene tokom frejmova. Sa slike 3.41 i slike 3.42 vidi se da je vrednost intenziteta piksela na televizijskoj sekvenci

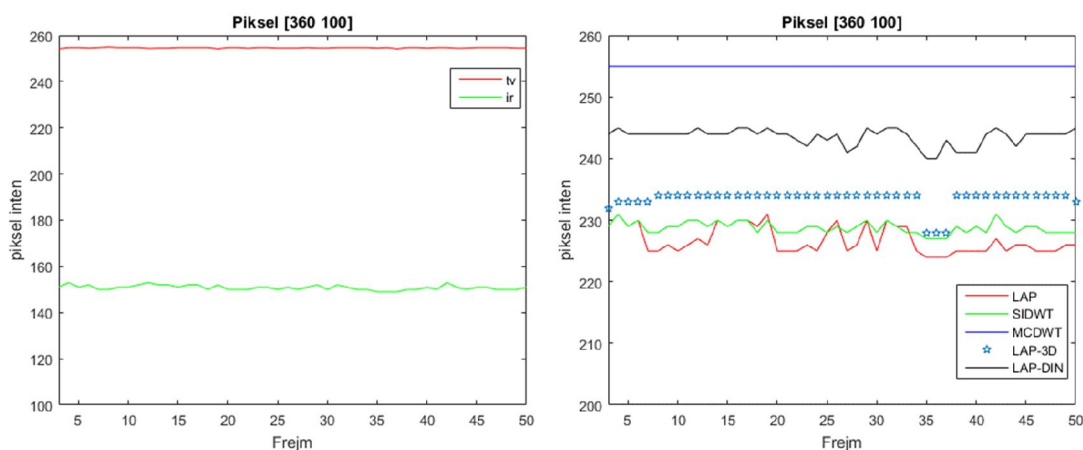
### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

maksimalna i iznosi 255 i da predstavlja belu boju. Na termovizijskoj sekvenci je nešto niža i predstavlja nivo sivog oko 155.

Vrednosti nivoa sivog na sjedinjenim sekvencama su različite kod nekih metoda a postoje i značajne promene tokom frejmova. Kao što se videlo iz prethodnih primera najniže vrednosti su kod frejm po frejm metoda, dok je najveća vrednost kod MCWT metode. Kod ove metode je kroz sve frejmove maksimalna vrednost i konstantna je, jer svi pikseli koji prilikom sjedinjavanja imaju vrednost veću od 255, postavljaju se na maksimalnu vrednost. Što se tiče statičkih metoda za sjedinjavanje vidljive su veće fluktuacije vrednosti piksela kroz sekvencu i ovo unosi treperenja kroz sekvencu. Dinamičko sjedinjavanje Laplasovom piramidom daje bolje rezultate jer postoje manje promene i delovi sa konstantnom vrednošću. Sjedinjavanje 3D tehnikama je daleko vremenski stabilnije i vrednost intenziteta piksela je u najvećem delu konstantna.



Slika 3.41. Frejm iz sekvence 2 sa izdvojenim pikselom.

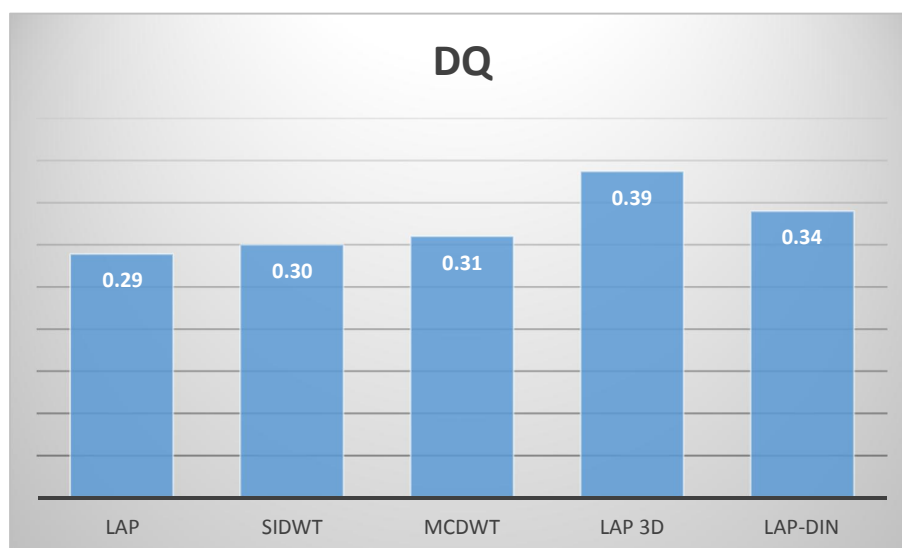


Slika 3.42. Vrednosti piksela ulaznih i sjedinjene sekvence za tačku 360,100.



### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

U cilju objektivne procene uspešnosti sjedinjavanja izvršeno je poređenje metoda na bazi svih 8 sekvenci sa merama za objektivnu procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci  $DQ$ ,  $DMI$  i  $rSTFe$ . Rezultati mere  $DQ$  za 5 metoda sjedinjavanja dati su na slici 3.43.



Slika 3.43. Rezultati mere  $DQ$  za osam sekvenci sjedinjavanja.

Redosled metoda za sjedinjavanje je isti i na ovoj bazi. Ubedljivo najbolji rezultati postignuti su 3D Laplasovom piramidom i iznosi 0,39, što je velika vrednost za meru  $DQ$  i pokazuje uspešno sjedinjavanje. Nešto lošije rezultate daje metoda dinamičkog sjedinjavanja Laplasovom piramidom od 0,34 što je isto visoka vrednost. Lošije rangirane metode su MCDWT, SIDWT i najlošije standardnom Laplasovom piramidom, koje su sa malim razlikama u vrednosti mere  $DQ$ . Primećuje se da u odnosu na prethodnu bazu, rezultati sjedinjavanja su veći i metode su ukupno uspešnije. Rezultati mere  $DQ$  po sekvencama dati su u tabeli 3.4.

Tabela 3.4. Tabelarni prikaz rezultata mere  $DQ$  za osam sekvenci sjedinjavanja po metodama.

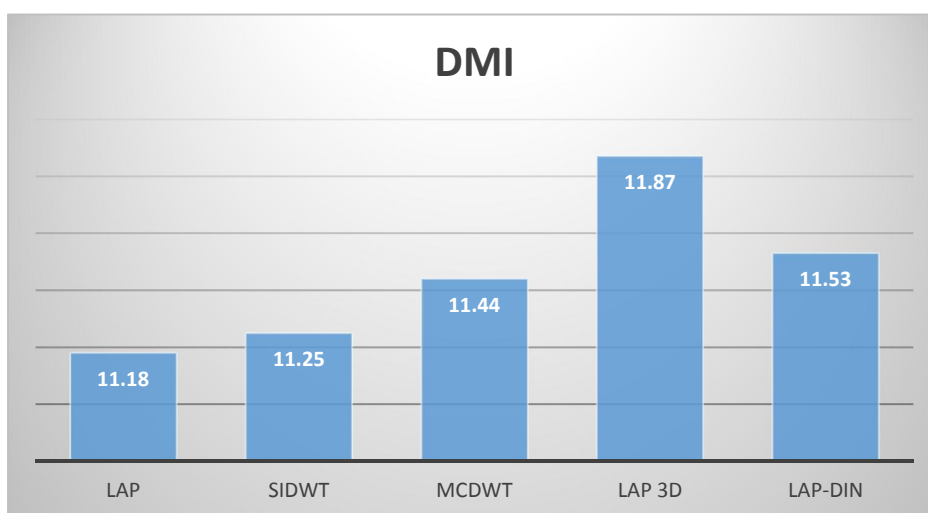
	Ime sekv	LAP	SIDWT	MCDWT	LAP-3D	LAP DIN
<b>Sekv 1</b>	Va1	0.31	0.34	0.35	0.42	0.38
<b>Sekv 2</b>	uprava	0.29	0.31	0.33	0.40	0.35
<b>Sekv 3</b>	metro	0.27	0.28	0.29	0.35	0.31
<b>Sekv 4</b>	avion	0.22	0.23	0.25	0.34	0.30

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

<b>Sekv 5</b>	zgrada	0.29	0.31	0.31	0.39	0.33
<b>Sekv 6</b>	Selo	0.35	0.36	0.38	0.44	0.39
<b>Sekv 7</b>	obilaznica	0.27	0.28	0.27	0.36	0.29
<b>Sekv 8</b>	put	0.29	0.29	0.33	0.39	0.35
<b>Ukupno</b>		0.29	0.30	0.31	0.39	0.34

Redosled metoda sjedinjavanja prema meri  $DQ$  za sve sekvence je isti, jedino su vrednosti različite po sekvencama. Najveća vrednost mere  $DQ$  je za sekvencu 6 koja sadrži veći broj detalja i gde su mere za sjedinjavanje veoma uspešne. Najmanje vrednosti su za sekvencu 4 koja predstavlja dalju scenu i gde objekti nisu jasno uočljivi, a samim tim i metode sjedinjavanja ne postižu najbolje rezultate.

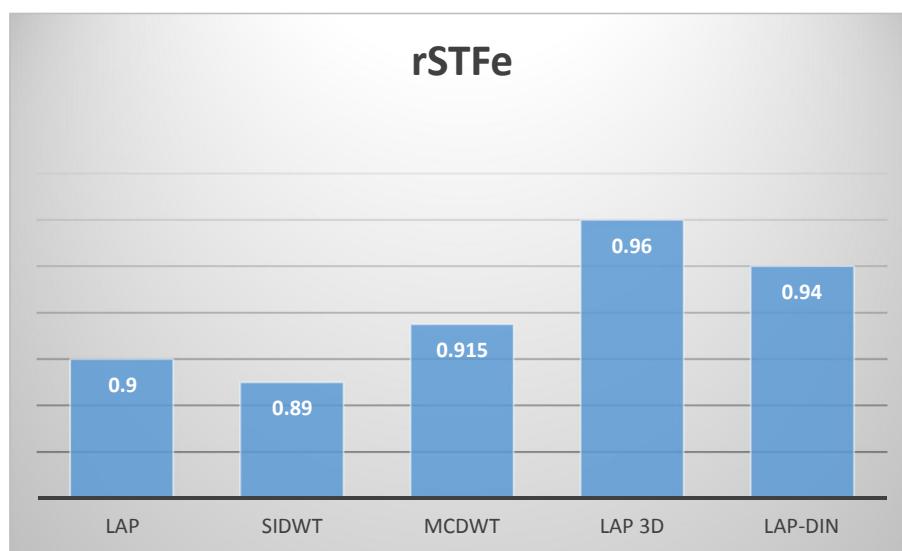
Mera  $DMI$  poredi metode sjedinjavanja istim redosledom kao i mera  $DQ$  (slika 3.44). Laplasova 3D piramida prednjači u očuvanju prostorno vremenskih informacija, dok je metoda dinamičke Laplasove piramide nešto lošije ali je pogodna za sjedinjavanje video sekvenci u realnom vremenu. U poređenju sa prethodnom bazom rezultati mere  $DMI$  su slični, jedino što je veća razlika u prve dve po rangju metode. Što se tiče rezultatata mere  $DMI$  po sekvencama, mera ima najveću vrednost na sekvenci 3, a najmanju na sekvenci 6, što je obrnuto od mere  $DQ$ .



Slika 3.44. Rezultati mere  $DMI$  na osam sekvenci sa pet metoda sjedinjavanja.



Rezultati mere  $rSTFe$  dati su na slici 3.45. Redosled metoda sjedinjavanja je isti kao i kod prethodne baze i za razliku od mera  $DQ$  i  $DMI$  rang Laplasove piramide i SIDWT je različit. Što se tiče prve 3 metode za dinamičko i 3D sjedinjavanje redosled je isti i od dinamičkog sjedinjavanja dinamička Laplasova piramida daje bolji rezultat od MCWT, dok 3D Laplasova piramida daje najbolji rezultat.



Slika 3.45. Rezultati mere  $rSTFe$  na osam sekvenci sa pet metoda sjedinjavanja.

#### 3.2.3. Merenje računarske kompleksnosti

Uspešnost metoda za sjedinjavanje video sekvenci može se meriti i vremenom kojim je potrebno sjediniti jedan frejm, što je od izuzetne važnosti za sjedinjavanje u realnom vremenu. Sekvence rezolucije 640x480 piksela sjedinjavane su na istom hardveru sa i7 procesorom i 8GB RAM memorije. Kako ne bi uzimali vremena sjedinjavanja koja zavise od mnogo parametara date su vrednosti u odnosu na sjedinjavanje Laplasovom piramidom, koja je od pomenutih najbrža tehnika sjedinjavanja (Tabela 3.4). Vidi se da je najzahtevnija metoda MCDWT jer pored DWT traži i izdvajanje pokreta između frejmova. Od dinamičkih metoda najbrža je dinamička Laplasova piramida koje je implementirana i radi u realnom vremenu sa 25 frejmova u sekundi, dok ostale metode ne mogu to da postignu. Ova metoda razlaže samo jednu piramidu po frejmu što je čini efikasnijom od drugih. Laplasova 3D piramida zahteva manju procersku moć od MCDWT metode ali je zbog potrebne veće količine memorije za veće sekvence neprimenjiva.

Tabela 3.5. Računarska kompleksnost metoda sjedinjavanja u odnosu na sjedinjavanje Laplasovom piramidom.

	LAP	SIDWT	MCWT	3D LAP	LAP DIN
puta više od LAP	1	1.6	1.8	1.75	1.3

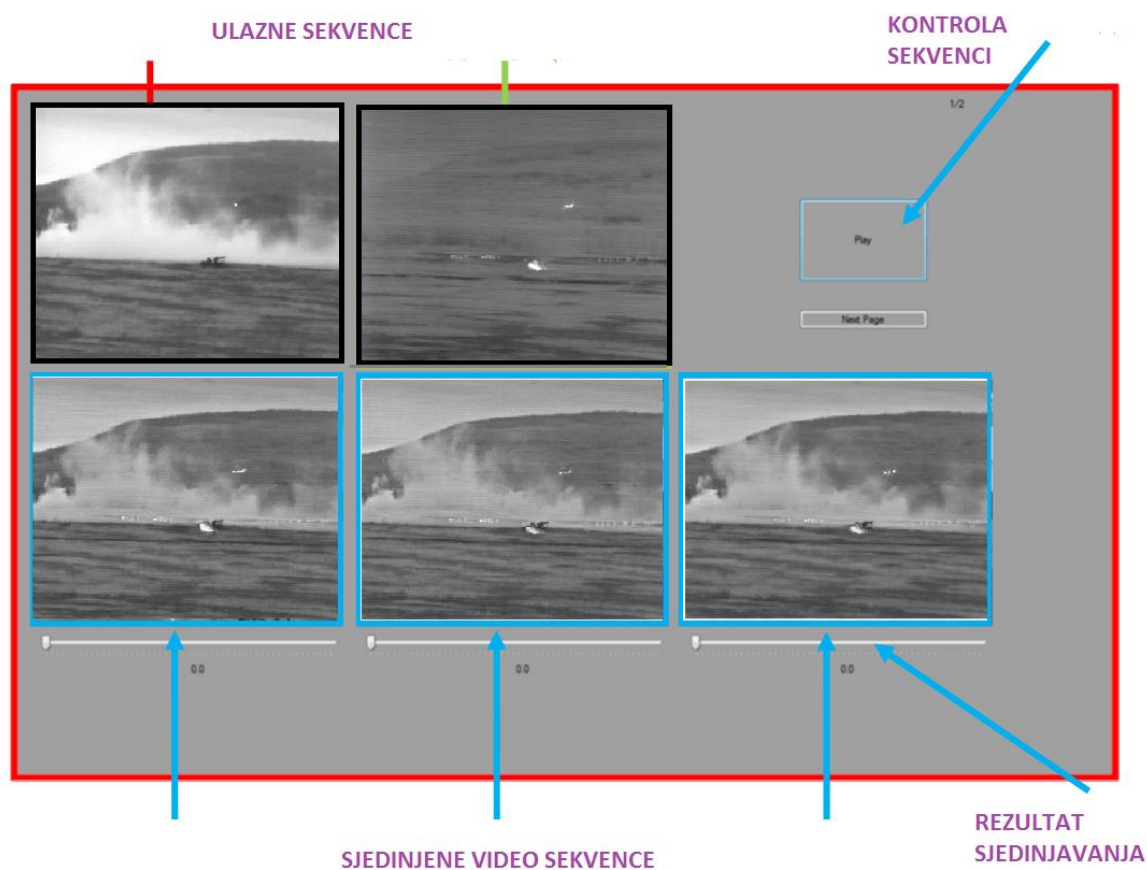
### 3.3. Subjektivna procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

Za potrebe evaluacije opisanih i predložene metode sjedinjavanja video sekvenci pored objektivnih metoda i njihovih rezultata, najmerodavnije poređenje daju subjektivni testovi. Međutim, potrebno je izabrati iskusne posmatrače, odnosno najbolje bi bilo da krajnji korisnici sistema evaluiraju metode sjedinjavanja. U toku istraživanja urađeno je više subjektivnih testova koji porede rezultate dinamičkog sjedinjavanja video sekvenci, ali je 4 testa prikazano u ovom delu.

Za realizaciju subjektivnih testova korišćen je softver specijalno napravljen za subjektivnu procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci (slika 3.46). Softver istovremeno može da prikaže 5 video sekvenci od kojih su dve ulazne i tri sjedinjene različitim metodama sjedinjavanja. Softver može da obezbedi testiranje i više od tri sjedinjene video sekvence, stim što u tom slučaju porede se 3 po 3 na svakoj stranici. Ponavljanje video sekvenci može se vršiti neograničen broj puta, sve dok posmatrač se ne odluči o uspešnosti sjedinjavanja za svaku. Rezultati sjedinjavanja za metodu unose se pomoću klizača ispod svake sjedinjene sekvence od vrednosti 0 do 5 sa korakom od 0,1. Vrednost 0 predstavlja totalan gubitak podataka iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu, dok 5 označava idealno sjedinjavanje. Redosled pojavljivanja sjedinjenih sekvenci je slučajna, kako bi se izbeglo pristrasno ocenjivanje metoda. Nakon završetka jedne sekvence, prelazi se na sledeću, a rezultati se upisuju u txt fajl.

Svim subjektima koji su učestvovali je najpre objašnjen cilj sjedinjavanja kroz odštampane instrukcije sa informacijama šta se očekuje od njih tokom testiranja. Definisane su procedure testova, skrenuta pažnja na izobličenja koja treba da uoče prilikom sjedinjavanja, gubitak informacija iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu, prisustvo šuma u sekvencama i drugo.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.46. Izgled softvera za subjektivne testove.

Prvi test subjektivne promeće video sekvenci rađen je na prvoj bazi koja sadrži 6 video sekvenci i 3 metode za video sjedinjavanje. Test je radilo 10 poluiskusnih posmatrača koji imaju iskustvo u obradi slike i video signala, ali ne i u multisenzorskom sjedinjavanju. Test je rađen u prostorijama Vojnotehničkog instituta u kancelariji sa dnevnim svetlom. Veličina monitora za prikaz je 27'' i rezolucije 1920x1080 (FULL HD). Vreme testa je neograničeno, dok položaj monitora, rastojanje od monitora do posmatrača biraju sami posmatrači. Posmatrači ocenjuju svaku sekvencu na skali od 0 do 5, a mogu dati i iste vrednosti ako su neodlučni. Prvi test poredi metode za video sjedinjavanja Laplasovu piramidu frejm po frejm, SIDWT i dinamičku Laplasovu piramidu. Kompletni rezultati ispitanika dati su u tabeli 3.6. Srednje vrednosti ispitanika po metodama- *MOS* vrednosti date su na slici 3.47 a standardne devijacije na slici 3.48. Sa slike se vidi da se rezultati subjektivnih testova poklapaju sa metodama za objektivnu procenu. Sjedinjavanje dinamičkom Laplasovom

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

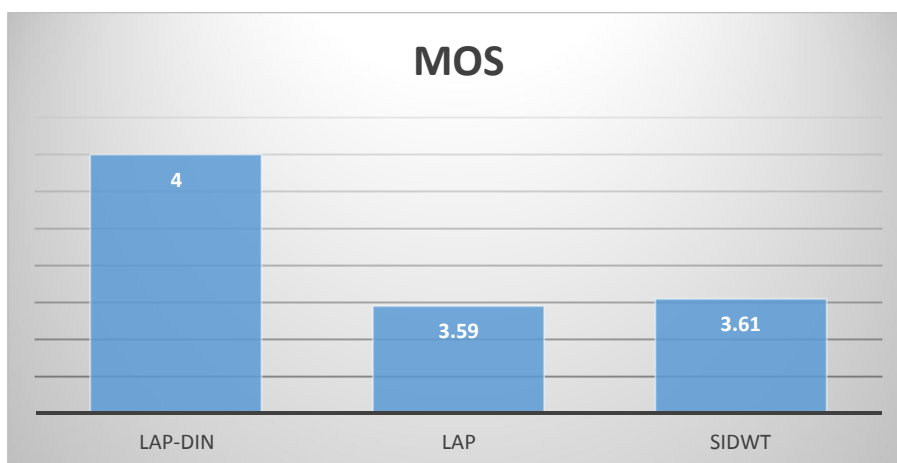
piramidom je značajno bolja metoda od ostalih metoda. Metode standardne Laplasove piramide i SIDWT daju skoro identične rezultate ako se uzme srednja vrednosti ispitanika.

Tabela 3.6. Rezultati subjektivnih testova za subjekte i metode.

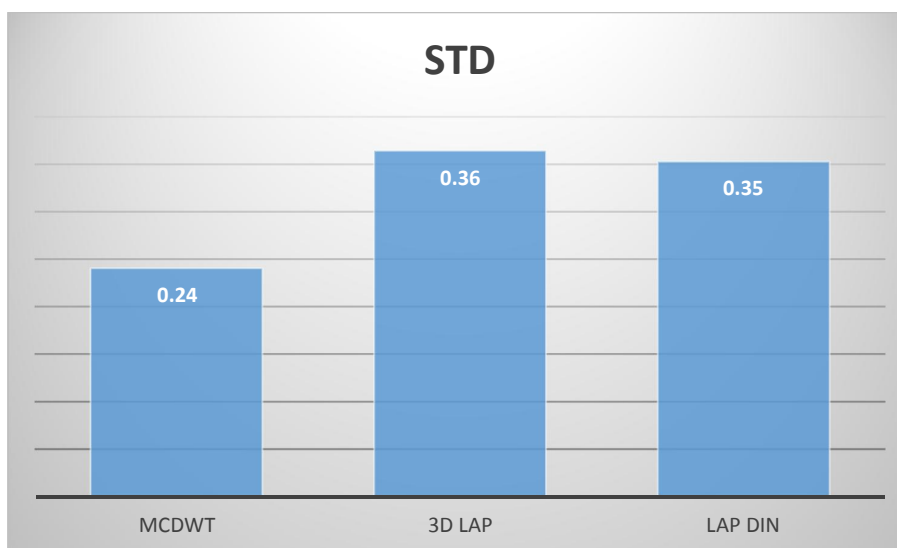
subj	test	1	2	3	4	5	6	Sr. vred.	Std
1	MCDWT	4.0	4.0	4.0	4.5	3.5	3.0	3.83	0.52
	3D LAP	5.0	5.0	4.5	4.5	5.0	4.0	4.67	0.41
	LAP DIN	4.5	5.0	4.5	4.0	4.0	3.5	4.25	0.52
2	MCDWT	2.9	4.0	4.0	3.8	3.5	4.0	3.70	0.44
	3D LAP	4.0	3.5	4.0	4.0	3.8	3.5	3.80	0.24
	LAP DIN	3.5	3.3	3.5	4.1	3.6	4.0	3.67	0.31
3	MCDWT	4.0	4.0	3.5	4.0	3.0	4.0	3.75	0.42
	3D LAP	5.0	4.5	4.0	5.0	4.0	4.5	4.50	0.45
	LAP DIN	5.0	5.0	3.5	4.0	3.5	4.5	4.25	0.69
4	MCDWT	3.3	3.0	2.0	3.4	3.0	4.0	3.12	0.66
	3D LAP	4.2	3.0	4.0	3.3	4.0	3.5	3.67	0.47
	LAP DIN	3.7	3.5	3.0	3.7	3.5	3.0	3.40	0.32
5	MCDWT	4.0	3.0	3.2	4.0	3.4	4.1	3.62	0.48
	3D LAP	5.0	4.3	4.3	5.0	4.0	4.0	4.43	0.46
	LAP DIN	3.5	4.0	3.9	5.0	4.2	3.8	4.07	0.51
6	MCDWT	4.0	3.4	3.0	4.0	3.5	3.4	3.55	0.39
	3D LAP	4.0	4.3	4.0	4.2	2.5	4.1	3.85	0.67
	LAP DIN	3.0	4.4	3.6	4.0	3.5	4.0	3.75	0.49
7	MCDWT	2.8	3.0	3.6	4.0	2.2	3.8	3.23	0.69
	3D LAP	3.5	4.4	3.8	4.2	2.9	3.0	3.63	0.62
	LAP DIN	3.6	3.5	3.7	4.1	3.3	4.0	3.70	0.30
8	MCDWT	4.0	3.7	3.5	4.2	2.5	4.1	3.67	0.63
	3D LAP	4.8	4.2	4.1	5.0	3.5	4.2	4.30	0.54
	LAP DIN	4.3	3.6	4.0	4.7	3.0	3.3	3.82	0.64
9	MCDWT	3.0	3.6	3.0	3.7	3.0	3.6	3.32	0.35
	3D LAP	4.5	4.0	4.2	3.9	3.5	4.1	4.03	0.33
	LAP DIN	3.5	3.1	3.4	3.3	3.0	3.2	3.25	0.19
10	MCDWT	3.5	4.0	3.5	4.0	3.6	3.5	3.68	0.25
	3D LAP	4.1	4.5	4.1	4.5	3.9	3.5	4.10	0.38
	LAP DIN	3.3	3.6	4.0	4.0	2.4	3.0	3.38	0.62

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---



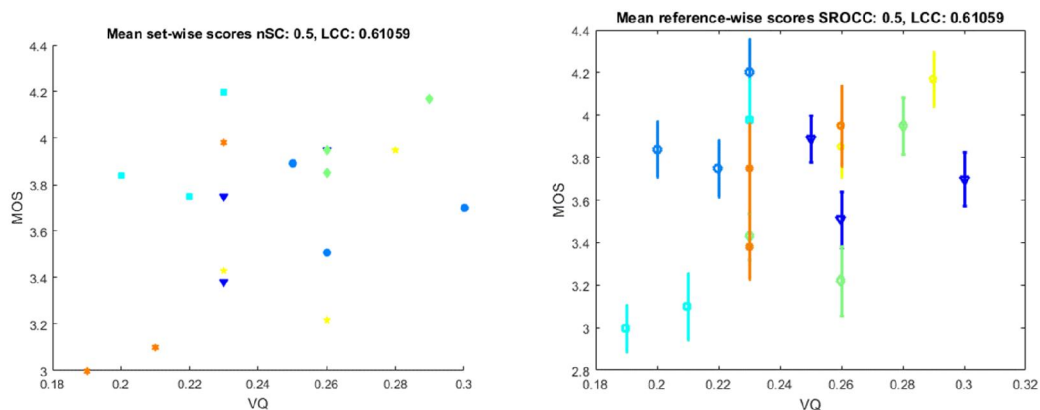
Slika 3.47. *MOS* subjektivnih testova za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.



Slika 3.48. Standardne devijacije subjektivnih testova za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.

Rezultati subjektivnih i objektivnih testova prikazani su i grafički na slici 3.49. Na y osi nalaze se vrednosti *MOS* subjektivnih testova, dok je na x osi vrednosti dinamičke mere, u ovom slučaju *DQ*. Na prvoj slici istim oblicima postavljene tačke koje predstavljaju vrednosti mera iz iste sekvence. Najbolje slaganje mera je ukoliko one leže na pravoj  $y=kx$ . Na drugom dijagramu su istim bojama vrednosti iz iste sekvence sa standardnim devijacijama *MOS*. Sa slike se vidi da su vrednosti *SROCC* i *LCC* 0,5 i 0,62 respektivno.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.49. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih testova za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.

Drugi test je sličan po postavci prvom i istih 10 subjekata je radilo pod identičnim uslovima kao i u prvom testu. Takođe, tri metode su testirane za sjedinjavanje video sekvenci i to metode za dinamičko i 3D sjedinjavanje. Uzete su metode MCDWT, 3D Laplasova piramida i dinamička Laplasova piramida. Baza je ista kao u prvom testu sa 6 video sekvenci. Kompletni rezultati dati su u tabeli 3.7.

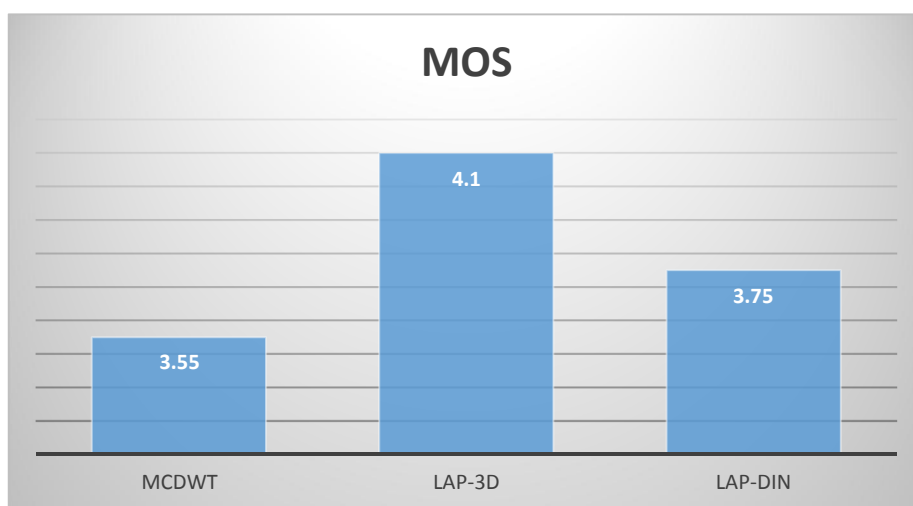
Tabela 3.7. Rezultati subjektivnih testova za subjekte i metode na bazi VTI.

subj	test	1	2	3	4	5	6	sr. vred	STD
1	LAP DIN	4.3	4.4	3.8	4.1	3.7	3.8	4.02	0.29
	LAP	4.1	4.0	4.0	3.5	3.5	3.7	3.80	0.27
	SIDWT	4.0	4.5	4.1	4.0	3.5	3.5	3.93	0.38
2	LAP DIN	3.7	3.6	3.9	3.5	3.1	3.2	3.50	0.30
	LAP	3.0	3.9	3.5	3.1	3.3	3.8	3.43	0.37
	SIDWT	3.8	4.0	4.1	4.0	3.5	3.6	3.83	0.24
3	LAP DIN	4.5	4.2	4.0	3.9	3.7	3.8	4.02	0.29
	LAP	4.0	3.8	3.6	3.0	2.9	3.3	3.43	0.44
	SIDWT	3.5	3.6	3.4	3.7	3.0	3.0	3.37	0.30
4	LAP DIN	4.1	4.3	4.1	3.9	3.8	3.9	4.02	0.18
	LAP	4.0	3.7	3.0	3.5	3.1	3.4	3.45	0.37
	SIDWT	4.2	4.0	3.8	3.8	3.1	3.2	3.68	0.44
5	LAP DIN	3.9	3.8	4.0	4.1	3.6	3.9	3.88	0.17
	LAP	4.1	3.7	4.0	3.7	3.0	4.0	3.75	0.40
	SIDWT	4.0	4.0	3.7	3.6	3.7	3.3	3.72	0.26
6	LAP DIN	4.5	4.6	4.1	4.3	4.2	4.0	4.28	0.23
	LAP	3.5	3.8	3.2	3.2	3.0	3.5	3.37	0.29
	SIDWT	3.8	3.4	3.5	3.4	3.0	3.1	3.37	0.29

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

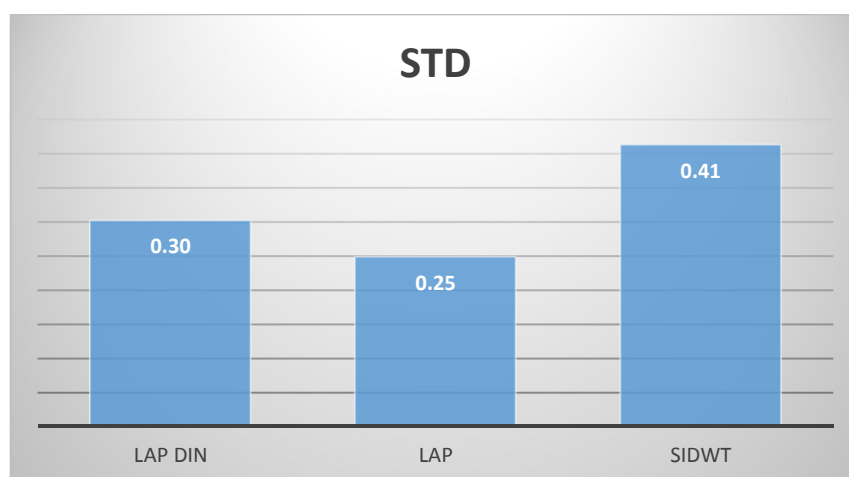
<b>7</b>	LAP DIN	3.5	3.6	3.9	3.4	3.2	3.6	<b>3.53</b>	0.23
	LAP	3.8	3.7	3.6	3.8	3.5	3.7	<b>3.68</b>	0.12
	SIDWT	3.0	3.1	3.6	3.3	3.4	3.5	<b>3.32</b>	0.23
<b>8</b>	LAP DIN	4.7	4.6	4.3	4.0	4.1	4.2	<b>4.32</b>	0.28
	LAP	4.2	4.0	4.0	4.0	3.2	4.0	<b>3.90</b>	0.35
	SIDWT	4.0	4.1	3.7	3.4	3.6	3.5	<b>3.72</b>	0.28
<b>9</b>	LAP DIN	4.0	5.0	4.0	4.0	3.0	4.0	<b>4.00</b>	0.63
	LAP	3.0	3.0	4.0	3.0	2.0	4.0	<b>3.17</b>	0.75
	SIDWT	2.0	3.0	4.0	3.0	2.0	3.0	<b>2.83</b>	0.75
<b>10</b>	LAP DIN	4.6	4.5	4.4	4.4	4.2	4.3	<b>4.40</b>	0.14
	LAP	4.5	4.0	3.8	3.7	3.7	3.6	<b>3.88</b>	0.33
	SIDWT	4.5	4.6	4.5	4.1	4.4	4.0	<b>4.35</b>	0.24

Rezultati subjektivnih testova za *MOS* i standardne devijacije dati su na slikama 3.50 i 3.51. Prema subjektima najefikasnije je sjedinjavanje 3D Laplasovom piramidom sa srednjom vrednošću od 4.1. Dinamička sjedinjavanja Laplasovom i MCDWT su nešto lošija, što je u skladu i sa objektivnim merama za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Uočava se da je metoda sjedinjavanja dinamičkom Laplasovom piramidom dobila različite vrednosti ocena subjekata iako se radi o istim sekvencama, istim subjektima i istim uslovima pod kojima su subjekti radili. Ovo se može objasniti činjenicom da su u drugom slučaju metode za sjedinjavanje bile uspešnije i da je relativni uticaj metoda doveo do različitih vrednosti.



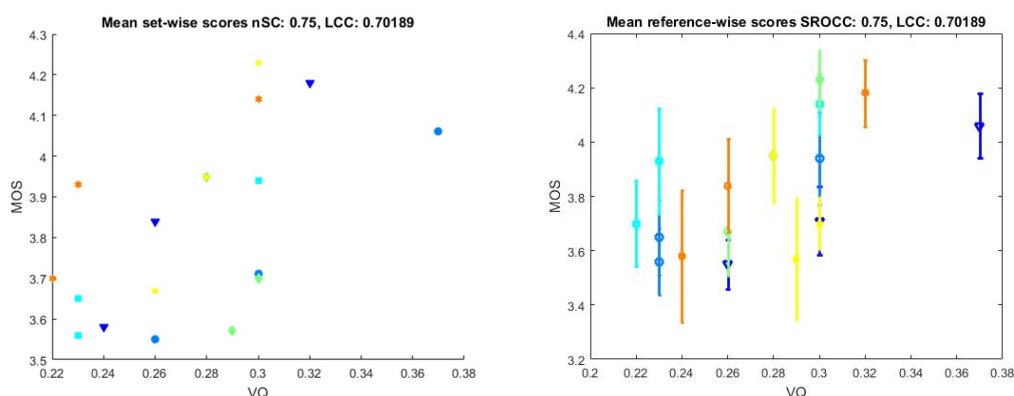
Slika 3.50. *MOS* subjektivnih testova za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.51. Standardne devijacije subjektivnih testova za metode MCDWT, 3D LAP i LAP DIN.

Vizuelni prikaz rezultata subjektivnih i objektivnih testova dat je na slici 3.52. Prema slikama vidi se da subjektivni i objektivni testovi usaglašeniji nego kod prethodnih metoda, što potvrđuju i vrednosti mera *SROCC* i *LCC* koje u ovom slučaju iznose 0,75 i 0,70. Posebno se vidi usaglašenost kod sekvence označene sa plavim kružićima, odnosno kod prve sekvence, gde se gotovo ove vrednosti nalaze sa idealnom usaglašenošću.



Slika 3.52. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih testova za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.

Treći i četvrti test izveden je bazi 8 video sekvenci napravljenoj tokom istraživanja sjedinjavanja video sekvenci. U test je uključeno 15 srednje iskusnih i iskusnih ispitanika sa istim zadatkom kao i u prethodnim, da procene uspešnost sjedinjavanja video sekvenci sa različitim metodama. Test je podeljen u dve faze, gde su u prvoj testirane metode za statičko sjedinjavanje Laplasova piramida i SIDWT frejm po frejm kao i u prvom testu, dok su u drugom delu testirane metode koje uzimaju i vremensku komponentu kao u drugom testu,

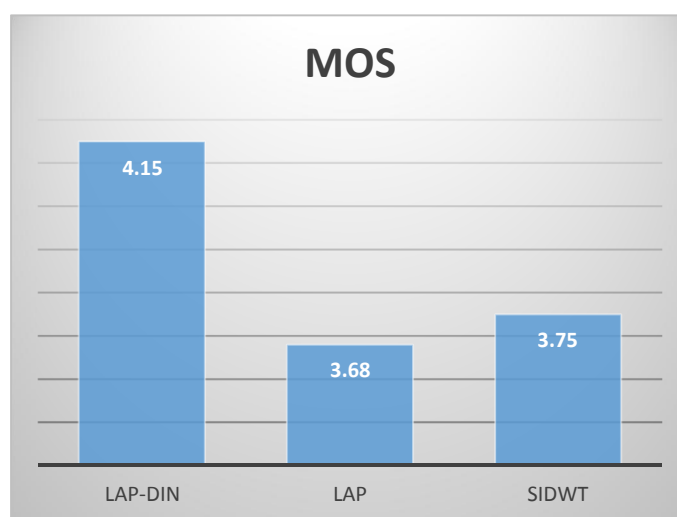


### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu

---

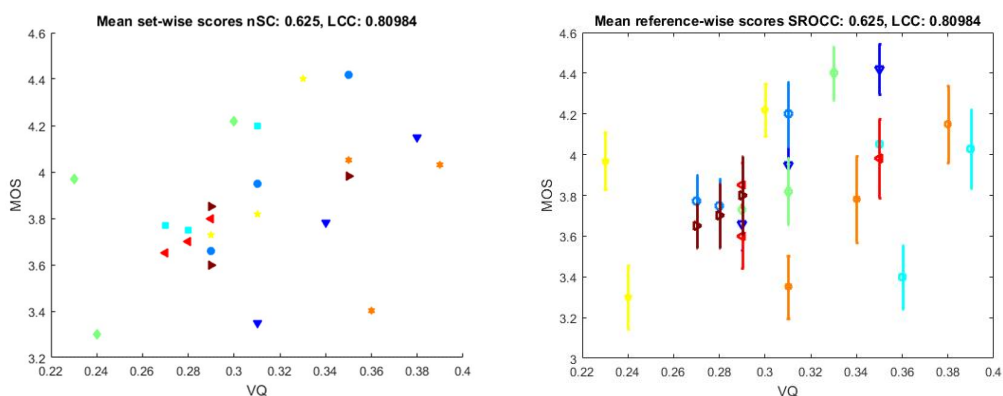
dinamička Laplasova piramida, MCWT i 3D Laplasova piramida. Testovi su izvedeni u zamračenoj laboratoriji sa veštačkim svetlom. Softver i hardver su isti kao i u prethodna dva testa, odnosno softver za izvršavanje i obradu subjektivnih testova, monitor 27'' i računar koji podržava istovremeno puštanje 5 video sekvenci. Sve video sekvence su iste rezolucije 640x480 piksela i trajanja 12 sekundi, odnosno 300 frejmova.

*MOS* za treći test za 3 metode sjedinjavanja dat je na slici 3.53. Metoda dinamiške Laplasove piramide daje najbolje rezultate kroz sve sekvence i ukupna srednja vrednost je 4,15, što predstavlja veoma uspešno sjedinjavanje i prema subjektima uspešno je održavanje prostorno-vremenskih informacija, što je bio cilj da se oceni. SIDWT i sjedinjavanje standardnom Laplasovom piramidom prema subjektima daju slične rezultate. Poređenje vrednosti subjektivnih i objektivnih testova, kao i rezultati *SROCC* i *LCC* mera dati su grafički na slici 3.54. Usaglašenost mera za subjektivnu i objektivnu procenu je isto veoma visoka i *LCC* iznosi 0,81. Najbolje slaganje se pokazalo kod prve, druge i sedme sekvence koju su prikazane plavim trouglovima, plavim kružićima i crvenim trouglovima.



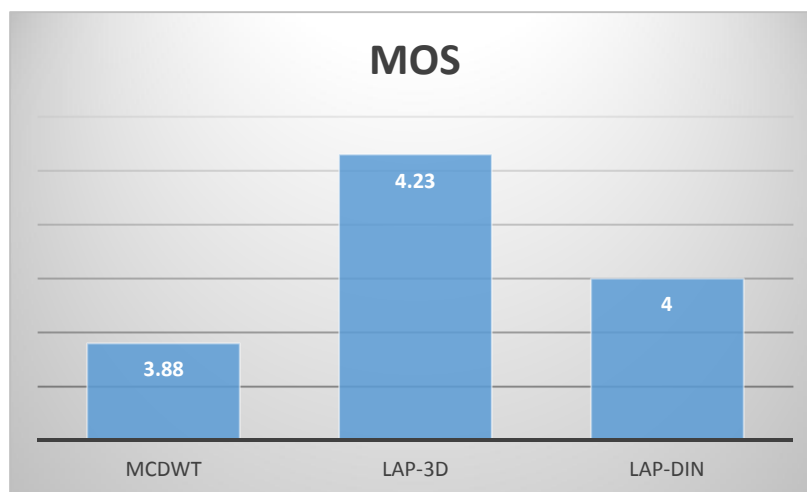
Slika 3.53. *MOS* za bazu od osam video sekvenci za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



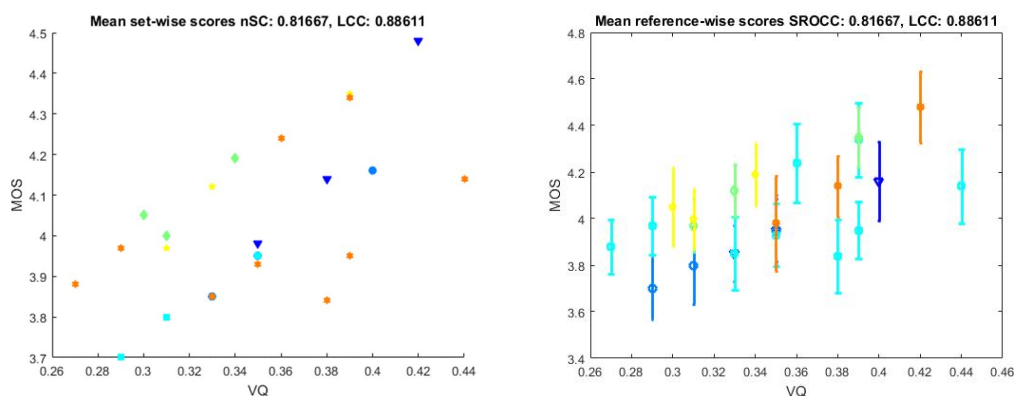
Slika 3.54. Poređenje rezultata subjektivnih i objektivnih testova za bazu od osam video sekvenci za metode LAP DIN, LAP i SIDWT.

Rezultati četvrtog subjektivnog testa prikazani su na slici 3.55. Subjekti su veoma visoko ocenili metode za sjedinjavanje dinamičkih video sekvenci i po pretpostavci 3D Laplasova piramida daje najbolje rezultate. Veoma visoko je ocenjena metoda dinamičkog sjedinjavanja Laplasovom piramidom sa srednjom vrednošću 4. I ovde je vrednost manja nego kod prethodnog testa ali je isto u pitanju relativno poredjenje metoda iz dva testa. Poredjenje rezultata subjektivnog testa broj 4 i mere  $DQ$  dato je na slici 3.56. Uočljiva je veoma visoka korelisanost subjektivnog testa i mere  $DQ$  ( $SROCC=0,82$  i  $LCC=0,87$ ), što se vidi kod većeg broja ulaznih sekvenci.



Slika 3.55. MOS subjektivnih testova na bazi od 8 video sekvenci za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.

### 3. Video sjedinjavanje u realnom vremenu



Slika 3.56. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih testova na bazi od osam video sekvenci za metode MCDWT, LAP 3D i LAP DIN.

### 3.4. Sažetak

U ovom delu predstavljena je nova metoda za dinamičko sjedinjavanje video signala koja je primenjiva u sistemima koji zahtevaju rad u realnom vremenu. Osnovu metode čini Laplasova piramida, kao proverena tehnika u sjedinjavanju mirnih slika. Sjedinjavanje klasičnom Laplasovom piramidom ne daje dobre rezultate na sjedinjavanju video signala zato što ne uzima vremensku komponentu. Predložena metoda zasnovana je na proračunu energija tri uzastopna frejma ulaznih sekvenci za svaki nivo Laplasove piramide, na osnovu čega se formiraju težinski koeficijenti za sjedinjavanje.

Predložena metoda daje najbolje rezultate od poređenih tehnika za sjedinjavanje mirnih slika i video signala, a koje se mogu koristiti u sistemima koji rade u realnom vremenu. Jedino bolje rezultate daju 3D metode, ali su one neprimenjive u sistemima u realnom vremenu jer zahtevaju obradu na kompletnoj sekvenci. Samim tim je i veća računarska zahtevnost i memorija potrebna za implementaciju i rad ovakvih algoritama. Rezultati su potvrđeni na dve baze, od kojih je jedna napravljena u okviru ovog istraživanja i subjektivnih testova.

## **4. PROCENA USPEŠNOSTI SJEDINJAVANJA VIDEO SEKVENCI**

Primena sjedinjavanja slika u realnom vremenu je od osnovnog značaja na primer u vojsci, civilnoj avijaciji ili medicini. To znači da se video sekvenca od 30 i više slika iz različitih senzora sjedinjuje u jednu izlaznu sekvencu svake sekunde [41]. Većina algoritama za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika napravljeni su za mirne slike i daju dobre rezultate prilikom sjedinjavanja prostornih informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu sliku. Ovo ne znači da se ovi algoritmi ne mogu koristiti za sjedinjavanje video sekvenci ali pri njihovom korišćenju javljaju se problemi. Jedan od njih je vremenska stabilnost zbog promena na sceni zbog koje bi trebalo menjati parametre kroz sekvencu, na primer broj nivoa dekompozicije kod Laplasove [8] ili ROLP piramide [9] ili veličina prozora filtra kod računarski efikasne metode [123], kako bi dobili što bolje rezultate sjedinjavanja. Pored toga računarska zahtevnost predloženih algoritama nije bitna ako se radi o sjedinjavanju mirnih slika ali je veoma važna ako se radi sjedinjavanje u realnom vremenu. Iz ovih razloga uzima se kompromis između računarske zahtevnosti i rezultata koje daju algoritmi za sjedinjavanje.

Prema tome potrebno je da metoda bude pouzdana za proračun uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci i za poređenje rezultata različitih metoda sjedinjavanja. Mere treba da obezbede robustno ocenjivanje promene parametara algoritama sjedinjavanja u zavisnosti od uslova. Ovo je posebno pogodno za sjedinjavanje sekvenci u realnom vremenu gde se uslovi menjaju posle dužeg vremenskog perioda pa se optimizacija parametara može izvršavati za veći broj frejmova. Većina mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci bazirana je na merama za mirne slike uzimajući vremensku komponentu u proračun. Na taj način razvijene su i tri najzastupljenije mere za video sekvenci čija će analiza i rezultati biti predstavljeni u narednom delu.

### 4.1. Prostorno vremenske frekvencija kao mera dinamičkog sjedinjavanja

Pored očuvanja prostornih frekvencija u sjedinjavanju dinamičkih slika ili videa bitnu ulogu ima i očuvanje vremenskih informacija [122]. Treperenja u sjedinjenom video, koja su neprimetna prilikom posmatranja pojedinačnih frejmova, mogu znatno da iskvare rezultat sjedinjavanja. U zavisnosti da li krajnji korisnik čovek ili mašina mogu da izazovu neprijatne efekte ili pojavu na primer lažnih ciljeva za određene algoritme [124].

Kako bi uzeli u obzir i vremenske promene na slici, kao nastavak mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika na osnovu prostornih frekvencija predložena je mera za dinamičko sjedinjavanje video sekvenci koja je zasnovana na prostorno-vremenskom očuvanju frekvencija iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu [99]. Za proračun vremenskog očuvanja gradijenata koristimo tri uzastopna frejma iz ulaznih i sjedinjene sekvence i računamo dve vremenske frekvencije za određeni frejm, odnosno prethodnu i predstojeću vremensku frekvenciju (BTF i ATF):

$$BTF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_T(i, j) - I_{T-1}(i, j)]^2} \quad (4.1)$$

$$ATF = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [I_T(i, j) - I_{T+1}(i, j)]^2} \quad (4.2)$$

Ukupna prostorno-vremenska frekvencija (STF) za posmatrani frejm u trenutku T dobija se kao kombinacija prostornih frekvencija (2.14-2.22) u četiri pravca i dve vremenske frekvencije:

$$STF = \sqrt{(RF)^2 + (CF)^2 + (MDF)^2 + (SDF)^2 + (BTF)^2 + (ATF)^2} \quad (4.3)$$

Slično kao kod metode sa prostornim frekvencijama računa se ukupna referentna prostorno vremenska frekvencija. Najpre se izračunaju vremenski gradijenti za oba vremenska pravca (prethodni i sledeći) kao maksimalna apsolutna vrednost vremenskih gradijenata, jednačina 2.20. Vremenski gradijenti se dobijaju kao razlika tekućeg frejma i prethodnog odnosno sledećeg frejma.

Analogno proračunu prostorne mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja mirnih slika, mera zasnovana na prostorno-vremenskom očuvanju frekvencija za tekući frejm dobija se iz relacije:

$$rSTFe(T) = (STF_F(T) - STF_R(T)) / STF_R(T) \quad (4.4)$$

Ukupna mera za celu sekvencu dobija se usrednjavanjem apsolutnih vrednosti za svaki frejm pojedinačno:

$$rSTFe = \frac{1}{N_T - 2} \sum_{T=2}^{N_T-1} abs(rSTFe(T)) \quad (4.5)$$

U ukupnu meru za sekvencu uzima se apsolutna vrednost mere za svaki frejm iz razloga što one mogu uzeti i pozitivnu i negativnu vrednost i samim tim bi dolazilo do potiranja. Vrednost mere 0 predstavlja idealno sjedinjavanje, dok što je vrednost veća to je manja uspešnost.

## 4.2. Gradijenti kao mera sjedinjavanja video signala

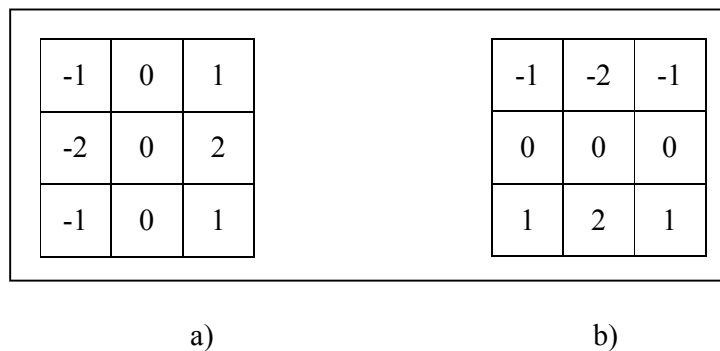
Procena uspešnosti sjedinjavanja se zasniva na merenju tačnosti prenosa vizuelnih informacija iz ulaznih u sjedinjenu sliku [90]. Ovaj algoritam poistovećuje vizuelne informacije sa ivičnim (gradijentnim) i poredi ulazne gradijentne informacije sa onim u sjedinjenoj slici subjektivnim modelom održanja informacija. Uzimajući u obzir subjektivnu važnost različitih delova slike kroz modulaciju mere lokalnog održanja informacija, ovaj algoritam proizvodi numerički rezultat uspešnosti sjedinjavanja. Rezultati pravih subjektivnih testova koriste se da optimalno podese parametre subjektivnih modela i potvrde valjanost predloženog algoritma. Iako su nepraktični, subjektivni testovi obezbeđuju korisnu i pouzdanu procenu uspešnosti sjedinjavanja i cilj je da ova metoda predvidi rezultate ovakvih testova.

Objektivna procena uspešnosti sjedinjavanja slika na bazi očuvanja gradijenata utemeljena je na poistovećivanju vizuelnih informacija sa ivicama ili gradijentnim informacijama u slici. Opšteprihvaćena činjenica je da čulo vida raspoznaje samo promene na slici. To znači da se informacije prenose promenama pre nego apsolutnim vrednostima. Uzimajući to u obzir, cilj sjedinjavanja slika se može definisati kao prenos svih ivičnih informacija iz ulaznih u sjedinjenu sliku. Savršeno sjedinjavanje slika sadrži sve ivice koje se pojavljuju i u ulaznim slikama. Ivice se u ovom kontekstu, odnose na bilo koje promene vrednosti signala slike, poznate kao gradijent slike.

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

Prenos svih gradijenata iz ulaznih u sjedinjenu sliku je moguć samo u posebnim situacijama, kada ulazne slike sadrže prostorno nezavisne informacije. U praksi, algoritmi sjedinjavanja najčešće prenose samo deo ulaznih gradijenata iz ulaznih slika u sjedinjenu. Bolji algoritmi formiraju bolju predstavu viđenog prizora prenošenjem više informacija u sjedinjenu sliku. Procenom koliko dobro sjedinjene gradijente predstavljaju ulazne može se stoga izmeriti uspešnost sjedinjavanja. Ukoliko se uzme u obzir i subjektivni značaj pojedinačnih gradijenata, procene valjanosti predstave informacija u sjedinjenoj slici mogu se odgovarajuće kvantifikovati. Algoritam koji tačno predstavi najbitnije ulazne informacije je uspešniji od algoritma koji tačno prenese manje važnih informacija.

Algoritam izdvaja vizuelne informacije iz slike definisanjem parametara jačine i orijentacije gradijenata za svaki piksel slike. Oni se dobijaju jednostavnim Sobel operatorom, koji definišu dva 3x3 prozora prikazanih na slici 4.1.



**Slika 4.1. Sobel prozori a) vodoravni, b) uspravni.**

Ovi prozori mere vodoravnu i uspravnu komponentu gradijenata u centralnom pikselu. Pri proceni sjedinjavanja sve tri slike: ulazne slike A, B i sjedinjena slika F filtriraju se Sobel prozorima što za svaku daje još po dve slike  $s^x$  i  $s^y$  koje sadrže njihove gradijentne komponente u  $x$  i  $y$ -pravcu. Iz ovih komponenti, jačina  $g(m,n)$  i orijentacija  $a(m,n)$  gradijenata dobijaju se prema jednačinama:

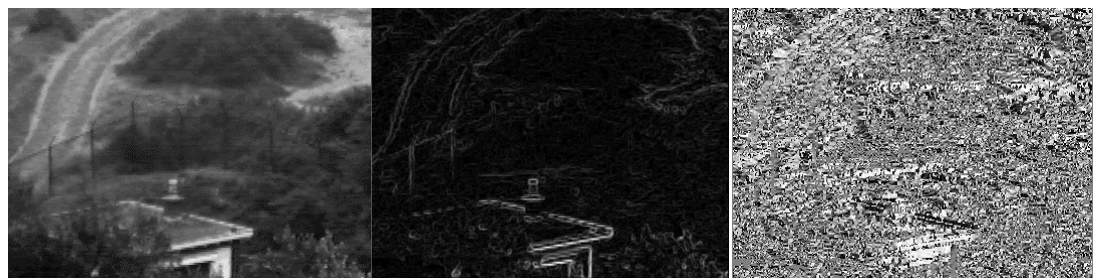
$$g_a(m,n) = \sqrt{s_A^x(m,n)^2 + s_A^y(m,n)^2} \quad (4.6)$$

$$\alpha_A(m,n) = \tan^{-1} \left( \frac{s_A^x(m,n)}{s_A^y(m,n)} \right) \quad (4.7)$$

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

gde je  $1 \leq m \leq M$  i  $1 \leq n \leq N$ , a  $M$  i  $N$  su dimenzije slika. Rasponi vrednosti jačine i orijentacije zavise od parametara normalizacije Sobelovog filtriranja i opsega  $\arctan$  funkcije.

Izdvajanje vizuelnih informacija pomoću ovih parametara prikazano je na slikama 4.2 i 4.3. Na slikama 4.2a i 4.3a prikazane su ulazne slike, mape gradijentne jačine ovih slika prikazane su na slikama 4.2b i 4.3b. Gradijentna jačina dobro izražava znamenite delove slike gde je gradijent najjači (vidi se belo, dok su mesta gde je signal manje aktivan tamna). U ovom obliku očigledna je i komplementarna priroda informacija u ove dve ulazne slike. U mapama orijentacije, tamni pikseli predstavljaju vodoravne a svetliji uspravne ivice kao na slikama 4.2c i 4.3c.



a)

b)

c)

Slika 4.2. a) Televizijska slika i gradijentne predstave: b) jačina i c) orijentacija



a)

b)

c)

Slika 4.3. a) IR slika i gradijentne predstave: b) jačina i c) orijentacija

Bilo kakav gubitak gradijentnih informacija se manifestuje kroz promenu jednog ili oba ova parametra. Ovde treba voditi računa da čulo vida ne obrađuje sve gradijente podjednako. Gradijenti koje se ne uoče moraju se tretirati drugačije od onih koje privuku pažnju posmatrača. Informacije izdvojene iz ulaznih i sjedinjene slike nalaze se u mapama jačine i orijentacije gradijenata,  $[g_A(m,n), \alpha_A(m,n)]$ ,  $[g_B(m,n), \alpha_B(m,n)]$ ,  $[g_F(m,n), \alpha_F(m,n)]$ . Isprva se



u obliku nezavisnih parametara  $G^{AF}$  i  $A^{AF}$  određuju promene jačine i orijentacije između ulaznih i sjedinjene slike prema jednačinama:

$$G^{AF}(m,n) = \begin{cases} \frac{g_F(m,n)}{g_A(m,n)}, & g_A(m,n) > g_F(m,n) \\ \frac{g_A(m,n)}{g_F(m,n)}, & \text{u protivnom} \end{cases} \quad (4.8)$$

$$A^{AF}(m,n) = \frac{|\alpha_A(m,n) - \alpha_F(m,n)| - \pi/2}{\pi/2} \quad (4.9)$$

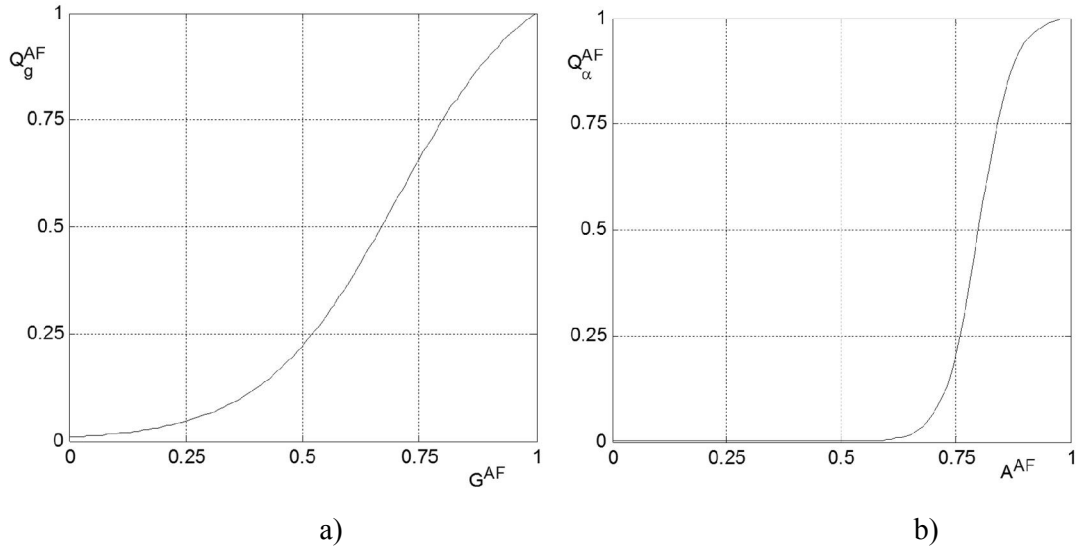
Kada je ulazni gradijent jači od sjedinjenog,  $G^{AF}$  je odnos između ulazne i sjedinjene jačine (gubitak kontrasta). U suprotnom, pojačanje kontrasta je isto gubitak, odnos je obrnut, jer pojačanje kontrasta nije cilj sjedinjavanja i tretira se kao izobličenje. Izobličenja pojačanja su čest uzrok pojačanja jačine gradijenata. Parametar  $G^{AF}$  je 1 kada su sjedinjeni i ulazni gradijenti iste jačine i opada linearno sa povećanjem razlike između ove dve vrednosti.

Parametri  $G^{AF}$  i  $A^{AF}$  linearno opisuju gubitak informacija prouzrokovan promenom jačine i orijentacije gradijenata. Reakcije bioloških sistema na različite vrste stimulusa su međutim veoma nelinearne. Stoga se pravi gubitak informacija modeluje sigmoidnim funkcijama promene ivične jačine i orijentacije. Ove funkcije daju mere održanja ivičnih parametara  $Q_g^{AF}(m,n)$  i  $Q_\alpha^{AF}(m,n)$  prema jednačinama:

$$Q_g^{AF}(m,n) = \frac{\Gamma_g}{1 + e^{k_g(G^{AF}(m,n) - \sigma_g)}} \quad (4.10)$$

$$Q_\alpha^{AF}(m,n) = \frac{\Gamma_\alpha}{1 + e^{k_\alpha(A^{AF}(m,n) - \sigma_\alpha)}} \quad (4.11)$$

Konstante  $k_g$ ,  $\sigma_g$  i  $k_\alpha$ ,  $\sigma_\alpha$  određuju konačni oblik sigmoidnih funkcija i dobijaju se optimizacijom algoritma mere.  $\Gamma_g$  i  $\Gamma_\alpha$  osiguravaju da funkcije budu 1 kada su  $G^{AF}$  i  $A^{AF}=1$ . Sigmoidne funkcije prikazane su na slici 4.4 za parametre  $[k_g, \sigma_g, k_\alpha, \sigma_\alpha]=[0,8 \ 27 \ 0,7 \ 7]$ . Na osnovu ovih parametara proračunate vrednosti  $\Gamma_g$  i  $\Gamma_\alpha$  su 1,00451 i 12246.



Slika 4.4. Sigmoidne funkcije a) jačine gradijenata, b) orijentacije gradijenata.

Za promenu jačine ivice, mali gubitak kontrasta ne utiče značajno na izgled slike i posmatrači ga ne primećuju. Kad gubitak kontrasta postane uočljiv, viđena uspešnost sjedinjavanja se brzo smanjuje dok konačno, kada je kontrast skoro izgubljen, ivica se računa kao izgubljena i  $Q_g^{AF}(m,n)$  ide ka nuli. U slučaju izobličenja, skala je obrnuta i malo pojačanje se isto ne primećuje. Kako se razlika povećava efekat je isti i uspešnost predstave se smanjuje ka nuli.

Kao što je očekivano, osetljivost na promenu orijentacije je znatno veća pošto čak i male promene pravca gradijenta prouzrokuju uočljivu promenu oblika. Takve promene posmatrači lakše primećuju od smanjenja kontrasta i gubitak informacija je mnogo veći u odnosu na proporcionalno istu promenu jačine gradijenata. Za promene veće od  $30^0$  može se reći da su sve orijentacione informacije izgubljene. Oba parametra održanja gradijentnih parametara,  $Q_g^{AF}(m,n)$  i  $Q_\alpha^{AF}(m,n)$ , ograničena su u opsegu od 0 do 1, gde je 1 savršena predstava a 0 potpuni gubitak korisnih informacija.

Jedinstvena mera održanja ivičnih informacija sa lokacije  $(m,n)$  ulazne slike A na odgovarajućoj lokaciji u sjedinjenoj slici F,  $Q^{AF}$  dobija se kao geometrijska sredina parametara održanja jačine i orijentacije  $Q_g^{AF}$  i  $Q_\alpha^{AF}$ :

$$Q^{AF}(m,n) = \sqrt{Q_g^{AF}(m,n)Q_\alpha^{AF}(m,n)} \quad (4.12)$$

Poput  $Q_g^{AF}$  i  $Q_\alpha^{AF}$ ,  $Q^{AF}$  je takođe u opsegu od 0 do 1, gde ekstremne vrednosti i dalje imaju isto značenje. Ova procedura se primenjuje u celosti samo na uočljive gradijente. Za ulazne gradijente ispod praga detekcije, održanje informacija se određuje na osnovu dva pravila:

- ako su i ulazna i sjedinjena ivica neprimetne, informacija je očuvana savršeno i  $Q^{AF}=1$ ,
- kada je ulazna ivica neprimetna ali sjedinjena postoji, došlo je do izobličenja,  $g_A(m,n)$  se namešta na jedinicu i ponavlja procedura opisana iznad, koja daje  $Q^{AF}$  blizu nule.

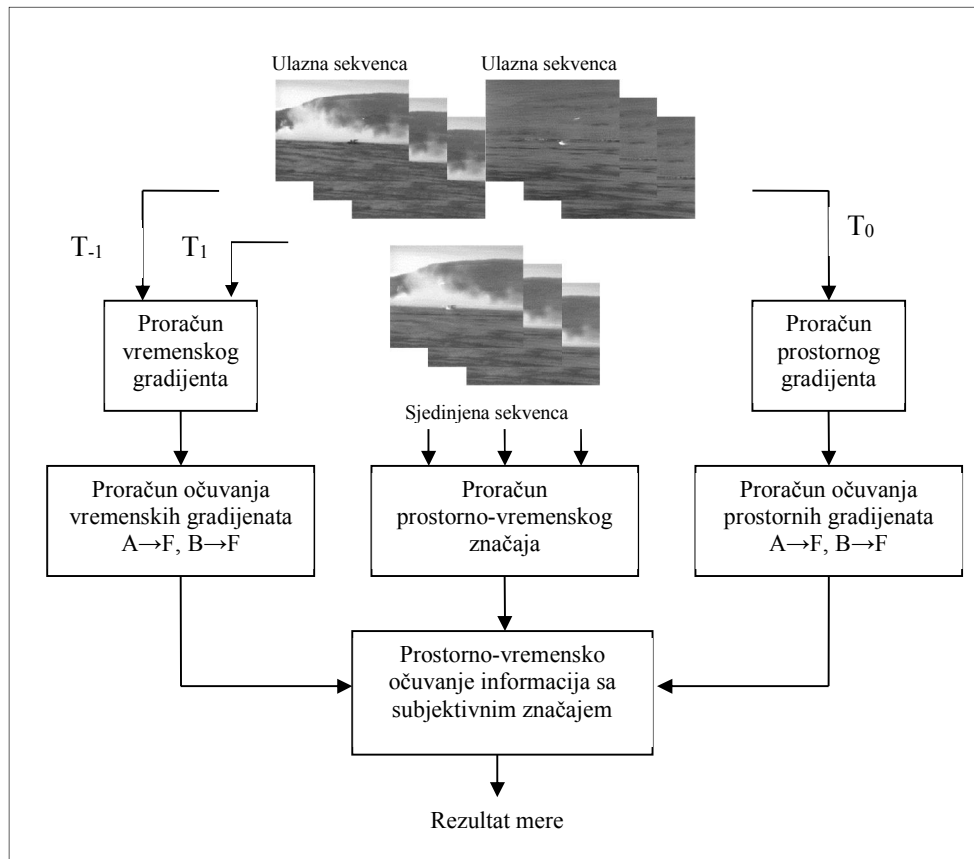
Određivanje raspodele subjektivnog značaja dobijamo mape značaja za obe ulazne slike,  $w_A(m,n)$  i  $w_B(m,n)$ . O mapama subjektivnog značaja i pragu detekcije biće više u sledećem delu koji se odnosi na dinamičku meru. Sveukupna uspešnost sjedinjavanja slika  $A$  i  $B$  u sliku  $F$ ,  $Q^{AB/F}$  se onda dobija modulisanim zbirom koeficijenata održanja ivica iz celog prizora:

$$Q^{AB/F} = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M Q^{AF}(m,n)w_A(m,n) + Q^{BF}(m,n)w_B(m,n)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M w_A(i,j) + w_B(i,j)} \quad (4.13)$$

#### 4.2.1. Dinamička mera zasnovana na proračunu prenetih gradijenata

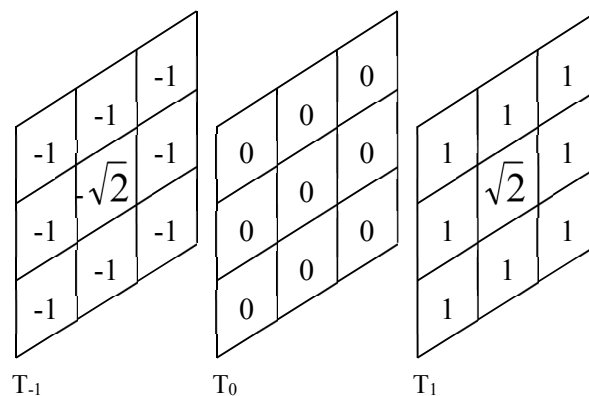
Dinamička, gradijentna mera za proračun uspešnosti sjedinjavanja sekvence slika [41],  $DQ$ , prikazana je na slici 4.5. Ova mera daje prenesene informacije iz ulaznih sekvenci u sjedinjenu sekvencu. Proračun mere zasnovan je na tri uzastopna frejma sve tri sekvence. Za tekući frejm iz sve tri sekvence koristi se mera za očuvanje ulaznih informacija u sjedinjenoj sekvenci. Ovaj doprinos očuvanju informacija računa se za svaku lokaciju  $m,n$  na slici. Međutim, prethodni i sledeći frejm iz svake sekvence koriste se za proračun vremenskog gradijenta informacija koji obezbeđuje proračun očuvanja ulaznih vremenskih informacija na svakoj lokaciji u sjedinjenu sekvencu. Oba skupa proračuna integrišu se u jedan skup za proračun očuvanja prostorno-vremenskih informacija za svaki piksel na slici. Ovi proračuni množe se težinskim koeficijentima koji su dobijeni kao rezultat subjektivnog značaja za tekući frejm, kao što je opisano u prethodnom delu. Individualni rezultati za svaki frejm se onda usrednjavaju da bi se dobila jedinstvena mera za celu sekvencu.

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci



**Slika 4.5. Realizacija dinamičke mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika.**

Vremenske informacije dobijaju se iz sve tri sekvence koristeći vremenski gradijentni operator, prikazan na slici 4.6. Ovaj operator je analogan standardnom Sobel ivičnom operatoru koji je korišćen za dobijanje prostornih informacija za meru  $Q^{AB/F}$ . Operator je simetričan u prostornom domenu.



**Slika 4.6. Vremenski gradijentni operator.**

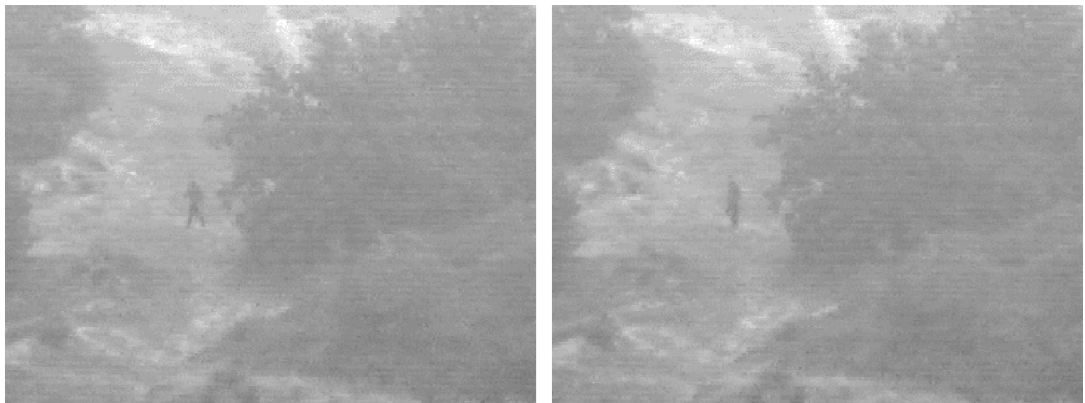
#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

---

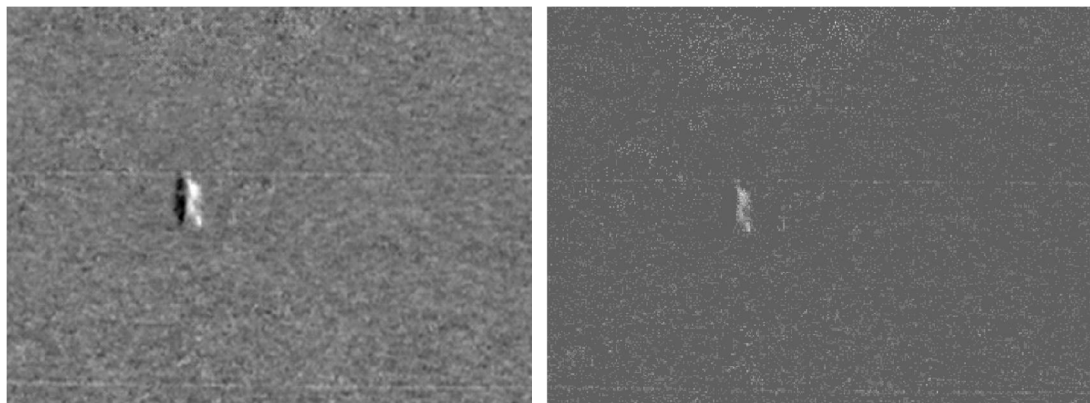
Vremenski gradijent  $gt$  baziran je na proračunu promena nivoa sivog svakog piksela na slici kroz vreme. Za tekući frejm  $T_0$ ,  $gt$  se računa filtriranjem (konvolucijom) prethodnog  $T_{-1}$  i sledećeg  $T_1$  frejma sekvence sa  $S_{T-1}$  i  $S_{T+1}$  prozorima prikazanih na slici 4.6:

$$gt_{T_0} = \left| (I_{T_0-1} * S_{T_0-1}) + (I_{T_0+1} * S_{T_0+1}) \right| \quad (4.14)$$

Dopunsko vremensko filtriranje frejmova korišćeno za proračun  $gt$  generalno je otpornije na šum u poređenju sa drugim metodama koje koriste razliku jednostavnu između frejmova. Prednost ovog operatora može se videti na slikama 4.7 i 4.8 gde su korišćena dva uzastopna frejma televizijske kamere za računanje  $gt$  i jednostavno oduzimanje frejmova. Jasno se uočava da  $gt$  slika sadrži znatno manje šuma i značajno bolji koristan signal nego slika razlika koja sadrži dosta šuma i koristan signal je jedva uočljiv.



Slika 4.7. Dva uzastopna frejma zašumljene sekvence.



a)

b)

Slika 4.8. Vremenski gradijenti dobijeni a) vremenskim operatorom i b) oduzimanjem dva frejma.

Kao kod prostornog intenziteta gradijenta, promene u vremenskom gradijentu računaju se između vrednosti  $gt$  za svaku ulaznu sekvencu i sjedinjenu sekvencu. Isto kao i kod prethodne mere u proračunima uzima se samo intenzitet ovih parametara. Vremenska promena gradijenta  $T^{AF}_{m,n}$  tretira se na isti način kao i prostorni intenzitet gradijenta.  $T^{AF}_{m,n}$  se računa prema jednačini:

$$T^{AF}(m, n) = \begin{cases} \frac{gt_F(m, n)}{gt_A(m, n)}, & gt_A(m, n) > gt_F(m, n) \\ \frac{gt_A(m, n)}{gt_F(m, n)}, & \text{u protivnom} \end{cases} \quad (4.15)$$

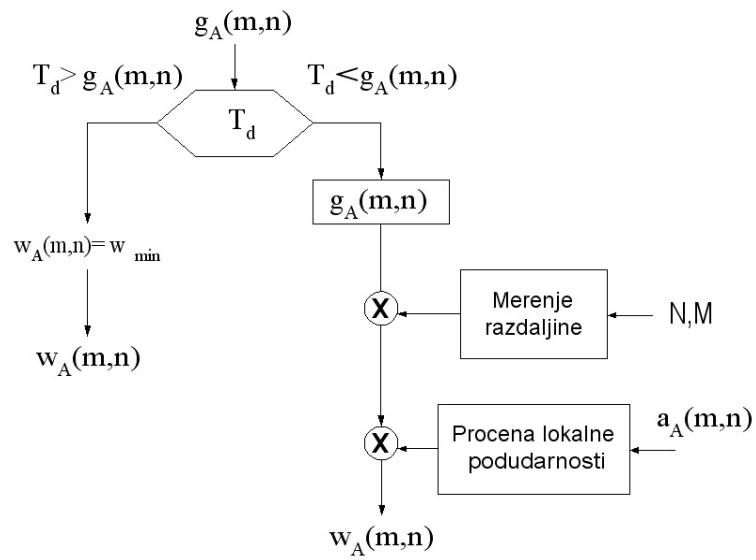
Vremensko očuvanje informacija takođe se moduliše sigmoidnim funkcijama promena ivične jačine:

$$Qt^{AF}(m, n) = \frac{\Gamma}{\sqrt{1 + e^{k_g(T^{AF}(m, n) - \sigma_g)}}} \quad (4.16)$$

Pokret u slikama je jedan od glavnih pokretača vizuelne pažnje i prema tome od velikog subjektivnog značaja. Ljudi su u stvari osetljivi na svaku vremensku promenu u vizuelnom stimulusu. U ovom kontekstu dinamička mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika uzima u obzir vremenske promene koje imaju značajan subjektivni faktor. Kao i kod prethodne mere sve promene ne utiču isto na subjekte. U ovom slučaju za proračun težinskih koeficijenata uzećemo jednostavan metod iz postojeće mere  $Q^{AB/F}$ . Subjektivni značaj  $w_A(m, n)$  (za sliku A) dobija se iz lokalne ivične jačine i intenziteta vremenskog gradijenta:

$$w_A(m, n) = gt_A(m, n) + w_{AS}(m, n) \quad (4.17)$$

Prema jednačini 4.17 veći subjektivni značaj dodeljen je površinama gde je veći kontrast pri pokretu. Računanje težinskih koeficijenata za očuvanje prostornih gradijenata prikazana je na slici 4.9. Na slikama 4.10 i 4.11 dati su subjektivni značaji u slučajevima kada je na sceni mali pokret (4.10) i kada je on značajan (4.11). Slike 4.10a i 4.11a daju mape subjektivnog značaja  $w_{AS}$  koji predstavlja promene na frejmu mirne slike i one ne zavise od vremenskih promena. Slika 4.10b prikazuje mape subjektivnog značaja koji uzimaju vremenske gradijente. Na ovom primeru, zbog malih promena na sceni i ove mape su mnogo manje nego u slučaju kad ima značajnih promena na sceni u vidu vozila i helikoptera kao na slici 4.11b. Slike 4.10c i 4.11c daju zbirne mape subjektivnog značaja.



Slika 4.9. Osnovna postavka određivanja subjektivnog značaja.



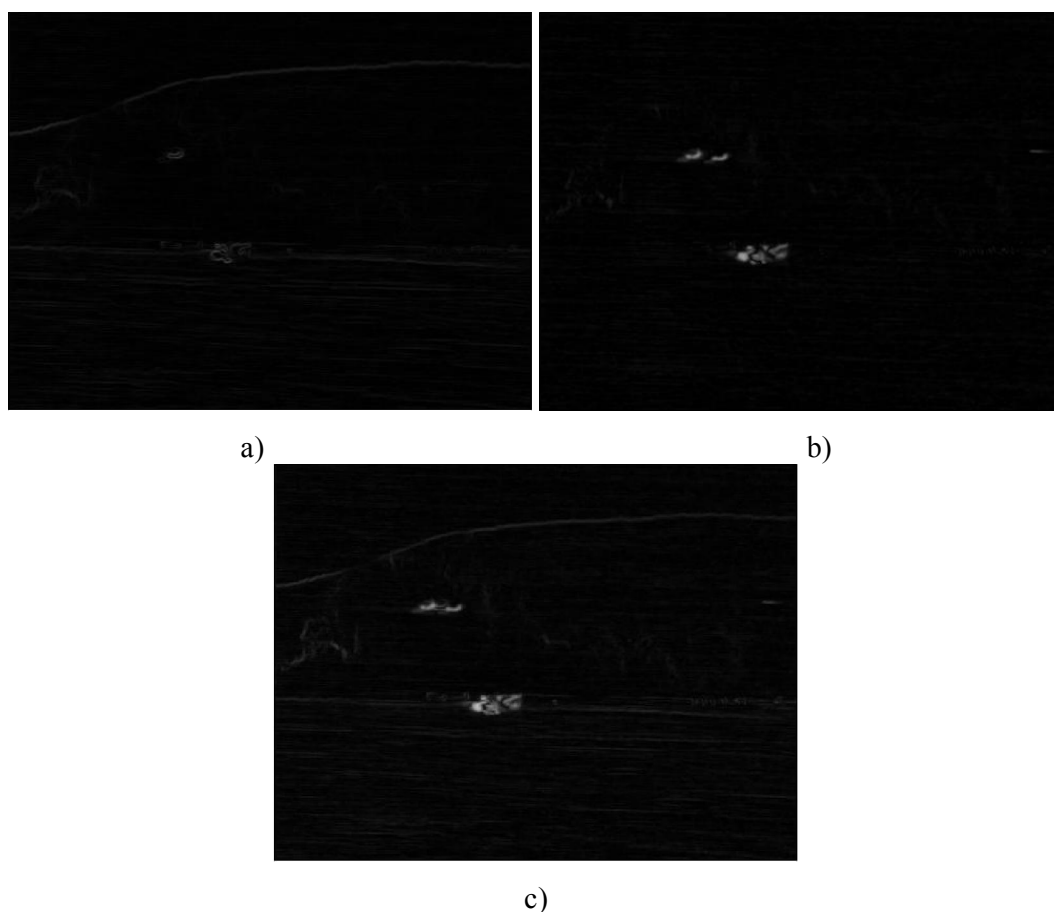
a)

b)



c)

Slika 4.10. Mape subjektivnog značaja u sceni sa slabim pokretom a)  $w_{AS}$ , b)  $g_{tA}$  i c)  $w_A$ .



**Slika 4.11. Mape subjektivnog značaja u sceni sa značajnim pokretom a)  $w_{AS}$ , b)  $gt_A$  i c)  $w_A$ .**

Gradijentni elementi se na samom početku dele na dve grupe u zavisnosti od uočljivosti ( $T_d$ -prag uočljivosti). Neprimetnim gradijentima se dodeljuje mala vrednost značaja  $w_{min}$ , dok se primetnim ivicama na početku dodeljuje značaj proporcionalan njihovoj jačini. Ova osnovna vrednost se onda modulira koeficijentima koji odražavaju uticaj faktora poput zavisnosti od pozicije u slici i pripadnosti višem entitetu. Pokazano je da ljudi više pažnje posvećuju centru slike. Informacijama nadomak rubova slike, a pogotovu u uglovima posvećuje se manje pažnje. Raspodela subjektivnog značaja u zavisnosti od pozicije u slici je maksimalna u središtu slike i opada kako se od njega udaljava. Faktor koji bitno utiče na subjektivni značaj je pripadnost entitetu višeg nivoa. Entiteti višeg nivoa su šare, objekti i strukture na slici koje ljudi primećuju i prepoznaju kao pojave. Oni mogu biti veštački (kuće, putevi, vozila) i prirodni (obala, redovi drveća, živica). Ivicama koje pripadaju ovim objektima posmatrač pridaje više pažnje nego slučajnim strukturama. Efekti orijentacije nisu uvršteni jer iako uspravne ivice privlače više pažnje u pokretnim slikama, u nepokretnim slikama ovaj efekat



ima veoma malo uticaja i može se zanemariti. Težinski koeficijenti se računaju za obe ulazne slike,  $w_A$  i  $w_B$  za svaki piksel.

Dinamička mera uspešnosti sjedinjavanja slika računa se kao kombinacija očuvanja prostornih informacija za tekući frejm, jednačina 4.12 i vremenskog očuvanja informacija dobijenih i prethodnog i sledećeg frejma, jednačina 4.16, svake ulazne i sjedinjene slike prostorno-vremensko očuvanje informacija računato za svaki piksel:

$$Q^{AF}(m, n) = \sqrt{Q_S^{AF}(m, n) \cdot Q_t^{AF}(m, n)} \quad (4.18)$$

Mera uspešnosti sjedinjavanja slika  $A$  i  $B$  u sliku  $F$  za tekući frejm  $T$ ,  $Q^{AB/F}(T)$  dobija se modulisanim zbirom koeficijenata prostorno-vremenskog očuvanja informacija iz celog prizora:

$$Q^{AB/F}(T) = \frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M Q^{AF}(m, n)w_A(m, n) + Q^{BF}(m, n)w_B(m, n)}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M w_A(i, j) + w_B(i, j)} \quad (4.19)$$

Prema to, ovakav pristup koristi mape subjektivnog značaja da odrede doprinose prostornog i vremenskog očuvanja gradijenata. Mape značaja množe prostorno-vremenske doprinose i na taj način daju više značaja za delove slike koji predstavljaju promene i u prostornom i vremenskom domenu. Konačno, dinamička mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika za celu sekvencu dobija se jednostavnim usrednjavanjem svih pojedinačnih mera za sve  $N_T$  frejmove:

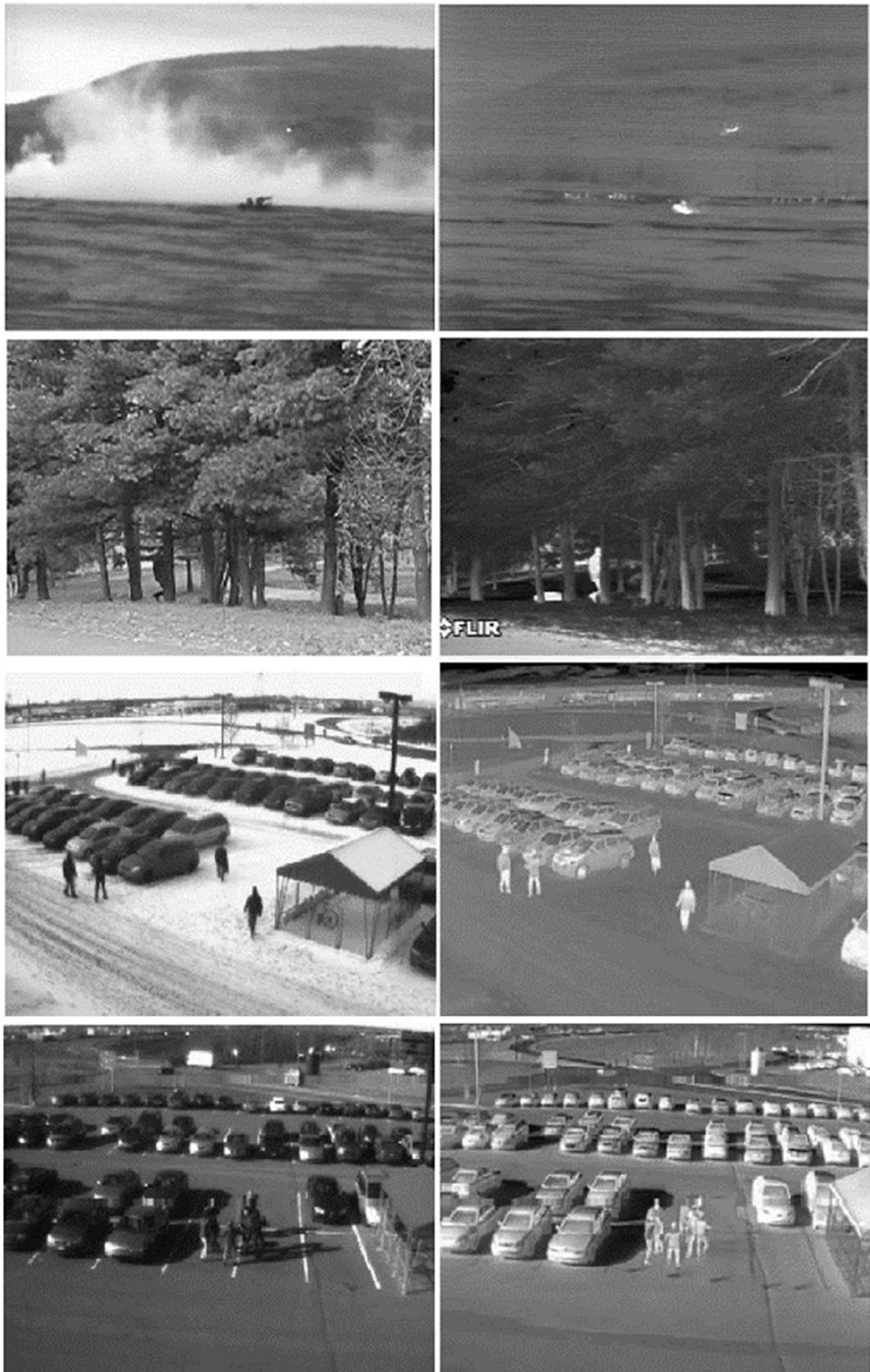
$$DQ^{AB/F} = \frac{1}{N_T} \sum_{T=1}^{N_T} Q^{AB/F}(T) \quad (4.20)$$

Primećuje se da mera  $DQ$  takođe uzima dinamički opseg vrednosti od nula do jedan, gde nula predstavlja totalni gubitak informacija, a jedinica idealno sjedinjene slike (sekvencu).

### 4.3. Analiza rezultata metoda za dinamičko sjedinjavanje

Za analizu predložene metode za procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci, napravljena je baza od 7 različitih multisenzoskih scenarija (televizijska i termovizijska slika) sa trajanjem od 12 sekundi za svaki osim za prvi scenario gde je trajanje 7s (slika 4.12).

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci



#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci



**Slika 4.12. Po jedan frejm iz ulaznih sekvenci baze korišćene za testiranje mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja.**

Baza obuhvata urbane i ruralne scenarije i različite primene sjedinjavanja video signala. Gledajući od gornjeg reda, prva dva scenarija prikazuju vojnu primenu metoda za sjedinjavanje. Na termovizijskoj slici prikazani su objekti koji su slabo ili nisu uočljivi na televizijskoj. Sledeća dva para sekvenci (treći i četvrti red) predstavljaju snimke scenarija sa

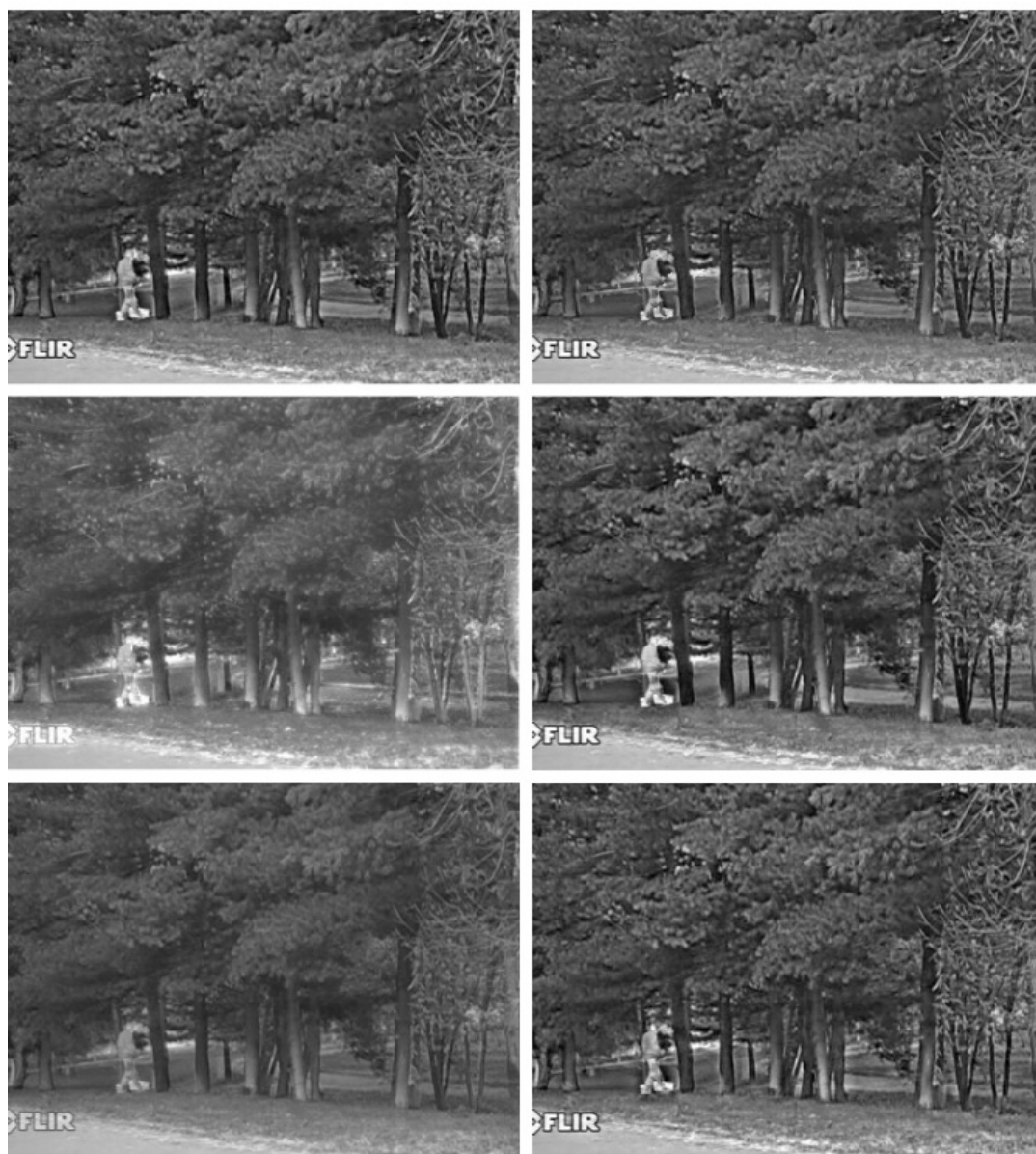
#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

parkinga u različitim vremenskim uslovima (sneg i cisto vreme). U oba scenarija je izražen kontrast između objekata i pozadine. Peti i šesti red su sekvence iz urbane sredine. Poslednji set predstavlja sekvencu sa izraženim šumom na termovizijskoj slici i slabiji kontrast između pozadine i objekta. Osnovne karakteristike sekvenci date su u tabeli 4.1. Vidi se da su sekvence različitog sadržaja, broja kadrova u sekundi i rezolucije.

**Tabela 4.1. Karakteristike sekvenci korišćenih za poređenje dinamičkih mera.**

R. br.	Naziv sekvence	Dinamika	fps	Rezolucija	Trajanje (s)
1.	MSO1	Kamion i helikopter u pokretu	15	500x380	7
2.	VA1	Vojnik u šumi u pokretu	25	640x480	12
3.	Parking	Parking sa ljudima u pokretu	10	452x332	12
4.	Group Fight	Grupa ljudi na parkingu koji simuliraju tuču	10	452x332	12
5.	Ohio 1	Grupa ljudi u pokretu ispred stambene zgrade	25	320x240	12
6.	Ohio 2	Dva čoveka u pokretu na trgu ispred zgrade	25	320x240	12
7.	Trees and running	Trkač u pokretu	10	328x254	12

Svi setovi osim prvog su sa statičkom pozadinom. Za testiranje mera uzeto je ukupno šest metoda za sjedinjavanje video sekvenci koji uzimaju frejm po frejm sjedinjavanje. Kao najjednostavniji način sjedinjavanja, a samim tim i računarski najmanje zahtevna uzeto je aritmetičko sjedinjavanje (AS) sa istim težinskim koeficijentima za oba ulazna seta (0,5 i 0,5). Takođe, računarski efikasna metoda za sjedinjavanje sa dvoveličinskim razlaganjem (DVR) [123] koja koristi samo dva nivoa razlaganja (slika pozadine i slika prvog plana) uzeta je za testiranje mere. Sledeće četiri metode predstavljaju multiveličinske metode za sjedinjavanje slika: Laplasova piramida (LAP) [8], ROLP ili kontrast piramida (ROLP) [9], sjedinjavanje diskretnom vejevlet transformacijom (DWT) [7] i sjedinjavanje vejevlet metodom koja je invarijantna na pomeraj (Shift invariant discrete wavelet SIDWT) [42]. Za sve četiri metode uzete su selekcije apsolutnog maksimuma na višim nivoima i aritmetičko usrednjavanje na najnižem nivou piramide. Sjedinjeni primeri za sve metode iz sekvence va1 (Gornji red desno) prikazani su na slici 4.13.



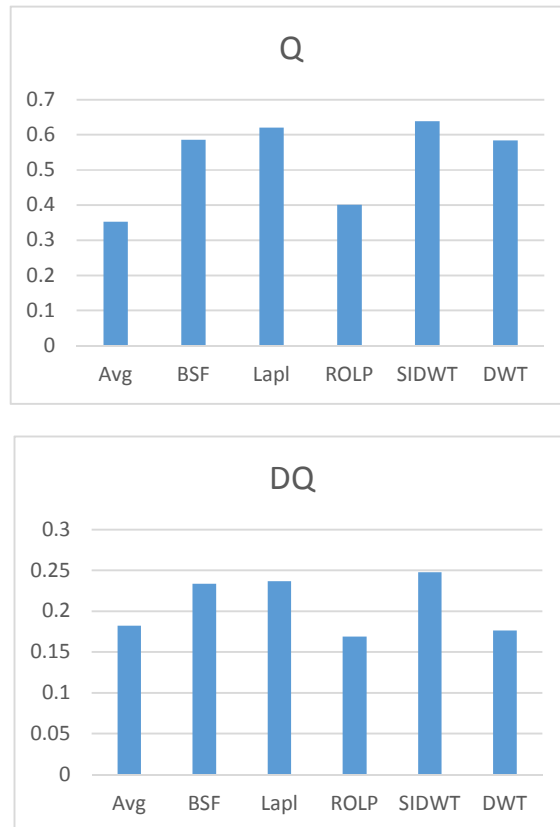
Slika 4.13. Rezultati sjedinjavanja VA1 sekvence sa merama odozgo na dole: SIWT, BSF, ROLP, Lapl, Avg, DWT.

#### 4.3.1. Poređenje rezultata mera za statičko i dinamičko sjedinjavanje

Kako bi se ispitali rezultati najpre je izvršeno poređenje statičke mere  $Q$  [97] i dinamičke mere  $DQ$ . Na slici 4.14 su prikazani srednje vrednosti mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja za 6 metoda i 7 video sekvenci. Sa dijagrama se vidi da što se tiče rangiranja metoda približno isti rezultati su za obe mere. Jedina razlika u rangju je kod metode ROLP koja je kod mere  $DQ$  na poslednjem mestu, dok je kod mere  $Q$  ispred aritmetičkog

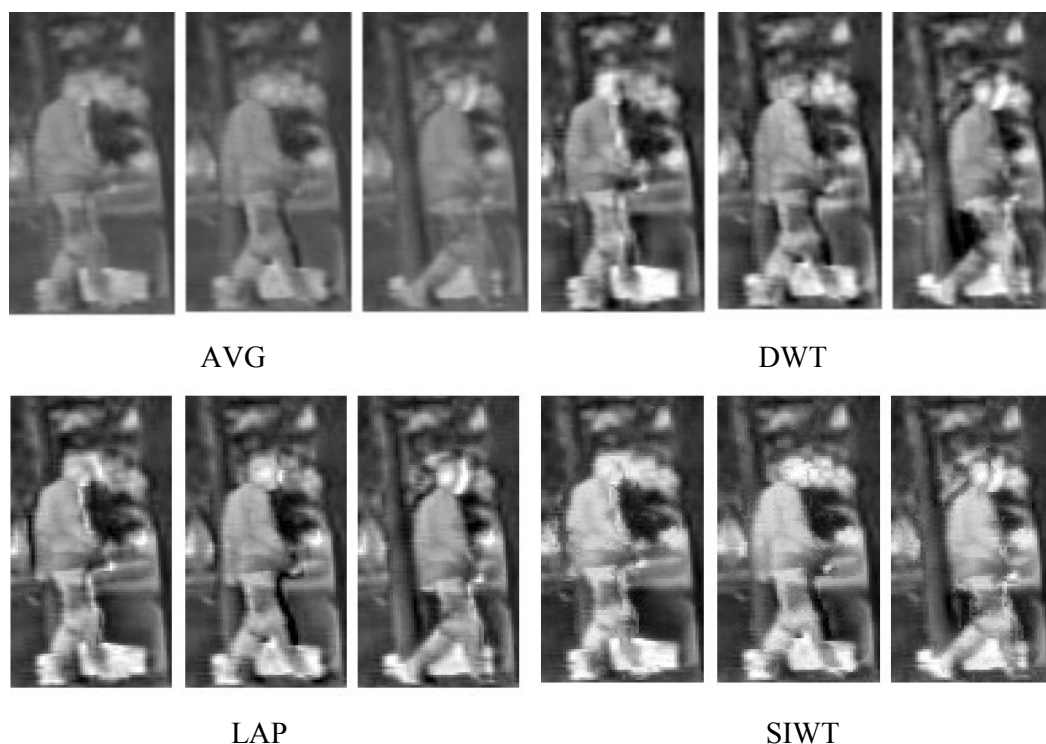
#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

sjedinjavanja. Još jedna bitna razlika je kod DWT sjedinjavanja koje je kod mere  $Q$  ima visoke vrednosti, dok je kod mere  $DQ$  vrednost mere značajno manja od Laplasovog, SIDWT i BSF sjedinjavanja.



**Slika 4.14. Rezultati objektivnih mera  $Q$  i  $DQ$  za video sekvence za 6 metoda sjedinjavanja.**

Ako se uzmu delovi iz prikazane sekvence sa vojnikom kao na slici 4.15, može se subjektivno naći razlog ovih rezultata. Metoda DWT unosi znatna treperenja u video sjedinjavanju, dok kod ROLP sjedinjavanja dolazi do povećanja kontrasta u sjedinjenoj sekvenci. Aritmetičko sjedinjavanje unosi najmanja izobličenja jer kod njega nema problema sa decimacijom. Na slici koja predstavlja isečak iz tri frejma već prikazane sekvence se vide treperenja oko glave vojnika u frejmovima koja unosi metoda DWT iako su ona zanemarljiva ako se posmatra samo jedan frejm iz sekvence. Treperenja kod ostalih metoda su značajno manja, te su i ukupni rezultati dinamičke mere približniji rezultatima dobijenih koristeći samo prostorne frekvencije frejm po frejm.

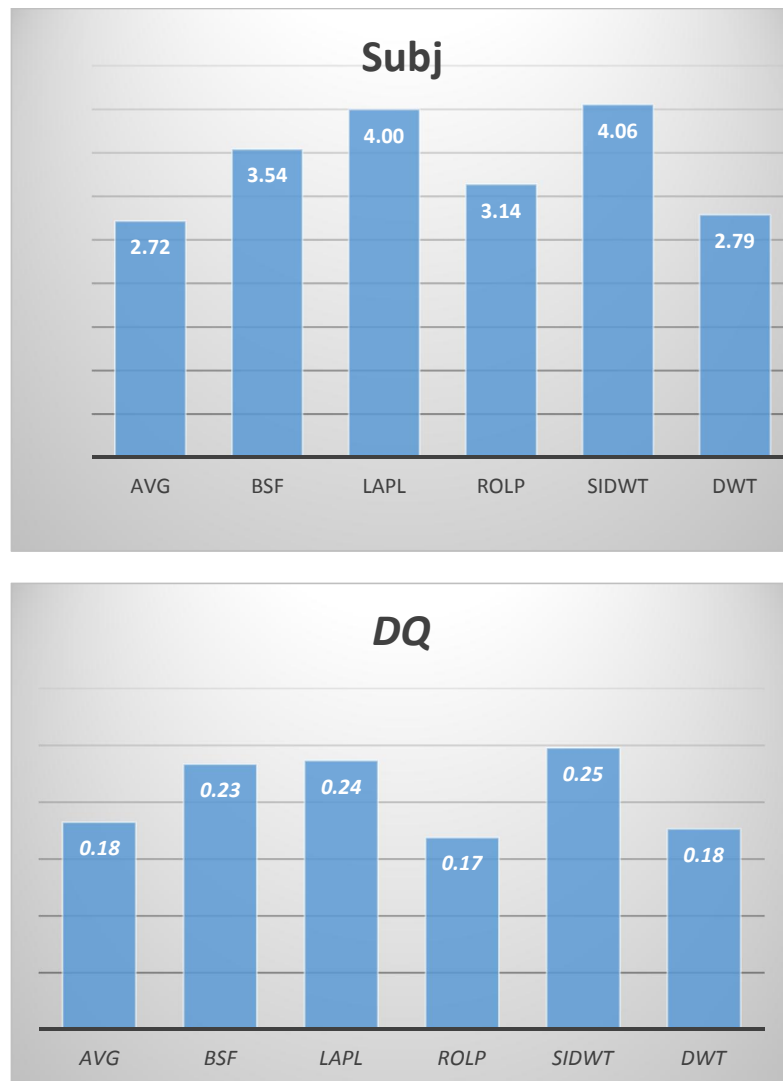


Slika 4.15. Deo iz video sekvence VA1 kao prikaz artifakata koje unose metode za sjedinjavanje.

#### 4.3.2. Analiza subjektivnih testova

U okviru istraživanja i analize rezultata izvedeni su subjektivni testovi na video sekvencama kako bi se potvrdila opravdanost predložene mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Ukupno 12 poluiskusnih posmatrača, koji su u buduću i korisnici sistema za video fuziju radilo je neformalne testove na već spomenutim sekvencama i metodama. Pre početka rada svakom posmatraču je ukratko objašnjena namena testova i šta se očekuje od njih. Testovi su rađeni na 27'' ekranu sa HD rezolucijom i organizovani su da se u gornjem redu prikazuju ulazne sekvence, dok se u donjem redu prikazuju po tri sjedinjene sekvence sa slučajnim i različitim rasporedom kako bi se izbegla pristrasnost. Raspon ocena je bio od 0 do 5 sa korakom od 0,1, gde 0 predstavlja totalni gubitak informacija, a 5 idealno sjedinjavanje sa prenetim svim informacijama i bez izobličenja. Za svaku metodu sjedinjavanja je izračunata srednja vrednost skorova od svih ispitanika (*MOS*) i rezultati su dati na dijagramu na slici 4.16. Sa slike se vizuelno vidi da su rezultati najpribližniji meri *DQ*. Najveća razlika je u ROLP sjedinjavanju, gde zbog većeg kontrasta subjekti daju veći značaj od objektivne mere.

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci



Slika 4.16. Rezultati subjektivnih testova za 12 subjekata i mere  $DQ$  na 7 video sekvenci i za 6 metoda sjedinjavanja.

U tabeli 4.2 date su vrednosti parametara  $LCC$  i  $SROCC$  za uparenost subjektivnih testova sa merama  $Q$  i  $DQ$ . Prva kolona za svaku meru daje rezultate po skupu koji je prikazan subjektima odnosno po svakom setu. Po merama  $LCC$  i  $SROCC$  mera  $DQ$  prednjači sa uparenošću sa subjektivnim testovima u odnosu na meru za statičke slike  $Q$ . Druga kolona predstavlja rezultate  $LCC$  i  $SROCC$  za reference, odnosno za svaku video sekvencu ponaosob. Pošto se svaka sekvenca nalazila u dva prikaza i rezultati mera se razlikuju. I ovde mera  $DQ$  daje bolje rezultate od statičke mere. Na kraju su posmatrani svi pojedinačni rezultati za svaku metodu i za svaku sekvencu ukupno. Takođe, prema ovom načinu



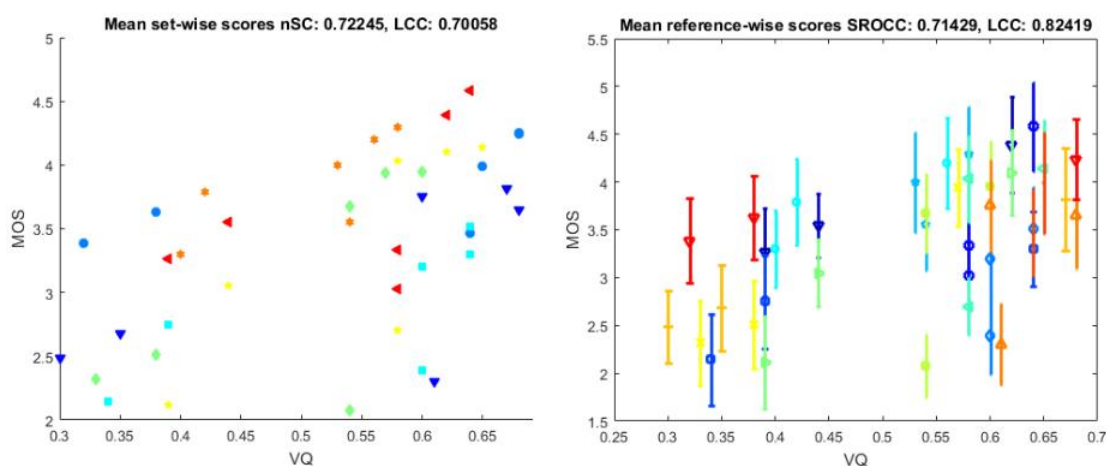
#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

posmatranja uparenosti rezultata mera  $DQ$  ima najveće vrednosti i pokazuje visoku korelisanost sa subjektivnim testovima.

**Tabela 4.2. Rezultati  $LCC$  i  $SROCC$  metoda za uparivanje subjektivnih i objektivnih rezultata testiranja.**

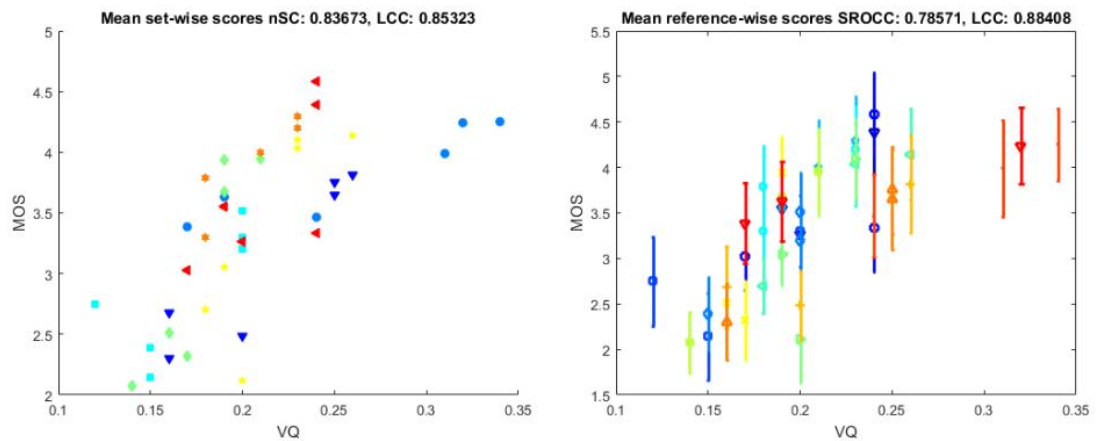
	Q			DQ		
	Set	Ref	Uk	Set	Ref	Uk
$LCC$	0.72	0.71	0.54	0.84	0.79	0.76
$SROCC$	0.70	0.82	0.56	0.85	0.88	0.71

Rezultati poređenja subjektivnih i objektivnih testova grafički su prikazani na slici 4.17 za  $Q$  meru i na slici 4.18 za  $DQ$  meru uspešnosti sjedinjavanja, gde su na  $x$  osi rezultati objektivnih mera a na  $y$  osi subjektivnih testova. Na prvom dijagramu na obe slike ista boja i oblik prikazuje rezultate za svaki skup od 3 sekvence istog sadržaja a različitom metodom sjedinjavanja pojedinačno. Idealno bi bilo da se rezultati nalaze na liniji  $y=kx$ . Sa dijagrama se vidi da je kod mere  $DQ$  najmanje rasipanje i da su rezultati najbliže liniji. Drugi dijagram na obe slike prikazuju rezultate po sekvencama, gde je svaka sekvenca iste boje a dužina linija pokazuje standardnu grešku merenja u subjektivnim testovima.



**Slika 4.17. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih rezultata po setu i sekvenci za  $Q$  meru.**

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci



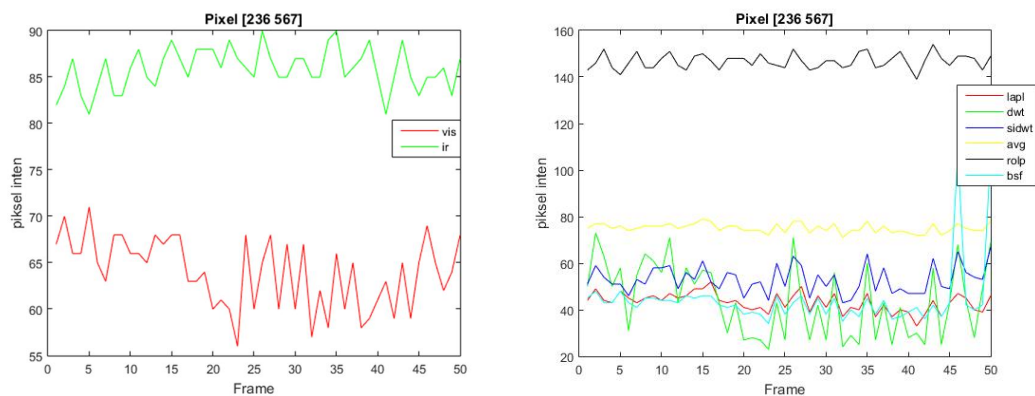
Slika 4.18. Grafički prikaz subjektivnih i objektivnih rezultata po setu i sekvenci za  $DQ$  meru.

Pored subjektivnih testova analizirana je i promena piksela kroz sekvencu kako bi se odredilo koja metoda daje najbolje rezultate i eliminiše treperenja u sekvenci. Za analizu je uzet piksel iz VA1 sekvence označen crvenom strelicom (slika 4.19) i posmatrana promena u intenzitetu kroz prvih 50 frejmova u ulaznim i sjedinjenim sekvencama (slika 4.20). Kao što se vidi sa slike najmanje promene su kod metode aritmetičkog sjedinjavanja, što je i očekivano jer se uzima srednja vrednost promena u ulaznim sekvencama. Male promene daje i ROLP metoda, ali je kod nje intenzitet piksela znatno veći nego kod ostalih metoda i od ulaznih sekvenci. Najveće promene su kod DWT sjedinjavanja i ovo objašnjava manji skor kod  $DQ$  mere u odnosu na meru  $Q$  kod koje je ova metoda visoko rangirana. Može se zaključiti i da mera  $Q$  ne uzima u obzir dinamičke promene u sjedinjenoj sekvenci.



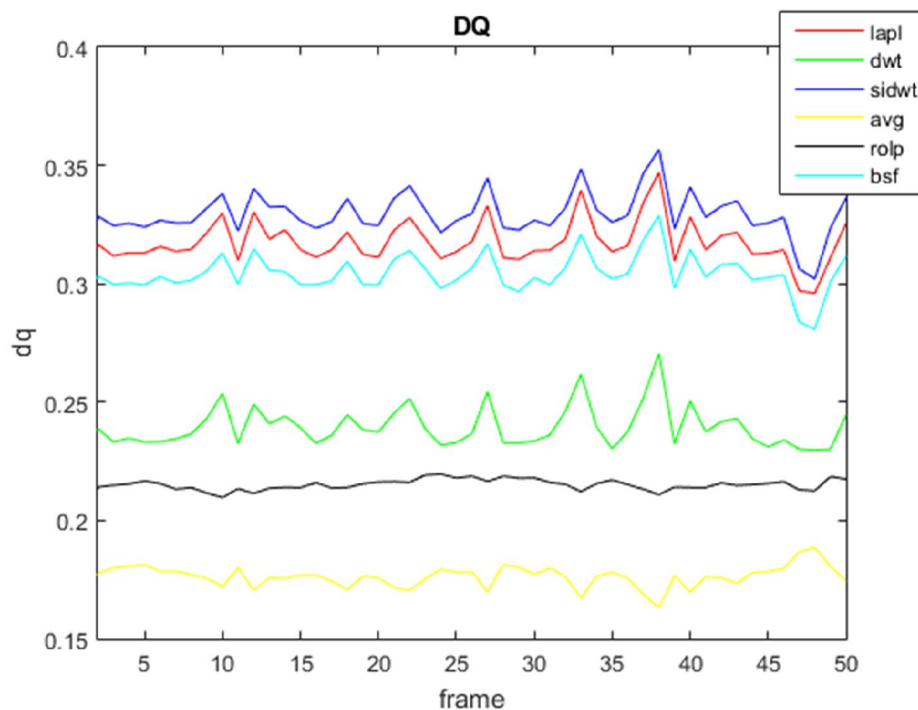
Slika 4.19. Označen piksel na slici iz va1 sekvence uzet za analizu promena intenziteta u ulaznim i sjedinjenim sekvencama.

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

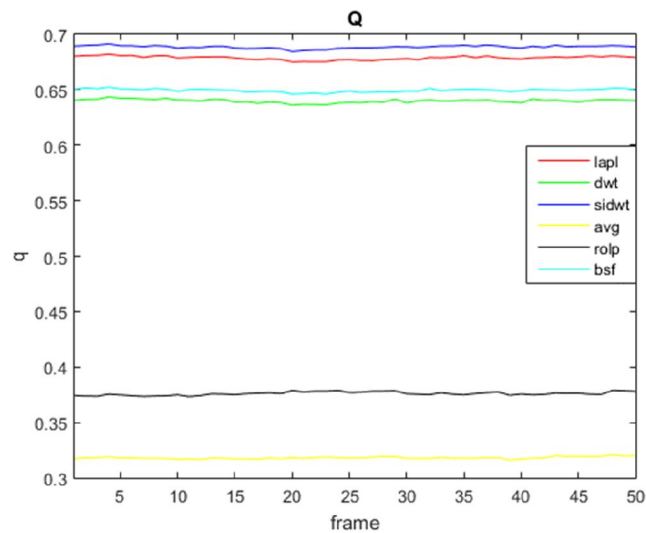


Slika 4.20. Intenzitet piksela za prvih 50 frejmova ulazne i sjedinjenih VA1 sekvence sa 6 različitih metoda sjedinjavanja.

Za analizu vremenske stabilnosti i postojanosti uzeta je i analiza mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja kroz video sekvencu i to prvih 50 frejmova VA1 sekvence. Mera  $DQ$  uzima promene nastale kroz frejmove i vide se u obliku skokova kao na slici 4.21. Statička mera  $Q$  uzima samo prostornu komponentu i rezultati mere su glatki kroz frejmove sekvence (slika 4.22). Očigledno je i da dinamička mera  $DQ$  uzima promene u uspešnosti sjedinjavanja prouzrokovane dinamičkim sadržajem.



Slika 4.21. Promena dinamičke mere  $DQ$  za procenu uspešnosti sjedinjavanja u prvih 50 frejmova va1 sekvence.



Slika 4.22. Promena statičke mere  $Q$  za procenu uspešnosti sjedinjavanja u prvih 50 frejmova va1 sekvence.

### 4.3.3. Poređenje rezultata dinamičkih mera

U ovom delu izvršeno je poređenje dinamičke mere  $DQ$  sa ostalim dinamičkim merama  $DMI$  [42],  $Q_t$  [110] i  $rSTFe$  [123]. Takođe, izvršiće se i poređenje sa subjektivnim testovima, odnosno  $MOS$  za sekvence koje su predmet sjedinjavanja. Rezultati za meru  $rSTFe$  su normalizovani od 0 do 1, gde 1 predstavlja idealno sjedinjavanje kako bi sve mere imale rezultat što veći to bolja metoda, što je kod ove mere bilo obrnuto. I pored navedenog, opsezi koje uzimaju mere su različiti, tako da će se porediti i rangovi metoda za sjedinjavanja.

Rezultati mera ispitani su na bazi od 7 video sekvenci sa 6 različitih metoda sjedinjavanja opisanih u prethodnom delu. Pokriven je širok spektar primene sjedinjavanja video signala, tako da će predstavljene rezultati dati poređenje metoda a i njihovu usaglašenost sa subjektivnim testovima u većem broju realnih uslova. Rezultati su dati u tabeli 4.3 i na slici 4.23 u cilju lakšeg poređenja.

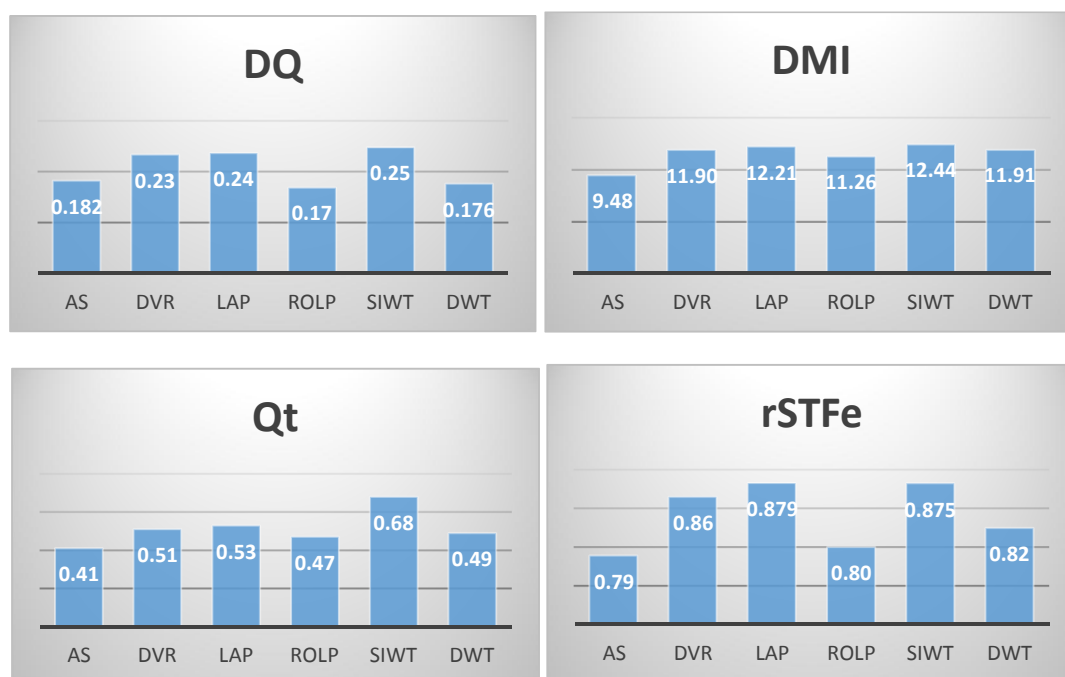
Iz tabele i dijagrama se vidi da testirane mere imaju različite dinamičke opsege i vrednosti te ih je teško upoređivati bez dodatne obrade. Takođe neke od mera ( $DQ$  i  $rSTFe$ ) su veoma osetljive, tako da razlika u drugoj decimali utiče na određivanje uspešnosti izabrane metode za sjedinjavanje. U cilju poređenja mera za dinamičko sjedinjavanje najpre ćemo odrediti njihovu korelaciju. Za to je potrebno izvršiti rangiranje metoda prema merama i koristeći Kendal  $\tau$  rang korelacioni koeficijent odrediti usaglašenost. U tabeli 4.4 date su vrednosti

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

rangova ali sa bodovanjem, tako da najbolji rang dobije 6 bodova, a najlošiji 1 u cilju lakšeg i razumljivijeg prikaza.

**Tabela 4.3. Rezultati dinamičkih mera i subjektivnih testova na šest različitih metoda sjedinjavanja.**

	AS	DVR	LAP	ROLP	SIDWT	DWT
<b>DQ</b>	0.18	0.23	0.24	0.17	0.25	0.17
<b>DMI</b>	9.48	11.9	12.21	11.26	12.44	11.91
<b>Q<sub>t</sub></b>	0.79	0.86	0.879	0.8	0.875	0.82
<b>rSTFe</b>	0.41	0.51	0.53	0.47	0.68	0.49
<b>MOS</b>	2.72	3.54	4.00	3.14	4.06	2.79



**Slika 4.23. Rezultati dinamičkih mera na šest različitih metoda sjedinjavanja.**

Posmatrajući rezultate četiri mere i ukupan rezultat zaključuje se da metoda SIDWT u većem broju mera (3 od 4) pokazuje najbolje rezultate, što dovodi do zaključka da su mere poprilično usaglašene. Kendal  $\tau$  rang korelacioni koeficijenti za metode procene uspešnosti sjedinjavanja dat je u tabeli 4.5 i on pokazuje korelaciju između metoda za procenu uspešnosti sjedinjavanja dinamičkih slika.

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

Tabela 4.4. Poređenje rezultata dinamičkih mera prema rangu.

	AS	DVR	LAP	ROLP	SIDWT	DWT
DQ	3	4	5	1	6	2
DMI	1	3	5	2	6	4
$Q_t$	1	3	5	2	6	4
rSTFe	1	4	6	2	5	3
<b>Ukupno</b>	1	4	5	2	6	3

Tabela 4.5. Poređenje rezultata dinamičkih mera prema Kendal rangu.

	DQ	DMI	$Q_t$	rSTFe
DQ		0.6	0.6	0.6
DMI	0.6		1	0.87
$Q_t$	0.6	1		0.87
rSTFe	0.6	0.87	0.87	

Tabela pokazuje visok stepen korelisanosti između mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja dinamičkih slika po principu rangiranja metoda. Totalnu koerelisanost po ovom principu pokazuju mere  $DMI$  i  $Q_t$  gde  $\tau$  rang korelacioni koeficijenti ima vrednost 1. Visoku korelaciju pokazuje i metoda  $rSTFe$  koja je zasnovana na prostorno-vremenskim frekvencijama sa ove dve mere u iznosu od 0.87.

Imajući u vidu da je cilj sjedinjavanja u realnim sistemima i realnom vremenu prikaz krajnjem korisniku – čovek sjedinjenog videa, najbolji pokazatelj opravdanosti mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja predstavljaju subjektivni testovi. Zbog toga će poređenje mera sa subjektivnim testovima dati rezultate koja mera je najpogodnija za realan sistem. U tabeli 4.6 dati su  $MOS$  rezultati subjektivne procene i rangiranje mera prema  $MOS$ .

Poredeći rangove mera sa rezultatima testova vidimo da se oni ne poklapaju ni kod jedne metode. Najveća je razlika kod rangiranja najslabijih metoda (aritmetičko, ROLP i DWT), dok su kod 3 prve metode rangovi slični, a jedino mera  $DQ$  se poklapa u njihovom rangiranju, gde je najbolja SIDWT, zatim Laplasova piramida i metoda dvoveličinskog

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

razlaganja. Brojčane vrednosti usaglašenosti rezultata mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja i subjektivnih testova gde se svaka sekvenca i metoda razmatra pojedinačno daju mere *SROCC* i *LCC* i njihove ukupne vrednosti date su u tabeli 4.7 i rezultati na dijagramima.

**Tabela 4.6. Poređenje rezultata dinamičkih mera prema rangui sa subjektivnih skorovima.**

	<b>AS</b>	<b>DVR</b>	<b>LAP</b>	<b>ROLP</b>	<b>SIDWT</b>	<b>DWT</b>
<b>MOS</b>	2.72	3.54	4.00	3.14	4.06	2.79
<b>Rang</b>	1	4	5	3	6	2

**Tabela 4.7. Rezultati usaglašenosti subjektivnih i objektivnih testova prema *LCC* i *SROCC* proračunima.**

	<b>DQ</b>	<b>DMI</b>	<b><math>Q_t</math></b>	<b>rSTFe</b>
<b><i>LCC</i></b>	0.76	0.52	0.63	0.63
<b><i>SROCC</i></b>	0.71	0.47	0.69	0.59

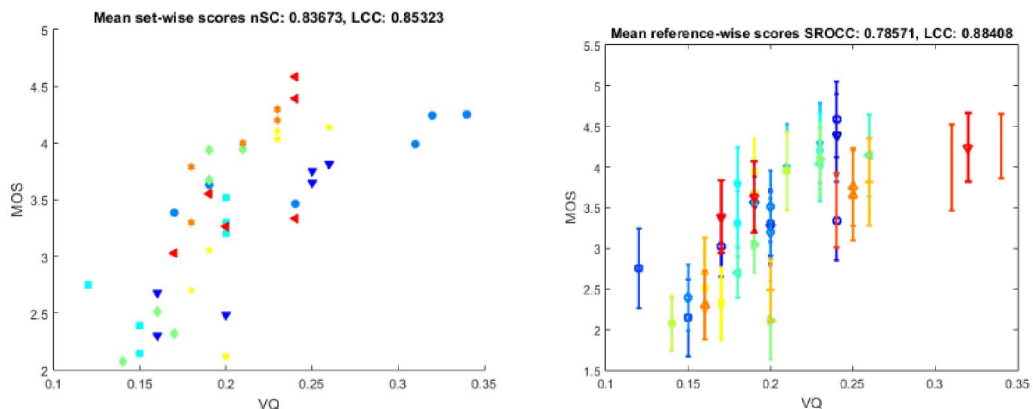
Na slikama 4.24 do 4.27 data su poređenja rezultata za subjektivne testove u funkciji objektivnih mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Slika 4.24 predstavlja poređenje mere *DQ*, slika 4.25 mere *DMI* [42], slika 4.26 mere  $Q_t$  [110] i slika 4.27 mere *rSTFe* [123] sa subjektivnim testovima. U kolonama se nalaze rezultati po prikazima za prvu kolonu (za 3 metode sjedinjavanja koje su prikazane odjednom) i za kompletnu referencu u drugoj koloni koja sadrži svih 6 metoda. Širina linija u drugoj koloni označava standardna odstupanja subjektivnih testova od srednje vrednosti. Svaka boja označava jednu sekvencu.

Poredeći rezultate *LCC* i *SROCC* merenja koja daju korelaciju subjektivnih i objektivnih metoda dolazi se do zaključka da je mera *DQ* najpribližnija subjektivnim testovima na odabranoj bazi. Mera *DQ* u oba slučaja, poredeći i rezultate i rangove, daje prilično veliku korelaciju sa subjektivnim testovima. Sledeća po rangiranju je mera  $Q_t$  koja uzima SSIM kao osnovu za proračun kvaliteta sjedinjavanja slika i koja je isto veoma visoko korelisana sa subjektivnim testovima. Ovi rezultati su i očekivani jer obe mere uzimaju strukture za prostorno i vremensko sjedinjavanje i razlučuju i prostorne i vremenske informacije prenete iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu.

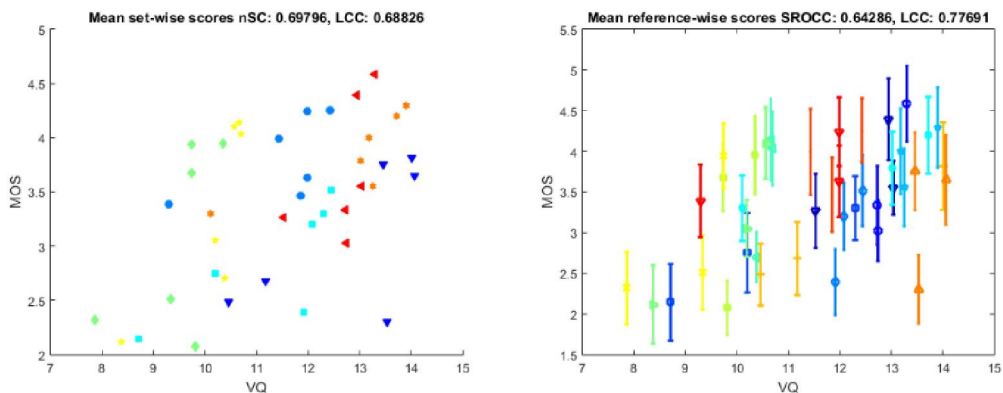
#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

Nešto lošije rezultate u poređenju sa subjektivnim testovima daje mera  $rSTFe$  koja uzima prostorno vremenske frekvencije za proračun uspešnosti sjedinjavanja. Razlog tome je uzimanje samo po jednog piksela iz prethodnog i sledećeg frejma u proračun, što meru čini krajnje jednostavnom za implementaciju i mogućnost korišćenja u realnom vremenu u cilju podešavanja parametara sjedinjavanja ukoliko za to postoji potreba, ali se time očigledno gubi na pouzdanosti merenja.

Metoda  $DMI$  zasnovana na razlici sukcesivnih frejmova i zajedničkim informacijama daje najlošije rezultate od razmatranih metoda iz razloga što ne uzima prostornu komponentu u proračun, već samo vremensku. Iako je u ovom slučaju visoka korelisanost između ranga metoda za sjedinjavanje sa merom  $Q_t$ , mera  $DMI$  daje značajno manje rezultate u poređenju sa subjektivnim testovima.



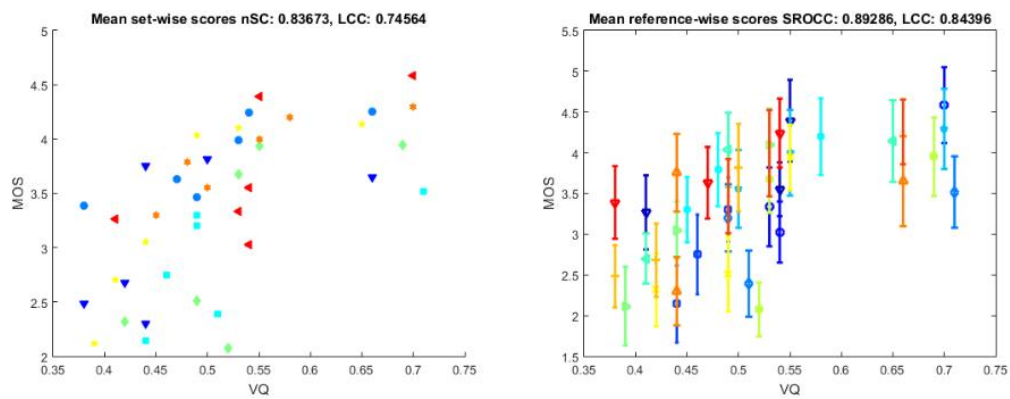
Slika 4.24. Poređenje mere  $DQ$  sa subjektivnim testovima.



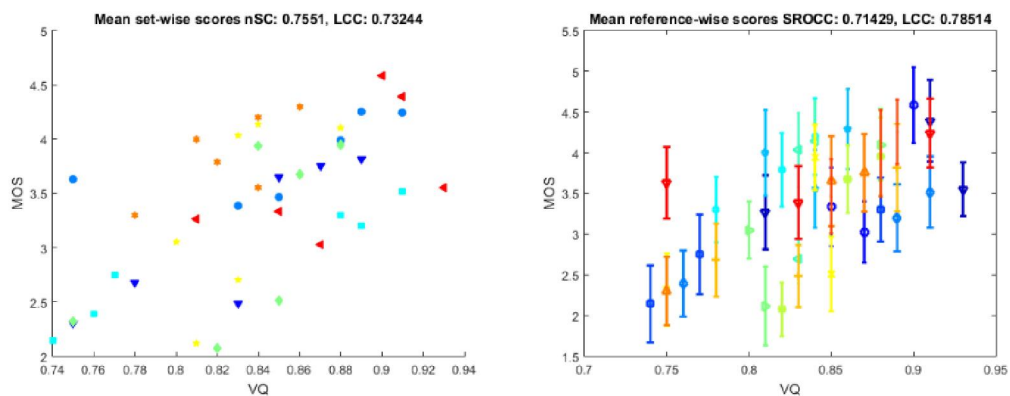
Slika 4.25. Poređenje mere  $DMI$  sa subjektivnim testovima.



#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci



Slika 4.26. Poređenje mere  $Q_t$  sa subjektivnim testovima.

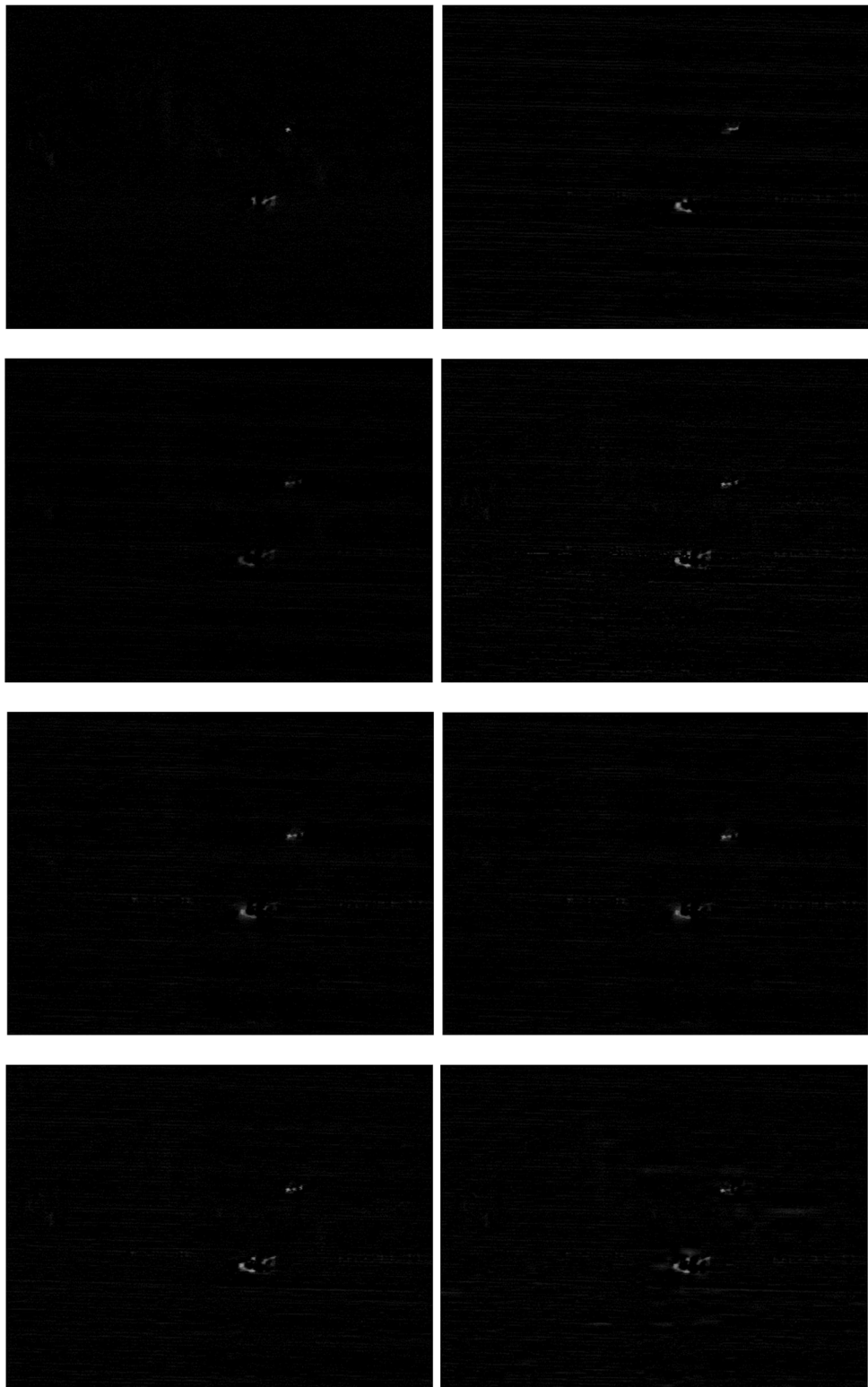


Slika 4.27. Poređenje mere  $rSTFe$  sa subjektivnim testovima.

Prenos vremenskih informacija iz ulaznih u sjedinjenu video sekvencu može se analizirati kroz razliku sukcesivnih frejmova za sekvence kao na slici 4.28. U prvom redu se nalazi razlika dva frejma ulaznih videa televizijske i termovizijske kamere. Očekivano je da se prenesu vremenske informacije iz oba ulaza bez gubitaka i izobličenja. U drugom redu je aritmetičko sjedinjavanje [7] i sjedinjavanje DVR metodom [203]. Što se tiče aritmetičkog sjedinjavanja ono ne unosi vremensku nestabilnost, ali je kao i kod prostorne komponente kontrast slabiji zbog usrednjavanja intenziteta piksela. Metode iz trećeg reda su sjedinjavanje Laplasovom [8] i ROLP pitamidom [9] koje zajedno sa DVR metodom daju manja izobličenja, ali su prenete i informacije iz ulaznih slika. Metoda SIDWT prva u četvrtom redu daje nešto bolje rezultate, dok DWT u donjem desnom uglu daje značajna izobličenja u vremenskom domenu.

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

---

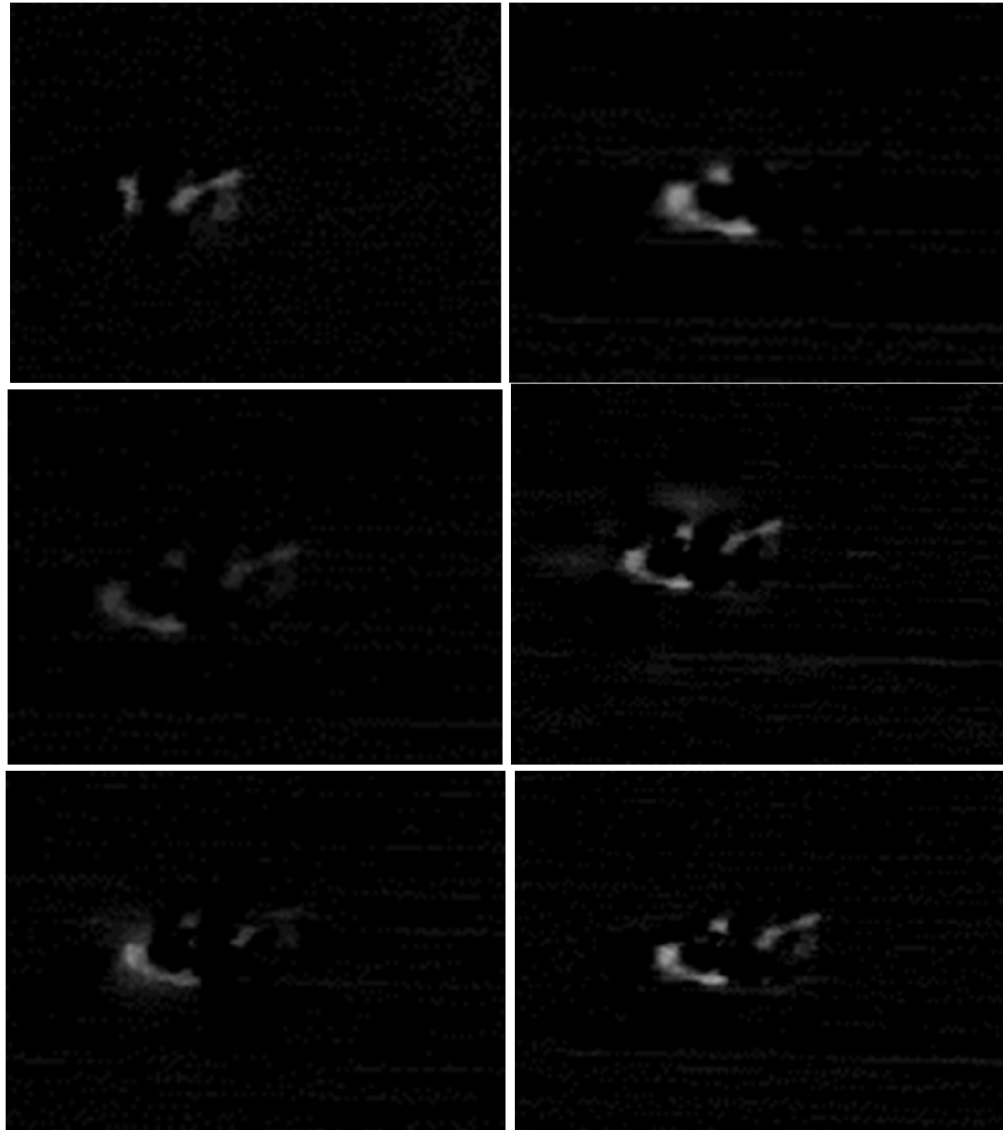


Slika 4.28. Razlika sukcesivnih frejmova ulaznih sekvenci televizijske i IR kamere i šest metoda sjedinjavanja.

#### 4. Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci

---

Izobličenja oko objekata su veoma vidljiva i rezultati ovoga se ogledaju u meri  $DQ$  koja je rangira na poslednjem mestu i daje joj nižu vrednost u odnosu na ostale mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja. Upravo je ovaj jedan od razloga visoke korelisanosti sa subjektivnim testovima. Rezultate potvrđuje i primer sa slike 4.29 gde se nalazi uvećan deo kamiona iz prethodnog primera. U prvom redu nalaze se ulazne slike, dok drugi red predstavlja metode aritmetičkog i DWT sjedinjavanja.



Slika 4.29. Uvećan deo slike 4.26 sa razlikom sukcesivnih frejmova ulaznih sekvenci televizijske i IR kamere sekvence MSO1 i četiri metode sjedinjavanja.

Aritmetičko sjedinjavanje pokazuje slabost koje unosi usrednjavanje na mestima gde su signali komplementarni, što je u većem delu ovog primera slučaj. Smanjen je kontrast i samim time i uočljivost kamiona je znatno slabija nego na ulaznim slikama. Slabost DWT sjedinjavanja je i ovde prikaza unošenjem delova koji ne postoje na ulaznim sekvencama. To je izraženo iznad i ispred kamiona pojavom svetlijih piksela. Ova nestabilnost prouzrokuje i treperenja kada se posmatra kompletna sekvenca. Sjedinjavanje Laplasovom piramidom i SIDWT u poslednjem redu daje najbolje rezultate, stim da SIDWT metoda ima bolji kontrast.

#### 4.4. Sažetak

U ovom delu data su dva pristupa za procenu uspešnosti sjedinjavanja dinamičkih slika, koja pored prostorne uzimaju u proračun i vremensku komponentu sjedinjavanja. Prva mera je  $rSTFe$  zasnovana na proceni koristeći prenos prostorno-vremenskih frekvencija iz ulaznih sekvenci u sjedinjenoj sekvenci. Druga metoda  $DQ$ , na kojoj je i veći akcenat, proračunava prenete prostorno-vremenske gradijente iz ulaznih sekvenci u sjedinjenu sekvencu.

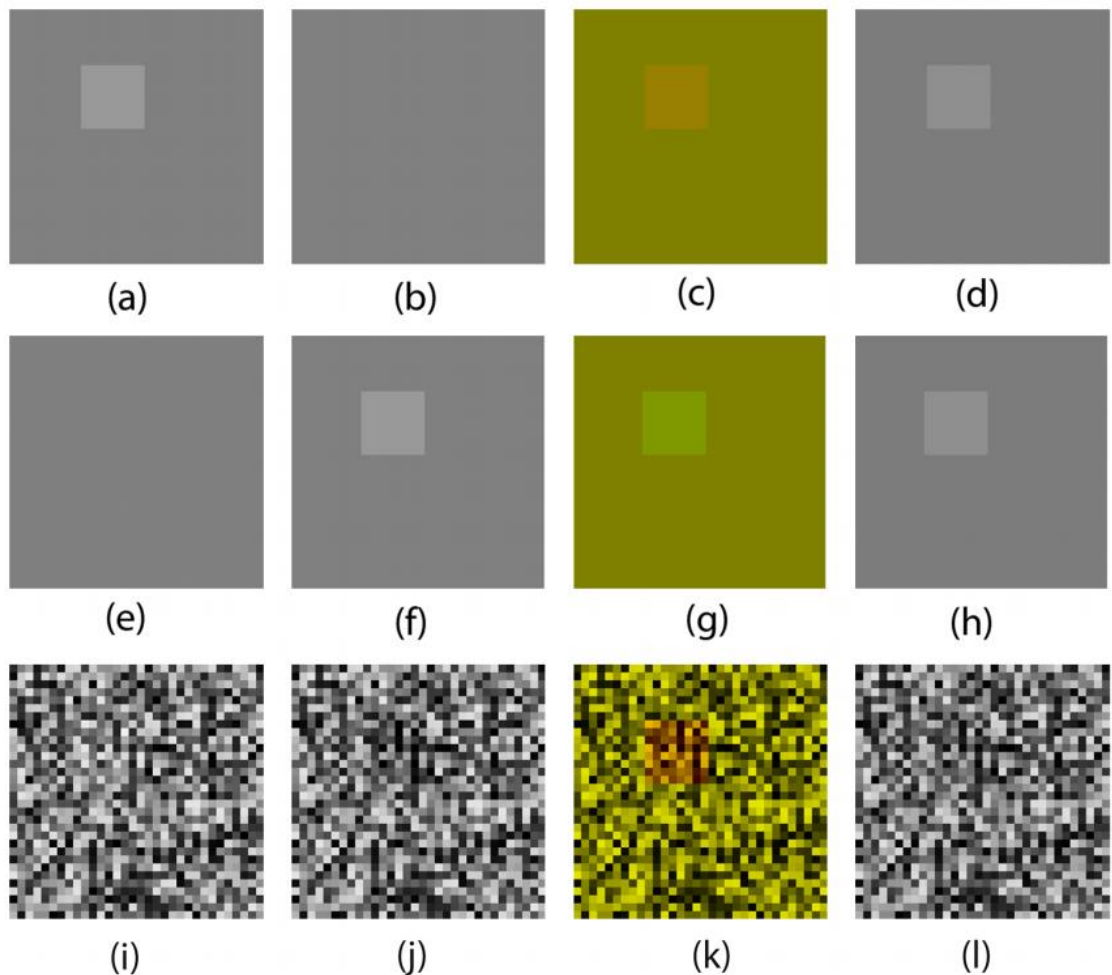
Izvršeno je poređenje mera sa postojećim metodama za procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci i pokazalo se da mera  $DQ$  ima bolju korelisanost sa subjektivnim testovima. Testovi su izvedeni na većem broju različitih scenarija i na 6 metoda sjedinjavanja. Dobri rezultati i procena mere  $DQ$  pokazana je i na vizuelnim primerima sekvence MSO1.

## 5. KOLOR SJEDINJAVANJE SLIKA U REALNOM VREMENU

Sjedinjavanje slika i videa tradicionalno se prezentuje u monohromatskom obliku. Međutim, povećanjem mogućnosti sjedinjavanja u više kanala dovelo je do razvoja većeg broja algoritama za kolor sjedinjavanje [125-145]. Pored već pomenute prednosti o broju različitih nijansi koje ljudski vizuelni sistem može da razlikuje, prednost kolor slike predstavlja i brža detekcija objekata, bolje razlučivanje dubine slike i segmentacija. Kolor slika prema tome daje bolju mentalnu reprezentaciju scene koja doprinosi većoj svesnosti situacije koja se posmatra. Za rad u realnom vremenu prepoznavanje ciljeva, vreme reakcije i identifikacija objekata brži su i precizniji u sistemima sa kolor slikama nego sa monohromatskim [133]. Takođe, posmatrači su u mogućnosti da selektuju i usmere pažnju na određene boje od interesa i ignorišu ostale [146-148]. Jednostavno kolor mapiranje ulaznih slika u 3D kolor prostor može da poveća dinamički opseg multisenzorskog sistema i obezbedi smanjenje lažnih alarma, poveća detekciju kamufliranih objekata i diskriminaciju mamaca i ciljeva [149]. Ilustracija opisanih prednosti kolor sjedinjavanja u odnosu na monohromatsko prikazano je na slici 5.1. Prvi red na sintetičkoj slici predstavlja primer cilja koji se nalazi na jednom senzoru slika 5.1a. Jednostavnim sjedinjavanjem ulaznih slika 5.1a i 5.1b u RG kanalima RGB kolor sistema dobija se predstava cilja jasno vidljiva kao kontrast u koloru slika 5.1c. Primećuje se da boja cilja definiše iz kog senzora cilj potiče, što se ne može zaključiti iz monohromatske sjedinjene slike 5.1d. Druga kolona prikazuje sličan primer, samo što se cilj sada nalazi u drugom senzoru slika 5.1f. Iako su ulazne slike iste primećuje se razlika u boji cilja, što govori da se nalazi u drugom kanalu slika 5.1g. Treća kolona predstavlja pojavu cilja u pozadini sa šumom. Iako je cilj prezentovan i u prvom i drugom ulaznom kanalu slika 5.1i

i 5.1j, ne može se vizuelno primetiti zbog šuma koji ga je pokrio. Međutim, RG kolor sjedinjavanje slika 5.1k jasno izdvaja cilj kao razliku u boji. Takođe, na sjedinjenoj monohromatskoj slici 5.1l on je nije uočljiv.

Izbor boja mora biti pažljiv i prilagođen situaciji koja se posmatra. Takođe, pravilo za sjedinjavanje mora obezbediti optimalan prenos informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu kako bi posmatraču olakšalo detekciju. Svakako nije ni malo jednostavno sjediniti informacije iz različitih senzora u tri nezavisna kolor kanala. Prema tome potrebno je pronaći metodu koja bi zadržala sadržaj ulaznih slika i jasno predstavila objekte od interesa u sjedinjenoj slici.



Slika 5.1. Sintetičke ulazne slike i sjedinjavanje monohromatskim i kolor metodama [149].

### 5.1. Kolor sjedinjavanje kolor i monohromatske slike

Multisezorski sistemi za osmatranje najčešće koriste televizijsku i termovizijsku kameru i dosada su obrađene slike koje daju ovi senzori. Televizijska slika pokazuje jasne strukture objekata i njihove ivice koje predstavljaju visoke frekvencije na slici. Sa druge strane termovizijska slika prikazuje objekte koji imaju temperaturni kontrast u odnosu na pozadinu ali je teško odrediti njihov položaj u odnosu na pozadinu scene i nema finih detalja.

Poboljšanje kontrasta prenetih objekata iz monohromatske slike u odnosu na ranije metode iz literature može se postići sjedinjavanjem monohromatske slike sa kanalom kolor slike koji predstavlja crvenu boju [150,151]. Odnosno topliji detalji IR slike biće predstavljeni crvenijom bojom na sjedinjenoj kolor slici, a samim tim će biti uočljiviji, uz zadatak da se zadrži prirodnost boja kolor slike. RGB kolor sistem ne predstavlja dobro rešenje za sjedinjavanje iz razloga što su kanali međusobno zavisni i sjedinjavanje slika u jednom kanalu i promena u njemu bi prouzrokovalo promenu na celoj slici. Na taj način bi se narušila prirodnost boja kolor slike.

Rešenje problema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike može se naći u  $\alpha\beta$  kolor sistemu. Kanali  $\alpha\beta$  kolor sistema su međusobno slabo povezani i moguće je vršiti operacije u jednom kanalu koje će prouzrokovati male promene na ostalim kanalima [152,153]. Za sjedinjavanje sa monohromatskom slikom izabran je  $\beta$  kanal jer on predstavlja crvenu-zelenu boju slike. Sjedinjavanje se vrši modifikovanom Laplasovom piramidom uz eliminaciju nepotrebnih informacija iz monohromatske slike.

Ruderman et al. predstavili su kolor sistem nazvan  $\alpha\beta$  koji minimizuje korelaciju između kanala [152]. Slaba korelacija između kanala  $\alpha\beta$  kolor sistema dozvoljava primenu različitih operacija na različitim kolor kanalima [153].  $\alpha\beta$  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:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,5141 & 0,3239 & -0,1604 \\ 0,2651 & 0,6703 & 0,0641 \\ 0,0241 & 0,1228 & 0,8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

LMS kolor sistem dobija se sledećom transformacijom:

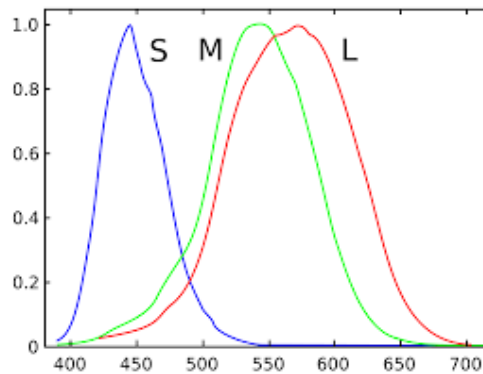
## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3897 & 0,6890 & -0,0787 \\ -0,2298 & 1,1834 & 0,0464 \\ 0,0600 & 0,0000 & 1,0000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

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

$$\begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,3811 & 0,5783 & 0,0402 \\ 0,1967 & 0,7244 & 0,0782 \\ 0,0241 & 0,1288 & 0,8444 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Odnos vrednosti komponenata RGB i LMS kolor sistema grafički je prikazan na slici 5.2.



Slika 5.2. Odnos RGB i LMS kolor sistema.

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

$$[\mathbf{L}, \mathbf{M}, \mathbf{S}] = [\log L, \log M, \log S] \quad (5.4)$$

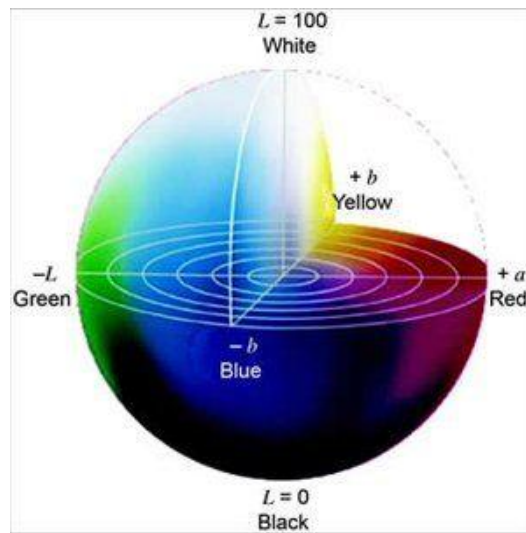
Iako su vrednosti dobijene logaritmovanjem dosta ravnije, korelacija između kanala je i dalje velika. Za smanjenje korelacije između kanala predložene su sledeće matrice transformacije [152].

$$\begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/\sqrt{3} & 0 & 0 \\ 0 & 1/\sqrt{6} & 0 \\ 0 & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -2 \\ 1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

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  $\alpha$  i  $\beta$  kanali predstavljaju žuti-plavi, odnosno crveni-zeleni kanal [153]. Grafička predstava  $l\alpha\beta$  kolor sistema data je na slici 5.3.

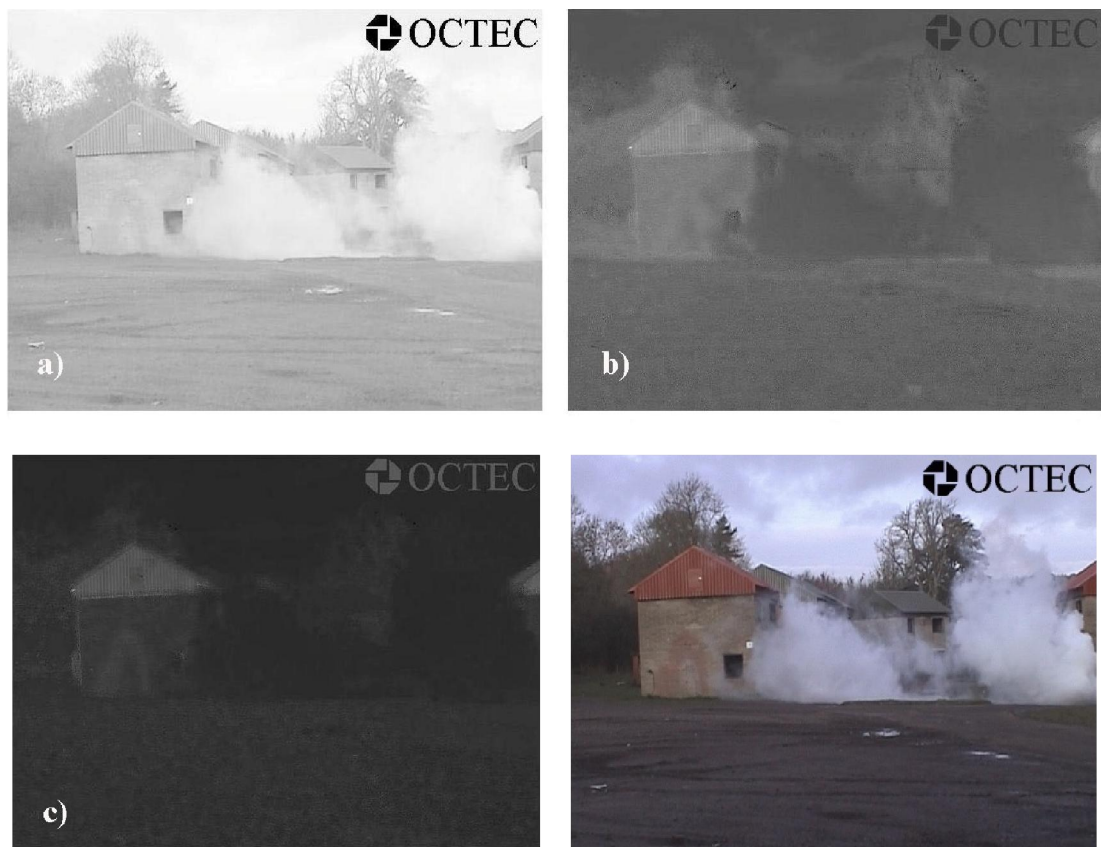


## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



Slika 5.3. Grafička predstava  $l\alpha\beta$  kolor sistema.

Primeri kolor slike i  $l$ ,  $\alpha$  i  $\beta$  kanala dati su na slici 5.4.



Slika 5.4. Primer  $l\alpha\beta$  kolor transformacije kolor slike, a) kanal intenziteta  $l$ , b) plavi-žuti kanal  $\alpha$  i c) crveni-zeleni kanal  $\beta$ , d) originalna slika.

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

$$\begin{bmatrix} \mathbf{L} \\ \mathbf{M} \\ \mathbf{S} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 \\ 1 & -2 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sqrt{3}/3 & 0 & 0 \\ 0 & \sqrt{6}/6 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{2}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ \alpha \\ \beta \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

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

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4,4679 & -3,5873 & 0,1193 \\ -1,2186 & 2,3809 & -0,1624 \\ 0,0497 & -0,2469 & 1,2045 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L \\ M \\ S \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

### 5.1.1. Beta kolor metoda sjedinjavanja kolor i monohromatskih slika

Cilj sjedinjavanja slika sa više senzora je prikazivanje informacija iz ulaznih slika u sjedinjenu sliku. Kolor TV slika (slika 5.5a) sadrži više detalja o sceni, dok monohromatska IR slika (slika 5.5b) prikazuje objekte koji su različite temperature i mogu biti nevidljivi za ljudsko oko. U cilju što efikasnije i vidljivije predstave informacija iz monohromatske IR 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 IR slike biće jasno prezentovane.



a)

b)

Slika 5.5. Ulazne slike sekvence OCTEC a) kolor televizijska slika i b) monohromatska IR slika.

Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike predloženom beta metodom vrši se na sledeći način. Prvo se ulazna kolor slika transformiše u  $\alpha\beta$  kolor sistem na već opisan način (jednačine 5.1-5.5). Pošto su kanali u  $\alpha\beta$  kolor sistemu slabe korelacije mogu se vršiti operacije na jednom od njih uz slab uticaj na ostale kanale. Sjedinjavanjem  $\beta$  kanala sa monohromatskom slikom proizvešće kao rezultat prikaz toplijih detalja iz IR slike crvenom bojom u sjedinjenoj kolor slici. Pošto su opsezi vrednosti  $\beta$  kanala i nivoa sivog monohromatskog kanala različiti, za uspešno sjedinjavanje potrebno je vrednosti svesti u isti opseg. Sjedinjavanje slika se vrši u  $\beta$  kanalu kolor slike, tako da se vrednosti nivoa sivog piksela monohromatske slike moraju svesti u  $\beta$  opseg prema sledećem:

$$I'_m = \frac{\sigma_\beta}{\sigma_m} (I_m - \mu_m) + \mu_\beta \quad (5.8)$$

Gde je  $I_m$  vrednost piksela nivoa sivog monohromatske slike,  $\sigma_\beta$  i  $\sigma_m$  predstavljaju standardne devijacije  $\beta$  kanala kolor i monohromatske slike, a  $\mu_\beta$  i  $\mu_m$  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 se izvodi na sledeći način. Prvo se od  $\beta$  kanala i modifikovanih vrednosti monohromatske slike konstruišu Laplasove piramide [8]. Za sjedinjavanje nivoa Laplasove piramide koristi se izbor apsolutnog maksimuma, odnosno za sjedinjenu sliku u piramidi uzimaće se veća vrednost za svaki piksel iz ulaznih slika, prema jednačini:

$$LS(m, n) = \begin{cases} L_1(m, n), & |L_1(m, n)| \geq |L_2(m, n)| \\ L_2(m, n), & |L_1(m, n)| < |L_2(m, n)| \end{cases} \quad (5.9)$$

Za razlaganje ulaznih slika korišćena su 4 nivoa Laplasove piramide. U cilju očuvanja prirodnosti kolor slike i izbegavanja veće količine prenetih podataka iz monohromatske slike, informacije koje predstavljaju niže frekvencije, odnosno spore promene, uzete su samo iz  $\beta$  kanala kolor slike. Više frekvencije, odnosno brže promene na ulaznim slikama biće prenete na već opisan način.

Sjedinjeni  $\beta$  kanal kolor slike dobija se inverznom Laplasovom transformacijom sjedinjene Laplasove piramide [8]. Konačno sjedinjena kolor slika dobija se transformacijom  $\alpha\beta$  kolor

sistema u RGB kolor sistem [152]. Sjedinjena kolor slika opisana ovom metodom za ulazne slike sa slike 5.5 prikazana je na slici 5.6.



**Slika 5.6. Rezultat sjedinjavanja kolor i monohromatske slike, pomoću laž kolor transformacije i Laplasove piramide (beta metoda).**

*Isticanje objekata iz monohromatske slike*

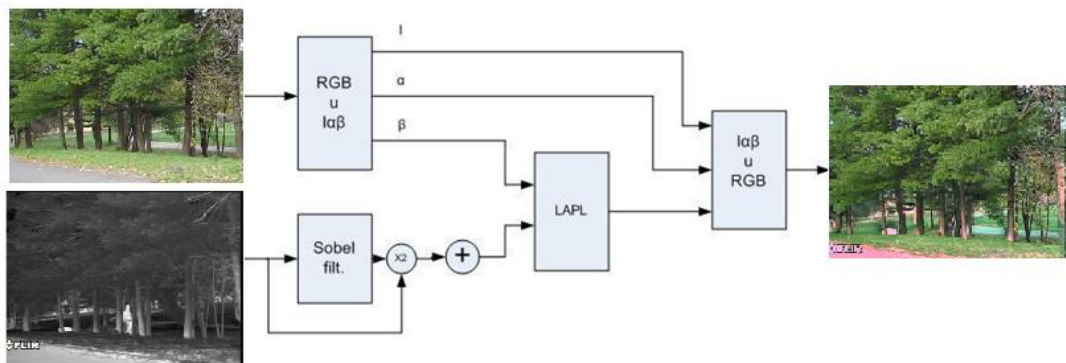
Sjedinjavanje kolor i monohromatske slike u prethodnom delu daje sjedinjenu sliku na kojoj se jasno uočavaju objekti koji se nalaze na obe ulazne slike. Čovek koji se nalazi iza dimne zavese jasnije i brže se uočava nego na sjedinjenoj slici pomoću HSV transformacije. Međutim, objekti preneseni iz monohromatske slike mogu se napraviti još uočljivijim za slučaj da je potrebna brza i precizna identifikacija ciljeva. Ovo se može postići dodavanjem izdvojenih ivica monohromatske slike u samu sliku [151].

Ivice se mogu okarakterisati kroz dva osnovna parametra, amplituda (jačina) i pravac (orijentacija). Predloženi algoritam izdvaja samo informacije jačine ivice za svaki  $(m,n)$  piksel slike i njih ugrađuje u monohromatsku sliku. Jačina ivica se dobija Sobel operatorom, koji definišu dva  $3 \times 3$  prozora [154] prikazana na slici 4.6.

Ovi prozori mere vodoravnu i uspravnu komponentu ivice u centralnom pikselu. Monohromatska slika se filtrira 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 4.6. Opseg vrednosti jačine ivica zavisi od parametara normalizacije Sobelovog filtriranja, a u 8-bitnoj slici nikad ne prelazi 143, dok  $g(m,n)=0$  znači da je signal konstantan [154]. Na kraju ulazna slika se dobija kao zbir monohromatske slike i njenih ivica pomnoženih sa faktorom 2:

$$I'(m,n) = I(m,n) + 2g(m,n) \quad (5.10)$$

Šema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike prikazana je na slici 5.7. Ulazna TV slika se iz RGB kolor sistema transformiše u  $\alpha\beta$  kolor sistem [152], dok se iz monohromatske IR slike izdvajaju ivice Sobel filtrom. Zatim se  $\beta$  kanal i zbirna monohromatska slika sa izdvojenim ivicama transformišu Laplasovom piramidom i sjedinjavaju [8]. Na taj način se dobija sjedinjeni  $\beta$  kanal, koji se zajedno sa zadržanim  $\alpha$  i  $\alpha$  kanalom transformišu u RGB kolor sistem [152], gde se dobija konačna sjedinjena slika.



Slika 5.7. Šema sjedinjavanja kolor i monohromatske slike.

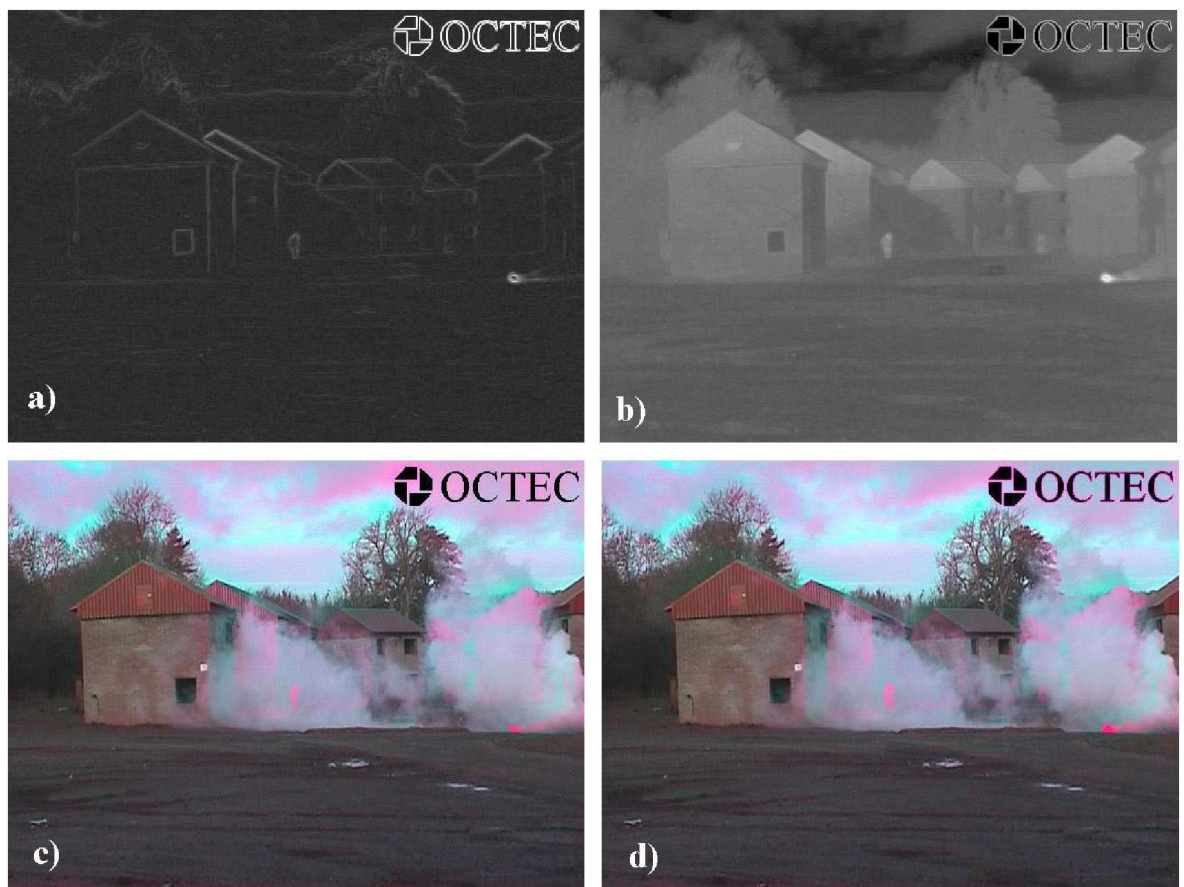
Izdvojene ivice slike i modifikovana IR slika prikazane su na slici 5.8a i 5.8b. Jasno se vidi da su objekti na IR slici sada naglašeniji i da će biti verodostojnije prikazani u sjedinjenoj slici.

Postupak sjedinjavanja se svodi na već objašnjen način u prethodnom delu, a rezultat sjedinjavanja je prikazan na slici 5.8d. Rezultati su dobijeni na već opisane načine uz primenu Laplasove piramide sa 4 nivoa. Prilikom sjedinjavanja  $\beta$  kanala TV slike sa IR slikom prva dva nivoa Laplasove piramide uzeta su samo iz  $\beta$  kanala, dok su ostali nivoi sjedinjeni metodom maksimalne apsolutne vrednosti. Sjedinjena kolor slika pomoću  $\beta$  kanala kolor i monohromatske slike (slika 5.8c) daje dobre rezultate i preneseni su objekti iz IR slike verodostojno. Jasno se uočava čovek iza dimne zavese i dimna bomba koja je jakog temperaturnog kontrasta je 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 ustvari sjedinjavanje informacija koje su u potpunom kontrastu. Naime, slova kod monohromatske slike su crne boje i pikseli imaju



## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

vrednost 0, dok u beta kanalu su 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 IR slike još jasnije i vidljivije predstavlja objekte iz IR slike. Samim tim što su objekti većeg kontrasta na slici 5.5a od objekata na slici 5.5b sjedinjavanje ovom metodom daje bolje rezultate. Pojačan je kontrast između čoveka iza dimne zavese i pozadine pa samim tim se i lakše objekat uočava i identifikuje. U slučaju da je potrebna 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.

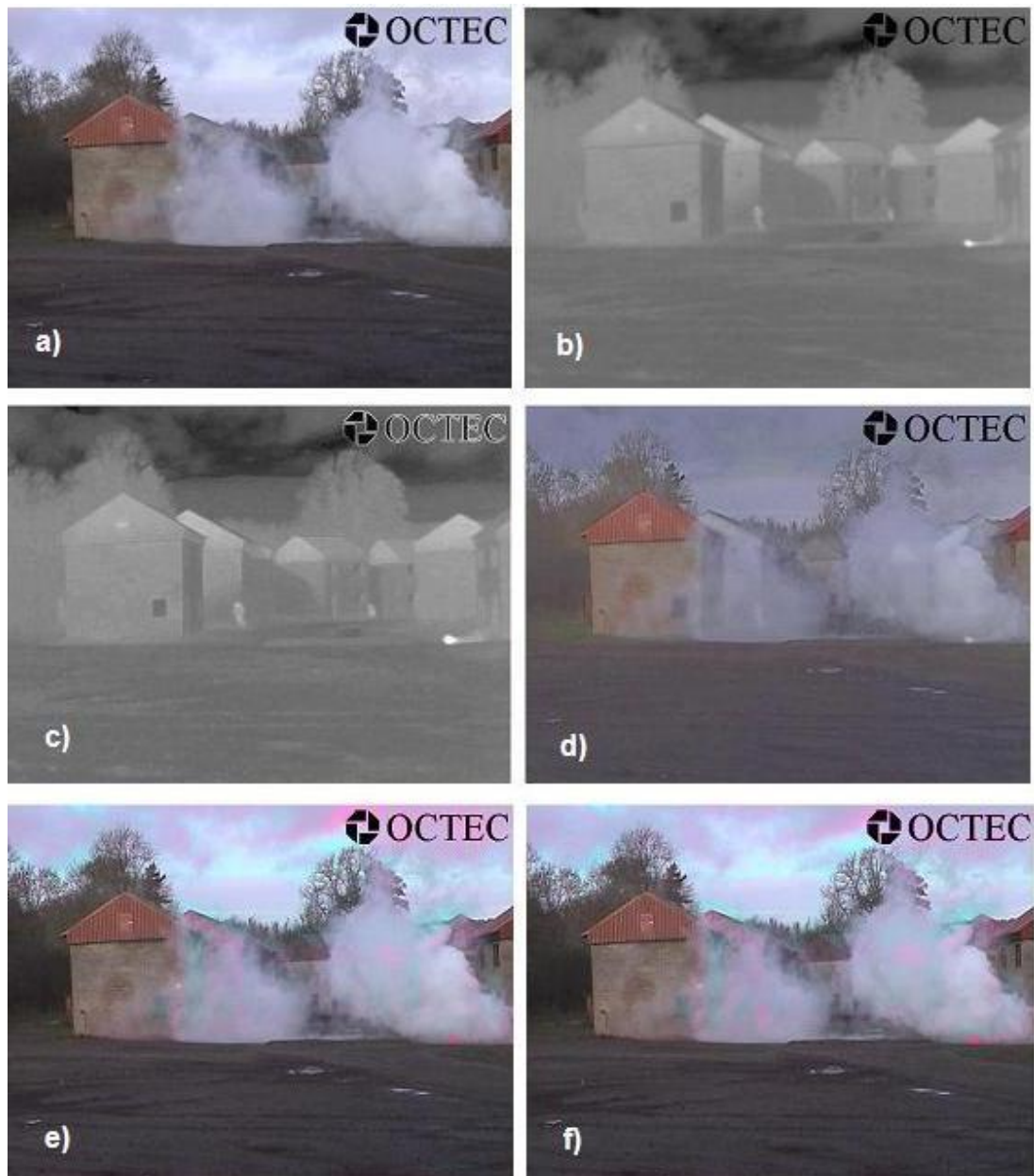


**Slika 5.8. Kolor sjedinjavanje uz pojačanje ivica na monohromatskoj slici. a) jačina ivica monohromatske slike prikazane na slici, b) pojačana slika gradijentima c) rezultat sjedinjavanja c) bez isticanja ivica i d) sa isticanjem ivica.**

Prednosti predložene beta metode bolje se vide na još jednom frejmu OCTEC sekvence. Na slici 5.9a i 5.9b date su ulazne slike IR i TV kamere. Za razliku od frejma prikazanog na slici

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

5.5, ovaj frejm predstavlja pojavljivanje još jednog čoveka između treće i četvrte zgrade gledano sa leve strane. Ovaj čovek se veoma slabo uočava na ulaznoj IR slici. Na slici 5.9c data je IR slika sa dodatim ivicama i na njoj je ovaj čovek znatno uočljiviji, kao i ostali objekti. Sjedinjena slika HSV transformacijom prikazuje objekte iz ulaznih slika ali su slabo uočljivi zbog malog kontrasta između dimne zavese i ljudi iza nje.



Slika 5.9. Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje. a) i b) TV i IR slika OCTEC sekvence, c) IR slika sa dodatim ivicama, d) rezultat sjedinjavanja HSV transformacijom, e) i f), rezultati kolor sjedinjavanja beta metodom.

Sjedinjena slika predloženom metodom bez dodavanja ivica prikazana je na slici 5.9e i daje dobre rezultate, ali je čovek kao i na ulaznoj IR slici slabo uočljiv. Slika koja je dobijena sjedinjavanjem uz dodavanje ivica (slika 5.9f) mnogo bolje od ostalih prikazuje drugog čoveka iako je on jedva vidljiv u ulaznoj IR slici.

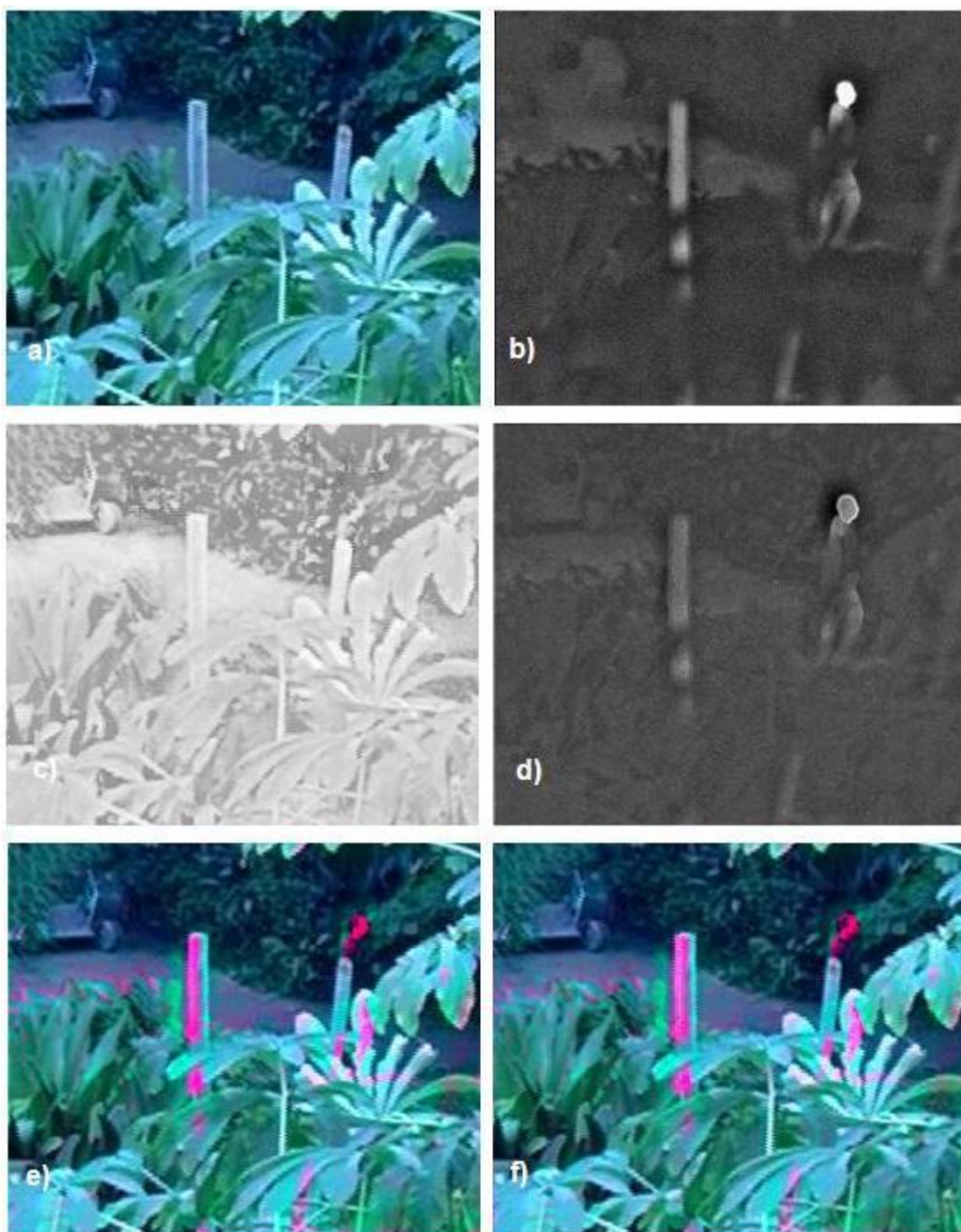
Dobre rezultate predložena beta metoda daje i na sjedinjavanju sekvence EDEN. Po jedan frejm ulaznih slika TV i IR kamere dati su na slici 5.10a i 5.10b. Na IR slici jasno se uočava čovek zbog različite temperature sa okolinom. Ostali detalji su slabo vidljivi. TV slika jasno prikazuje drveće i lišće ali je čovek gotovo neuočljiv. Sjedinjavanjem ove dve slike dobijamo sjedinjenu kolor sliku na kojoj se jasno uočava i čovek i pozadina (slike 5.10e i 5.10f). Kako bi se video uticaj kolor sjedinjavanja date su i slike  $\beta$  kanala pre i nakon sjedinjavanja na slikama 5.10c i 5.10d, s tim što je na 5.10c izvršeno razvlačenje histograma pa je slika svetlija. Na slikama se jasno uočava uticaj sjedinjavanja i vide se preneseni podaci iz monohromatske slike u  $\beta$  kanalu kolor slike. Na slici 5.10e 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 IR slike (slika 5.10f). Na ovoj slici je čovek uočljiviji i detekcija ciljeva bi bila veoma efikasna. Jasno se uočava ne samo da su ciljevi vidljivi, već da su te informacije dolaze iz IR slike, što znači da su objekti topliji od pozadine.

Sjedinjena slika dobijena beta metodom za kolor sjedinjavanje jasno predstavlja informacije iz monohromatske slike i pri tome je zadržana prirodnost boja iz kolor slike, što su osnovni ciljevi metoda za sjedinjavanje. Iako se u većini sjedinjenih slika na kojima je testirana predložena metoda dobijaju dobri rezultati, postoji problem ukoliko su vrednosti intenziteta kolor slike veoma niski. U tom slučaju sjedinjavanje samo u  $\beta$  kanalu nije u mogućnosti da dovoljno istakne informacije iz monohromatske slike. Na slici 5.11 prikazane su slike iz Dublin sekvence dobijene u različitim uslovima. U prvoj koloni nalaze se slike dobijene u dnevnim uslovima pomoću televizijske i termovizijske kamere i sjedinjena slika predloženom beta metodom. Druga kolona predstavlja slike iste scene samo slikane prilikom smanjene vidljivosti. Dobijeni rezultati predloženom beta metodom na slikama u levoj koloni sasvim su dobri i prenesene informacije iz monohromatske slike su jasno vidljive i predstavljene crvenom bojom na mestima gde je signal jači. Takođe, prirodnost boja je zadržana i nije došlo do većih poremećaja. Sa druge strane na sjedinjenoj kolor slici u desnoj



## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

koloni gde je smanjen intenzitet svetlosti na kolor slici, iako su monohromatske slike sa sličnim informacijama, nisu dovoljno dobro preslikane informacije iz termovizijske slike.



Slika 5.10. Ulazne i sjedinjene slike metodama za kolor sjedinjavanje. a) i b) TV i IR slika EDEN sekvence, c) beta kanal kolor slike, d) sjedinjeni beta kanal, e) i f) rezultat kolor sjedinjavanja beta metodom i sa dodavanjem ivica monohromatske slike.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

Može se zaključiti da predložena metoda daje nešto lošije rezultate u slučajevima kad su vrednosti intenziteta kolor slike veoma male. U nekim slučajevima se i dovodi pitanje korišćenja kolor slike ako ne daje neke informacije i potrebu za sjedinjavanjem.



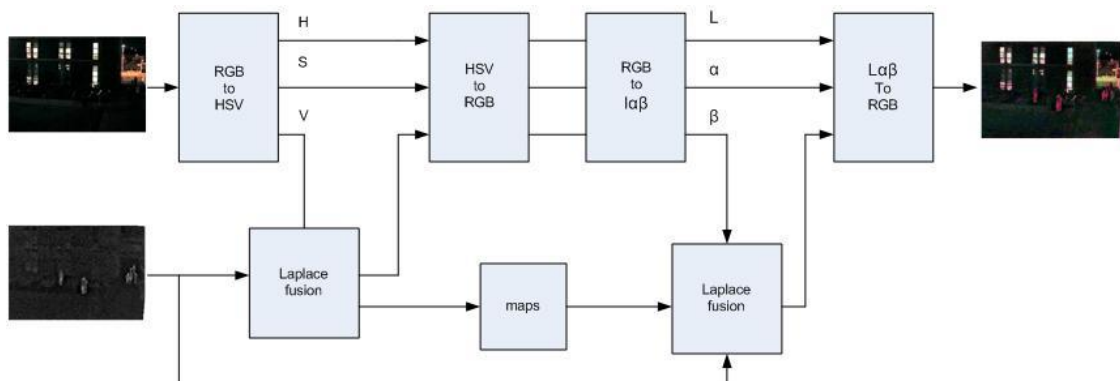
Slika 5.11. Ulazne i sjedinjene slike sekvence Dublin slikane u različitim uslovima vidljivosti.

### 5.1.2. Beta poboljšana metoda za kolor sjedinjavanje slika

Nedostatak sjedinjavanja samo u  $\beta$  kanalu  $\alpha\beta$  kolor sistema, prilikom sjedinjavanja slika na kojima su vrednosti intenziteta značajno male, moguće je otkloniti prenošenjem vrednosti iz

monohromatske slike u kanal intenziteta. Na ovaj način bi se informacije iz ulazne monohromatske slike učinile vidljive i opravdalo bi se korišćenje sjedinjavanja slika.

Poboljšanje predložene metode za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika realizuje se na sledeći način. Prvo se vrši sjedinjavanje kanala intenziteta kolor slike sa monohromatskom slikom pomoću metode koja koristi Laplasovu piramidu. Sjedinjena slika se postaje V kanal HSV kolor sistema i vraća se u RGB kolor sistem. U daljem delu se radi transformacija u  $l\alpha\beta$  kolor sistem i vrši sjedinjavanje  $\beta$  kanala sa monohromatskom slikom. Sjedinjavanje se vrši takođe pomoću Laplasove piramide, uz razliku da se ne uzima apsolutna maksimalna vrednost piksela, nego se koriste maske za sjedinjavanje koje su dobijene iz sjedinjavanja intenziteta (slika 5.12). Na ovaj način je omogućeno da se vrednosti na mestima gde je intenzitet piksela u monohromatskoj slici izraženiji adekvatno preslika u kolor sliku.



Slika 5.12. Blok dijagram beta poboljšane metode za kolor sjedinjavanje slika.

Sjedinjena slika iz ulaznih slika sa slike 5.13, dobijena predloženom beta poboljšanom metodom prikazana je na slici 5.14a. Može se videti da su informacije iz monohromatske slike prenete i jasno vidljive ali je došlo do malog gubitka prirodnosti koja nastaje usled sjedinjavanja kanala intenziteta. Pešaci koji su bili u mraku i ne vide se na termovizijskoj slici sa beta poboljšanom metodom su jasno vidljivi i prepoznaje se da su mapirani iz IR slike kao topli objekti. Nedostatak beta poboljšane metode u odnosu na betu metodu je i prenos šuma iz monohromatske IR slike u sjedinjenu sliku. Pošto se prenosi IR slika u kanal intenziteta i šum koji je vidljiv u IR slici prenesen je u sjedinjenu. Dobre rezultate beta poboljšana metoda pokazuje i na slikama EDEN (slika 5.15) i OCTEC (slika 5.16) sekvence.



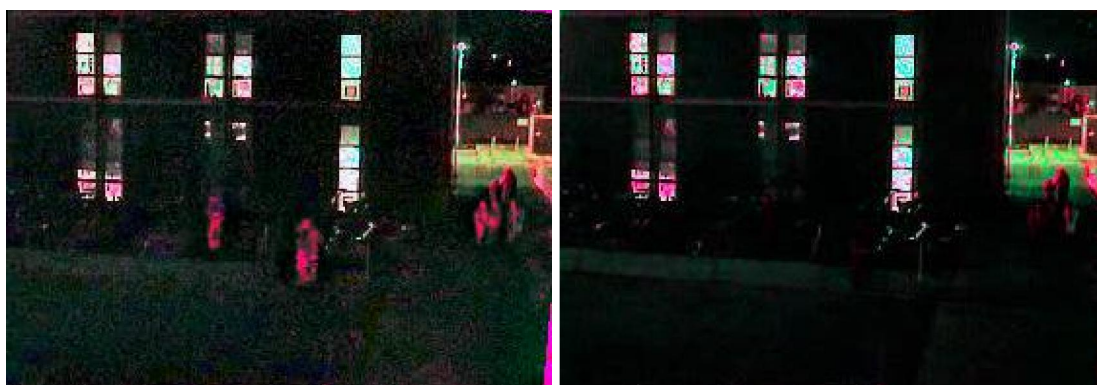
## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

---

Na obe slike topli objekti iz IR slike su jasno izdvojeni i prikazani na sjedinjenoj slici. Mali gubitak prirodnosti može se uočiti na slici 5.16, gde je nebo crvenkaste boje.



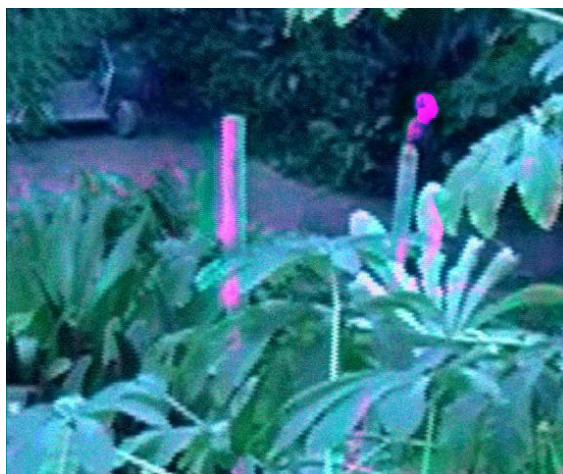
Slika 5.13. Ulazne slike DUBLIN sekvence u uslovima smanjene vidljivosti.



a)

b)

Slika 5.14. Sjedinjena slika DUBLIN sekvence pomoću a) beta poboljšane metode i b) beta metode za sjedinjavanje.



Slika 5.15. Sjedinjena kolor slika beta poboljšanom metodom EDEN sekvence.



Slika 5.16. Sjedinjena kolor slika beta poboljšanom metodom OCTEC sekvence.

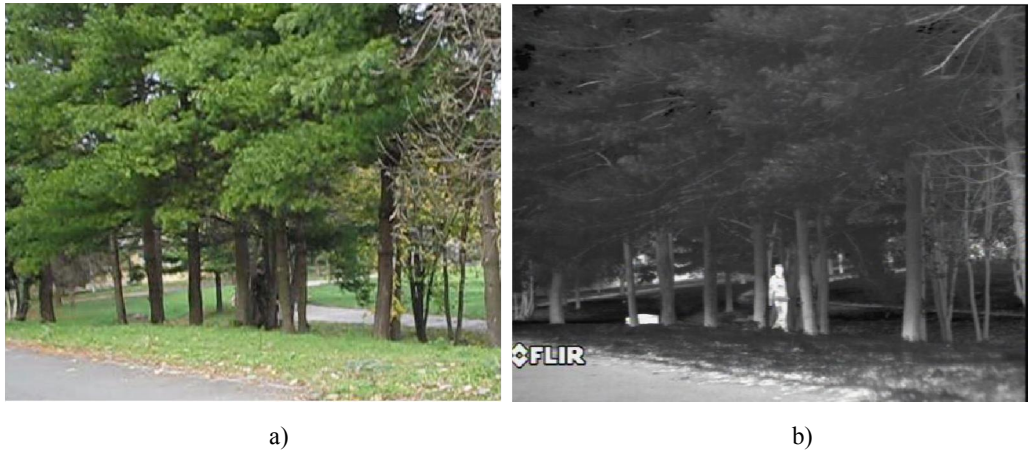
### 5.1.3. Računarski efikasno kolor sjedinjavanje

Iako je generalno ispunjen cilj po prirodnosti sjedinjavanja kolor slika rađeno je i na razvoju računarski efikasnijih algoritama. Ideja je bila da se implementira algoritam koji prenosi samo relevantne informacije iz monohromatske termovizijske slike u kolor TV sliku. Na taj način zadržala bi se struktura koja se nalazi na TV slici, kao i prirodne boje koje ona nosi. Kolor TV slika (slika 5.17a) sadrži više detalja o sceni, dok monohromatska termovizijska slika (slika 5.17b) prikazuje objekte koji su različite temperature i mogu biti nevidljivi za ljudsko oko. Na termovizijskoj slici je jasno uočljiv čovek između drveća, dok je ostali deo scene slabije vidljiv. Televizijska slika daje dobru predstavu pozadine, dok je čovek slabije uočljiv.

Metode za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika zasnovane su na transformaciji kolor slike iz RGB kolor sistema u neki drugi kolor sistem (HSV [155], LAB [80],  $\alpha\beta$  [81], ...) i zatim sjedinjavanju monohromatske slike sa jednim od kanala kolor slike. Metoda za sjedinjavanje jednog od kolor kanala sa monohromatskom slikom je jedna od standardnih metoda za sjedinjavanje monohromatskih slika.

Transformacijom u HSV kolor sistem i sjedinjavanjem termovizijske slike sa V kanalom TV slike laplasovom piramidom, zatim inverznom transformacijom u RGB kolor sistem dobija se slika prikazana na slici 5.18 [155]. U sjedinjenu sliku preneseni su detalji iz obe ulazne slike, ali čovek koji se nalazi maskiran između drveća slabije je uočljiv u odnosu na

predstavu iz termovizijske slike iz razloga što je došlo do sjedinjavanja na mestu gde su ulazni signali komplementarni. Takođe, došlo je i do gubitka prirodosti boja kolor slike.



**Slika 5.17. a) Kolor TV slika i b) monohromatska termovizijska slika VA1 sekvence.**



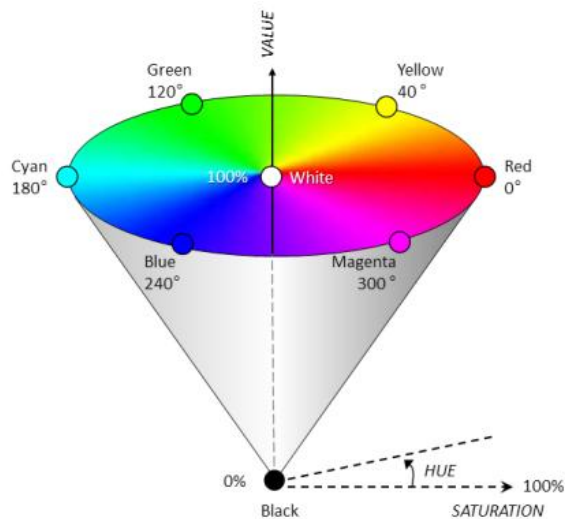
**Slika 5.18. Sjedinjena kolor slika koristeći intenzitet HSV kolor sistema i Laplasovu piramidu.**

U cilju što efikasnije i vidljivije predstave informacija iz monohromatske termovizijske slike u sjedinjenoj kolor slici, toplije objekte predstavimo nivoima crvene boje, dok ćemo vrednosti ostalih kanala ostaviti nepromenjene [156,157]. Na ovaj način kolor slika zadržaće svoju prirodost, a informacije iz monohromatske termovizijske slike biće jasno prezentovane.

U ovom algoritmu realizacija sjedinjavanja izvedena je korišćenjem HSV kolor sistema. Prednost predstavlja činjenica da su komponenta intenziteta (V) i komponente boje (H i S)

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

međusobno slabije korelisane [159]. V komponenta je u opsegu od 0 do 255 za 8-bitne slike (ili od 0 do 1 za normalizovane vrednosti). H komponenta predstavlja varijaciju boje i u opsegu je od  $0^{\circ}$  do  $360^{\circ}$  ( $0^{\circ}$  je crvena,  $120^{\circ}$  zelena, a  $240^{\circ}$  plava boja). S predstavlja čistoću boje i u opsegu je od 0 do 1, gde 1 predstavlja čistu boju kao što je prikazano na slici 5.19.



**Slika 5.19. Grafička predstava HSV kolor sistema.**

Upravo ove karakteristike HSV kolor sistema daju mogućnost za realizaciju algoritma [137], čiji je cilj već opisan. Naime, pošto HSV kolor sistem ima komponentu intenziteta odvojenu od kolor komponentata, daje mogućnost isticanja intenziteta objekata iz obe slike bez njihovog uticaja na boju [82]. Iz tog razloga V komponenta se dobija sjedinjavanjem televizijske i termovizijske slike pomoću metode za monohromatsko sjedinjavanje. Metoda monohromatskog sjedinjavanja je Gaus-Laplasova piramida koja je do sada pokazala se kao najefikasnija metoda za monohromatsko sjedinjavanje.

Za razliku od postojećih metoda za kolor sjedinjavanje u ovom algoritmu uzeti su u obzir i kolor kanali, kako bi informacije bile što efikasnije prenete a pri tom i zadržana prirodnost slike, što je veoma bitno ako je čovek krajnji korisnik [157]. Kako je cilj da se topliji objekti iz termovizijske slike predstave crvenom bojom potrebno je izvršiti i sjedinjavanje u H i S kanalu koji predstavljaju informacije o boji. Na taj način H komponenta se postavlja na nulu (crvena boja) na mestima gde postoji informacija na ulaznoj termovizijskoj slici, dok se u S kanal postavlja vrednost iz termovizijske slike i na osnovu intenziteta piksela definiše čistoća boje. Rezultat dobijen na ovaj način predstavljen je na slici 5.20.



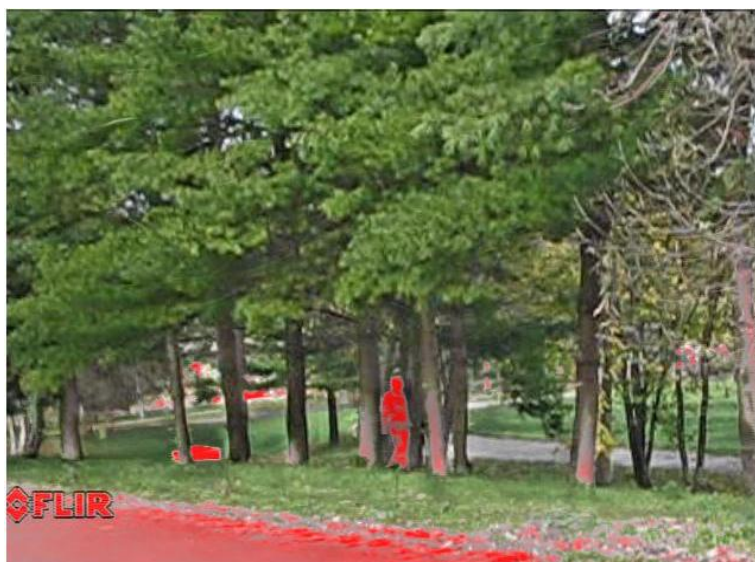
Sa slike se primećuje da je došlo do narušavanja kontrasta usled prenosa nebitnih informacija iz termovizijske slike. Pošto niski nivoi piksela iz termovizijske slike nisu od interesa u sjedinjenoj slici, njihovom eliminacijom neće se umanjiti sadržaj informacija na slici, a dobiće se prirodnija slika. Pristup koji je pokazao dobre rezultate je da se u S kanal ubaci modifikovana termovizijska slika. Od termovizijske slike se najpre oduzme srednja vrednost intenziteta piksela i zatim se slika pomnoži sa koeficijentom kako bi se zadržao opseg od 0 do 1. Na kraju se negativne vrednosti piksela postavljaju na nulu. Dobijeni algoritam je nazvan HSV kolor sjedinjavanje (HSVKS).



**Slika 5.20. Sjedinjena kolor slika koristeći HSV kolor sistem i kolor mapiranje.**

Slika dobijena modifikovanjem termovizijske slike prikazana je na slici 5.21. Rezultati koji su dobijeni značajno su bolji nego kod ranije opisanih metoda i minimalno je narušena prirodnost termovizijske slike. Uz to su svi objekti od interesa iz termovizijske slike jasno vidljivi. Vojnik i topli objekti u pozadini jasno su izdvojeni na sjedinjenoj slici. Pozadina koja je prenet iz kolor TV slike zadržala je svoju prirodnost i kompletno su očuvane boje. To se najbolje vidi na boji lišća i drveća koja je ista kao na ulaznoj TV slici. Pri tome algoritam je veoma računarski efikasan i pogodan za rad u realnom vremenu. Dobri rezultati HSV kolor sjedinjavanja prikazani su i na slici iz OCTEC sekvence, kao i u prethodnim metodama. HSV kolor metoda i na ovoj sekvenci daje dobre rezultate i čoveka koji je topliji od okoline uspešno izdvaja i prikazuje na sjedinjenoj slici.





Slika 5.21. Sjedinjena kolor slika iz VA 1 sekvence koristeći HSV kolor metodu.



Slika 5.22. Sjedinjena kolor slika iz VA 1 sekvence koristeći HSVKS.

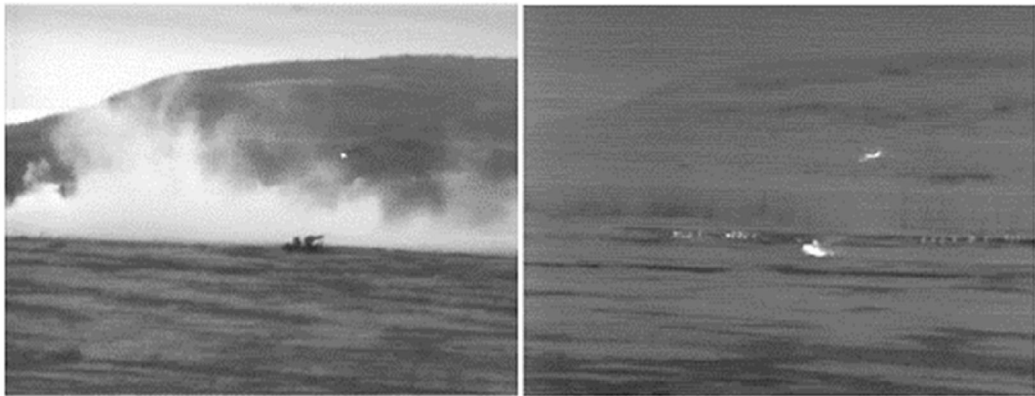
## 5.2. Sjedinjavanje monohromatskih slika u kolor sliku

Algoritam za kolor sjedinjavanje može se isto tako uspješno preslikati i na sjedinjavanje monohromatskih slika u kolor sliku. Cilj je isti da se zadrže strukture i detalji koje nosi televizijska slika i uspješno prikažu posmatraču ciljevi koje zbog razlike u temperaturi nalaze na termovizijskoj slici. Slično kao kod prethodne metode izabran je HSV kolor sistem i V

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

---

komponenta se dobija sjedinjavanjem televizijske i termovizijske slike pomoću metode za monohromatsko sjedinjavanje. Metoda monohromatskog sjedinjavanja je Gaus-Laplasova piramida. Za određivanje boje u sjedinjenoj slici potrebno je razmatrati obe kolor komponente HSV kolor sistema. Kako je cilj da se topliji objekti iz termovizijske slike predstave crvenom bojom, a da se informacije iz televizijske slike predstave u izvornom monohromatskom obliku, H komponenta se postavlja na 0. Kako bi se ispunili postavljeni uslovi za izradu algoritma, najjednostavniji način je da se S komponenta dobije ubacivanjem termovizijske slike i na taj način istaknu pikseli sa višom vrednošću, odnosno topliji delovi na sceni crvenom bojom. Slika dobijena opisanim algoritmom na ulaznim monohromatskim slikama (slika 5.23) predstavljena je na slici 5.24.



**Slika 5.23. Ulazne slike MSO1 sekvence.**



**Slika 5.24. Slika dobijena metodom za kolor mapiranje u HSV kolor sistemu.**

Cilj sjedinjavanja je ispunjen i topli objekti iz termovizijske slike predstavljeni su nijansama crvene boje, ali pošto termovizijska slika sadrži veliki broj piksela koji imaju vrednost oko nule i oni utiču da kompletna slika ima nijanse crvene boje. Pošto niski nivoi piksela iz

termovizijske slike nisu od interesa u sjedinjenoj slici, njihovom eliminacijom neće se umanjiti sadržaj informacija na slici, a dobiće se prirodniija slika. Pristup koji je pokazao dobre rezultate je da se u S kanal ubaci modifikovana termovizijska slika. Od termovizijske slike  $I_{IR}$  se najpre oduzme srednja vrednost intenziteta piksela  $\mu_{IR}$  i zatim se slika pomnoži sa koeficijentom  $k$  kako bi se zadržao opseg od 0 do 1:

$$S = (I_{IR} - \mu_{IR}) \cdot k \quad (5.10)$$

Negativne vrednosti piksela se postavljaju na nulu. Slika dobijena modifikovanjem termovizijske slike prikazana je na slici 5.25. Rezultati koji su dobijeni su značajno bolji nego kod ranije opisanih metoda i minimalno je narušena prirodnost televizijske slike. Uz to su svi objekti od interesa iz termovizijske slike jasno vidljivi. Pri tome algoritam je veoma računarski efikasan i pogodan za rad u realnom vremenu. Algoritam je nazvan HSV kolor mapiranje (HSVKM)

Algoritam za kolor sjedinjavanje monohromatskih slika testiran je i na slikama drugih scenarija, kako bi se dobijeni rezultati što verodostojnije predstavili i našla njihova upotreba u realnim sistemima. Scenariji su već dobro poznati i izabrane su različite karakteristike dobijenih sekvenci (objekti koji su totalno ili slabo uočljivi na jednoj od ulaznih slika, sekvence sa pojačanim šumom, što i jeste realna situacija). Poredeći sjedinjenu sliku sa efikasnim kolor sjedinjavanjem [56] i algoritmom za sjedinjavanjem monohromatskih slika putem Gaus-Laplasove piramide [8].



**Slika 5.25. Slika dobijena metodom HSVKM.**

Na slici 5.26 prikazani su izdvojeni delovi sjedinjene slike HSVKM metodom . Zbog male rezolucije slike (500x380) detalji na uveličanoj slici su mutniji. Može se videti jasno

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

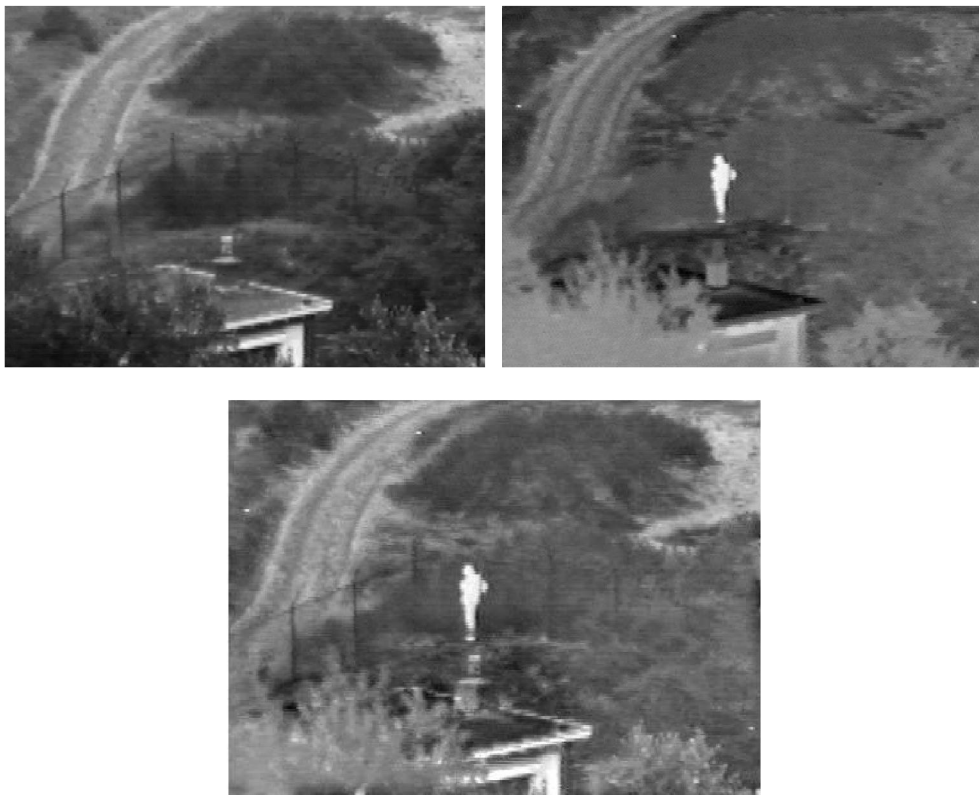
---

izdvojeno vozilo koje je zbog temperature motora znatno toplije od okoline i samim tim na termovizijskoj slici izraženije i lako za detekciju. Na desnoj slici uočavaju se takođe topli ciljevi koje predstavljaju vojnike.



**Slika 5.26. Izdvojen deo MSO1 slike sjedinjen metodom HSVKM.**

Na slici 5.27 u gornjem redu date su slike televizijske i termovizijske kamere iz sekvence UNCAMP.



**Slika 5.27. Slike televizijske i termovizijske kamere iz sekvence UNCAMP prvi red i sjedinjena slika Laplasovom piramidom u drugom redu.**

Sjedinjena monohromatska slika 5.27 donji red daje jasno prenete informacije iz obe ulazne slike i pokazuje vojnika koji u televizijskoj slici nije vidljiv uz zadržavanje detalja iz

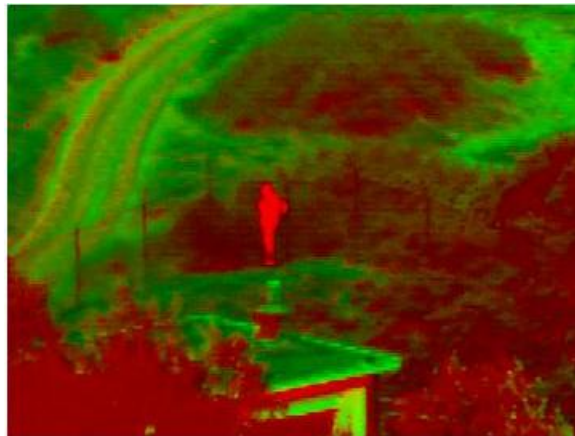


## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

---

televizijske slike. Na ovaj način, kao i u ostalim metodama za sjedinjavanje moguće je i odrediti položaj vojnika u odnosu na ogradu ili krov kuće. Međutim, i na ovoj slici se postavlja pitanje koji su delovi topliji a koji sjajnije. Za vojnika je to jednostavno utvrditi, ali krov kuće ili neki drugi objekat nisu definisani.

Slika 5.28 dobijena metodom predstavljenom u [56] daje informaciju o tome da je vojnik vidljiv u termovizijskoj slici i kao topliji od scene prikazan je crvenom bojom kako bi se lakše uočio, ali je narušena prirodnost slike uz postojanje neadekvatnih boja scene. Pomenuti problemi su rešeni predloženim algoritmom, a čiji se rezultat sjedinjavanja nalazi na slici 5.29. Sjedinjena slika dobro ističe objekte prenete iz televizijske i termovizijske slike i čini ih jasno vidljivim iz razloga što su označeni crvenom bojom.



Slika 5.28. Kolor mapirana slika u RGB kolor kanalima.



Slika 5.29. Sjedinjena slika predloženim HSVKM algoritmom.

### 5.3. Analiza rezultata

Metode za sjedinjavanje kolor video sekvenci ispitane su na bazama kolor televizijskih i monohromatskih termovizijskih sekvenci, što je i najveći slučaj u multisenzorskim sistemima, ako se vrši akvizicija u dnevnim uslovima i u uslovima smanjene osvetljenosti. Ovakvi multisenzorski sistemi su veoma zastupljeni u svim oblastima i mogu biti od ručnih za osmatranja na manjim daljinama (slika 5.30), do težine preko 100kg za veće daljine i platforme koje se montiraju na letelice, brodove ili stubove na većim visinama. Primeri ovakvih multisenzorskih sistema dati su na slici 5.31.



Slika 5.30. Ručni multisenzorski sistemi.



Slika 5.31. Multisenzorski sistemi za osmatranje na većim daljinama.

Termovizijske kamere mogu dati i kolor sliku na kojoj su temperaturne razlike predstavljene različitim nijansama boje. Međutim ovakva predstava bi u sjedinjavanje unela totalni

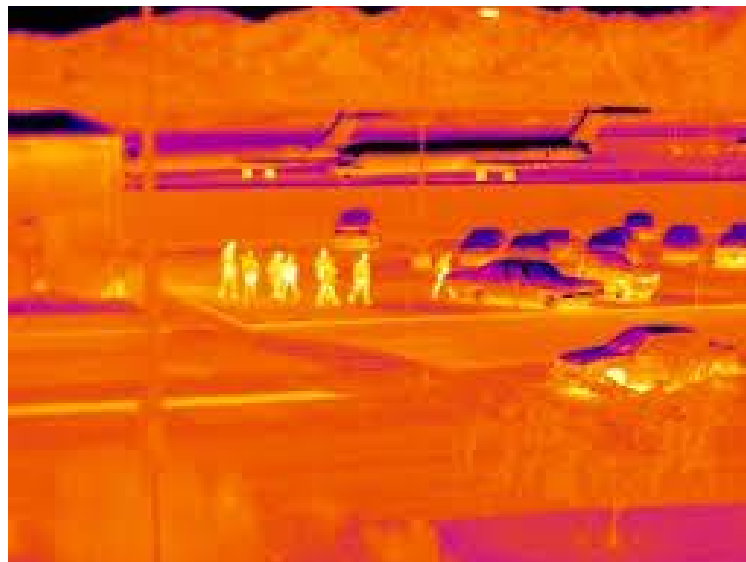
## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

---

disbalans prirodnosti boja i ne koristi se u kolor sjedinjavanju. Primeri kolor termovizijske slike dat je na slikama 5.32 i 5.33 (izvor [www.flir.com](http://www.flir.com)). Slika 5.32 predstavlja snimak scene sa čovekom i automobilom napravljenom sa letelice. U gornjem desnom gornjem uglu se nalazi temperatura tačke u sredini slike označene sa krstićem, dok je na desnoj strani slike bar sa bojama u temperaturnom opsegu. Još jedna kolor termovizijska slika prikazana je na slici 5.33 sa scenom vojnog aerodroma.



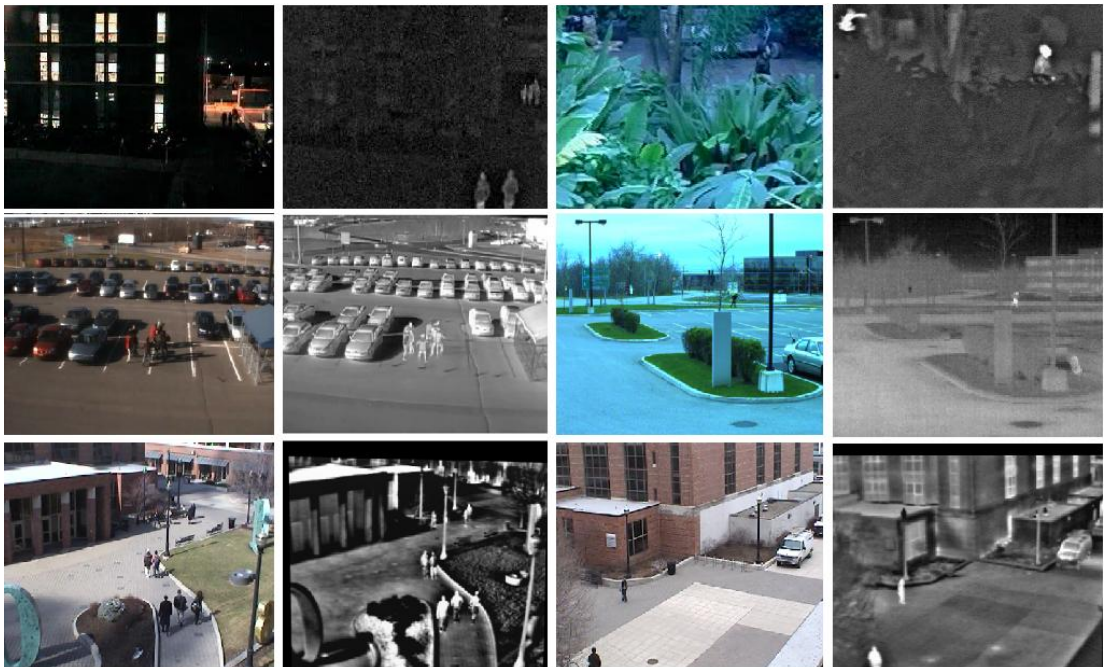
Slika 5.32. Slika merne kolor termovizijske kamere.



Slika 5.33. Slika kolor termovizijske kamere.

### 5.3.1. Analiza kolor sjedinjavanja na bazi 1

Prva baza kolor i monohromatskih sekvenci za video sjedinjavanje prikazana je na slici 5.34. Baza se sastoji od poznatih video sekvenci u multisenzorskom sjedinjavanju sa različitih izvora. Veći deo baze je već bio korišćen za monohromatsko dinamičko sjedinjavanje. Sekvenca 1 je već pomenuta gradska sekvenca u veoma smanjenim uslovima vidljivosti i sa većim nivoom šuma. Pozadina je zgrada sa ulicama i uličnim svetlom, dok su pokretni objekti pešaci i u delu scene automobili. Druga sekvenca je već poznata EDEN sekvenca sa čovekom koji se kreće iza visokog rastinja i slabije uočljiv na televizijskoj kameri zbog maskiranosti. Treća sekvenca je parking sa automobilima. Pokretni objekti na sceni su ljudi koji simuliraju tuču. Četvrta sekvenca je park sa čovekom koji trči i gotovo je neuočljiv na televizijskoj slici. Sekvencu još karakteriše i smanjena vidljivost, a samim tim i veći nivo šuma. Peta i šesta sekvenca su već poznate i predstavljaju kretanje pešaka ispred zgrada u gradskoj sredini.



Slika 5.34. Baza 1 za sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika.

Metode za sjedinjavanje kolor slika koje su uzete u analizu za subjektivne i objektivne testove su najčešće korišćena HSV kolor metoda [155] (sjedinjavanje u kanalu intenziteta Laplasovom piramidom [8]) beta metoda i beta poboljšana metoda. Treba napomenuti da se veoma često u literaturi koristi sjedinjavanje DWT ali smo videli da je ova metoda dosta



nestabilnija od Laplasove piramide. Prikaz po jednog frejma sjedinjenih sekvenci iz pomenute baze dat je na slici 5.35. Redosled metoda za sjedinjavanje je po kolonama je HSV sjedinjavanje, beta metoda i beta poboljšana metoda za sjedinjavanje respektivno.

Za razliku od sjedinjavanja monohromatskih video sekvenci, gde su određene metode bile dominantne i gde je redosled bio skoro isti kroz sekvence, pri kolor sjedinjavanju vizuelno gledano u zavisnosti od scenarija metode se različito ponašaju. Upravo ovakav izbor baze može da pokaže prednosti i mane određenih metoda za kolor sjedinjavanje.

Na prvoj sekvenci sjedinjavanje beta metodom daje najlošije rezultate od izabranih metoda iz razloga što samo sjedinjavanje u kolor kanalu, kada je kanal intenziteta nizak ne može da istakne objekte od interesa. Beta poboljšana metoda daje jasnije rezultate i vide se objekti iz obe ulazne slike. Ova metoda, kao i HSV sjedinjavanje odlikuju se i većim nivoom šuma.

Druga sekvenca, koja je znatno realnija za korišćenje multisenzorskih sistema na malim daljinama ističe sjedinjavanje beta metodom i beta poboljšanom metodom. HSV metoda prikazuje na prvi pogled manje uočljive objekte i potrebno je veće vreme za detekciju. Sjedinjavanje u beta kanalima jasno ističe razliku u temperaturi čoveka koji se kreće i okoline u vidu nijansi crvene boje što smanjuje vreme detekcije. Obe metode daju slične rezultate i na samim subjektima je da se odluče koja je metoda prirodnija.

Treća sekvenca daje približno slične rezultate. Ljudi na sceni su vidljivi u obe ulazne sekvence i njihovo sjedinjavanje daje vidljive rezultate na sve tri izabrane metode. Što se tiče prirodnosti sjedinjene kolor slike ona je malo lošija na beta poboljšanoj metodi.

Četvrta sekvenca prikazuje slabije uočljivog čoveka koji trči na obe ulazne sekvence, a posebno na televizijskoj. Najbolje rezultate daje beta poboljšana metoda koja se na ovoj sekvenci odlikuje sa prirodnošću i isticanjem objekata. Prirodnost televizijske slike zadržana je u velikoj meri i kod sjedinjavanja beta metodom.

Manje prirodna scena kod HSV sjedinjavanja najviše je uočljiva na poslednje dve sekvence. Veći uticaj toplijih objekata iz termovizijske slike doveo je do gubitka visokih frekvencija sadržanih u televizijskoj slici kod ove metode. Iako su objekti uočljiviji kod beta poboljšane metode i ovde je izražen gubitak prirodnosti zbog dodatnog isticanja detalja iz termovizijske slike. Najprirodnije i najuspešnije sjedinjavanje za ove dve sekvence je beta metoda.

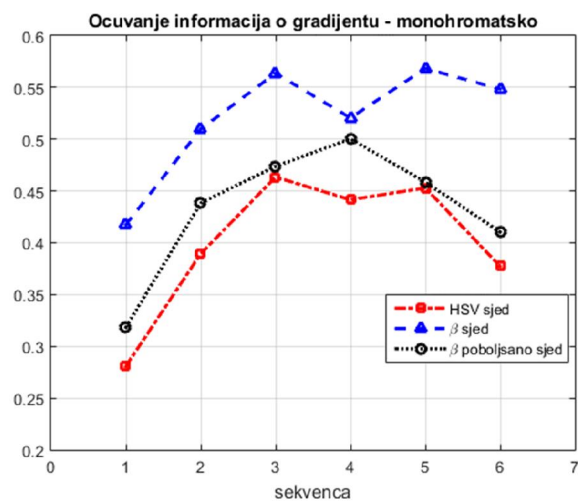
## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



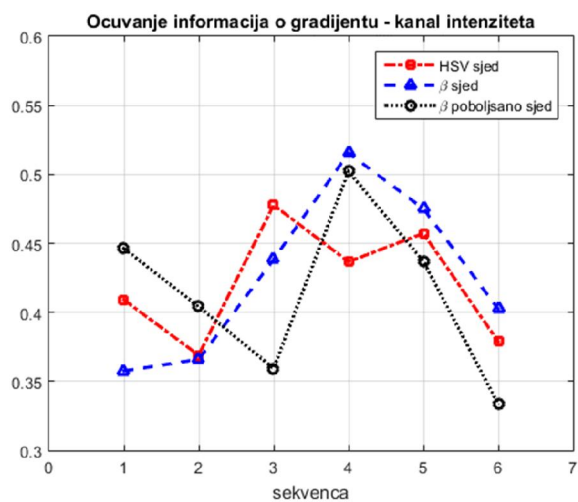
Slika 5.35. Sjedinjene slike iz baze 1 metodama HSV sjedinjavanje, beta sjedinjavanje i beta poboljšana metoda za sjedinjavanje po kolonama respektivno.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

Mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor sekvenci prikazane su u poglavlju 6 i za analizu su uzete dve mere.  $MChQ$  [160] mera za kolor sjedinjavanje zasnovana je na očuvanju prenesenih informacija iz monohromatske slike u svaki od kolor kanala RGB kolor sistema i bazirana je na očuvanju gradijenata  $Q$  [90] za monohromatske slike. Sledeće mera je  $CQ$  [160] koja koristi očuvanje kolor informacija u HSV kolor sistemu i to očuvanje kolora u H i S komponentama, dok očuvanje monohromatskih informacija bazira na kanalu intenziteta. Mera za očuvanje monohromatskih informacija i u ovom slučaju je  $Q$  mera. Vrednosti mere  $Q$  za monohromatske ulazne i sjedinjene video sekvence date su na slici 5.36, dok su rezultati mere  $Q$  za kanale intenziteta dati na slici 5.37.



Slika 5.36. Rezultati mere  $Q$  za očuvanje monohromatskih informacija.

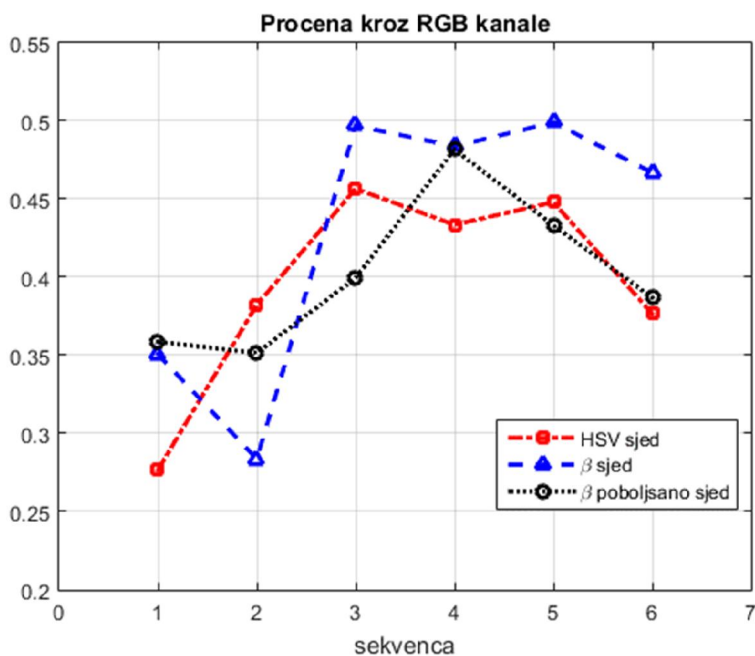


Slika 5.37. Rezultati mere  $Q$  za očuvanje informacija u kanalu intenziteta.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

Poređenjem prenesenih monohromatskih informacija iz ulaznih u sjedinjene sekvence vidi se da je u svim sekvencama redosled isti. Najbolje rezultate daje sjedinjavanje beta metodom, zatim beta poboljšanom metodom sjedinjavanje i nešto malo lošije sjedinjavanje HSV metodom. Poređenje u kanalu intenziteta je sasvim drugačije i zavisi od sekvence do sekvence. U kanalu intenziteta u tri poslednje sekvence prednjači beta metoda, dok je u prvoj i drugoj sekvenci beta poboljšano sjedinjavanje najbolje. U trećoj sekvenci najbolje rezultate u kanalu intenziteta daje HSV sjedinjavanje. Najveće slaganje metoda po ovom kriterijumu je u drugoj, petoj i šestoj sekvenci, dok je najmanje slaganje u prvoj i trećoj sekvenci.

Ukupni rezultat sjedinjavanja mere  $MChQ$  kroz sekvence prikazan je na slici 5.38. Sa slike se vidi da u zavisnosti od sekvence postoji veća razlika u vrednostima mere za pojedine metode. Ovakav pristup analizi je efikasniji kod kolor sjedinjavanja jer ukupan rezultat za celu bazu može biti sličan a da postoje veće razlike u scenarijima i primeni odgovarajućih tehnika sjedinjavanja kolor sekvenci. Uočava se da nema ni jedne metode koja je dominantna i da daje najbolje rezultate.



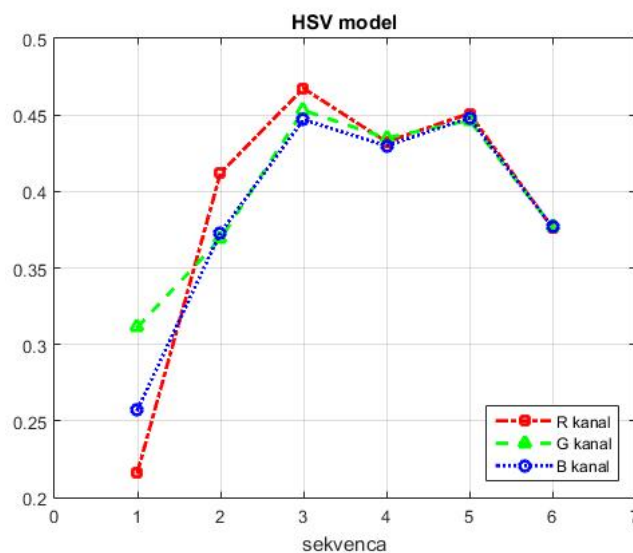
Slika 5.38. Rezultat mere  $MChQ$  za kolor metode HSV, Beta i Beta poboljšano sjedinjavanje.



## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

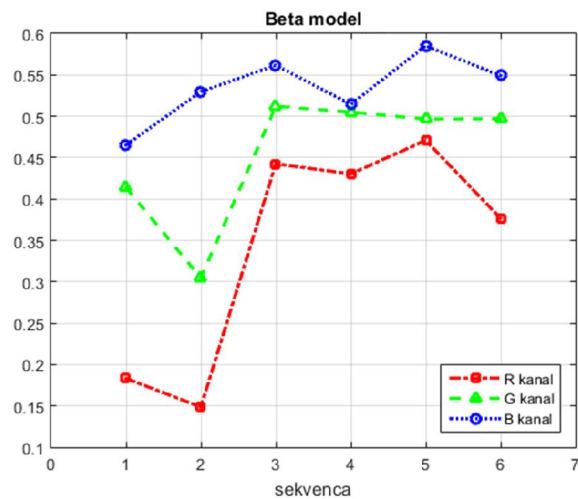
Za prvu sekvencu najbolji rezultati su u beta unapređenoj metodi, nešto malo lošiji kod HSV metode i dosta slabiji kod sjedinjavanja beta metodom. Ovo se u principu i poklapa sa subjektivnom analizom. Kod druge sekvence prednjači HSV kolor sjedinjavanje u odnosu na ostale metode i to je jedino slučaj na ovoj sekvenci. Kod ostalih sekvenci najbolje rezultate daje beta metoda sjedinjavanja i redosled je isti osim kod četvrte sekvence gde je drugo rangirana beta poboljšana metoda za sjedinjavanje. Ovo je i očekivano jer se kod četvrte sekvence čovek koji trči i najbrže uočava kod beta poboljšanog sjedinjavanja.

Takođe, razmatrano je i očuvanje gradijenata kroz pojedine kolor kanale RGB kolor sistema (slike 5.39 do 5.41) za metode sjedinjavanja kolor sekvenci. Što se tiče HSV sjedinjavanja rezultati su gotovo identični kroz sve kolor kanale i jedino je manja razlika kod prve sekvence, dok je kod poslednje tri sekvence isti rezultat (slika 5.39). Kod beta metode sjedinjavanja uočava se velika razlika gledajući kroz RGB kanale i najveća sličnost je u B kanalu, odnosno najveća očuvanost je kroz plavi kanal, dok je najmanja u crvenom R kanalu (slika 5.40). Ovo je i očekivano jer se sjedinjavanje izvodi kroz beta kanal koji predstavlja crvenu i zelenu boju i gde se sjedinjavanjem ovi kanali i menjaju. Prevažodno je to crveni kanal na koji se ima i najveći uticaj i vidljiva je razlika u izvornoj kolor i sjedinjenoj slici. Slično je pravilo i kod beta poboljšanog sjedinjavanja (slika 5.41).

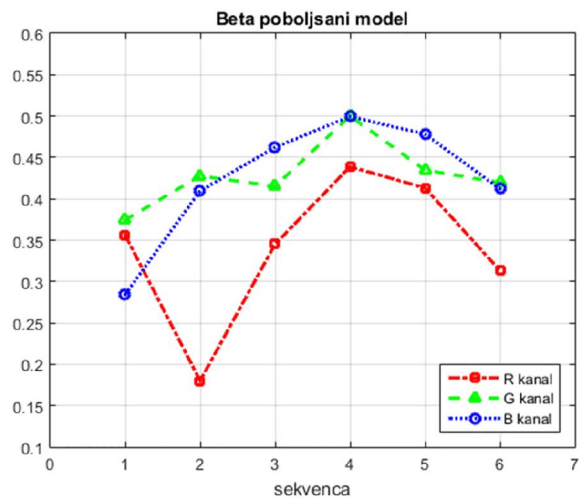


Slika 5.39. Očuvanje gradijenata kroz pojedine kolor kanale RGB za HSV metodu sjedinjavanja.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



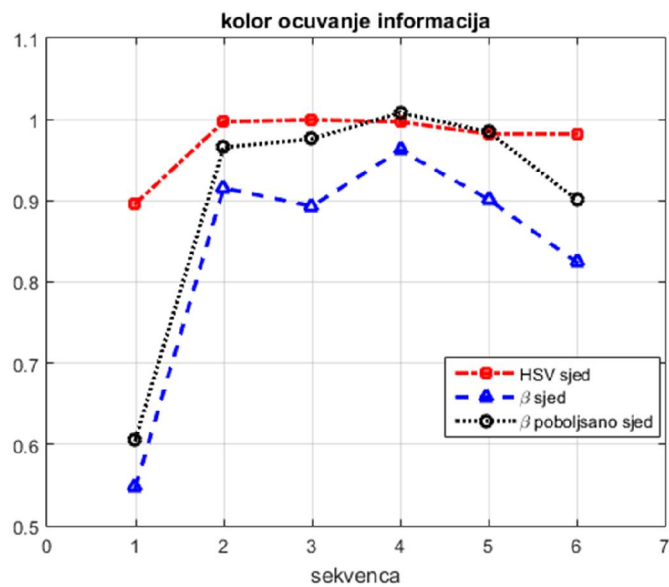
Slika 5.40. Očuvanje gradijenata kroz pojedine kolor kanale RGB za beta metodu sjedinjavanja.



Slika 5.41. Očuvanje gradijenata kroz pojedine kolor kanale RGB za beta poboljšanu metodu sjedinjavanja.

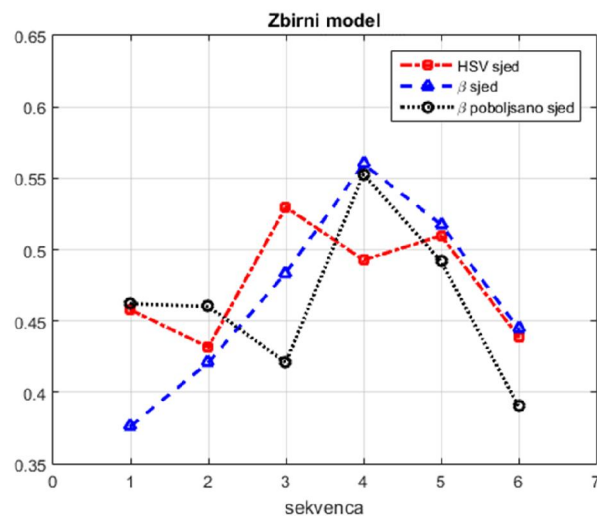
Druga mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja  $CQ$  koristi odvojeno uspešnost prenosa monohromatskih informacija (intenziteta) i kolor informacija u HSV kolor sistemu. Komponenta intenziteta je već analizirana, dok je kolor komponenta prikazana na slici 5.42. Sa slike se vidi da je najveće očuvanje samo kolor komponente na HSV metodi, tj. najmanje je narušavanje prirodnosti ulazne kolor slike. Posebno se uočava veća razlika kod prve sekvence, mada ona nije bogata kolor sadržajima. Jedino kod četvrte sekvence beta unapređena metoda ima najbolje očuvanje kolor informacija. Što se tiče beta metode ona je najlošija za sve sekvence.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



Slika 5.42. Rezultati mere  $CQ$  za očuvanje kolor informacija.

Rezultati mere za sjedinjavanje kolor video sekvenci  $CQ$  dati su na slici 5.43. Slično kao kod prethodne mere i ovde redosled uspešnosti sjedinjavanja nije isti za sve sekvence. Najveće slaganje dveju mera je kod prve i četvrte sekvence, gde su vrednosti i redosled skoro identični. Prema meri  $CQ$  za drugu sekvencu najbolji rezultati sjedinjavanja su na beta poboljšanoj metodi, što se više i slaže sa subjektivnom analizom. Sjedinjavanje u trećoj sekvenci je prema meri najuspešnije kod HSV metode, što isto odgovara subjektivnoj analizi, dok se kod ostalih sekvenci rezultati slični sa prethodnom merom.



Slika 5.43. Rezultat mere  $CQ$  za kolor metode HSV, Beta i Beta poboljšano sjedinjavanje.

### 5.3.2. Analiza kolor sjedinjavanja na bazi VTI

Za analizu sjedinjavanja kolor sekvenci iskorišćena je i baza koja je nastala tokom dosadašnjeg istraživanja (baza VTI). Za razliku od baze koje je služila za analizu monohromatskih metoda za sjedinjavanje video sekvenci, u ovom slučaju korišćena je kolor televizijska i monohromatska termovizijska sekvenca. Sadržaj što se tiče scene i aktivnosti je identičan i prikazan je na slikama 5.44 do 5.46. Sekvence su razdvojene prema udaljenosti od kamere na tri nivoa – bliska scena (slika 5.44), srednja scena (slika 5.45) i daleka scena (slika 5.46)

Rezultati sjedinjavanja na bazi VTI sa slike sa metodama HSV, beta metodom i beta poboljšanom metodom sa redosledom po kolonama dati su na slikama 5.47 do 5.49.



Slika 5.44. Slike iz baze VTI bliske scene.

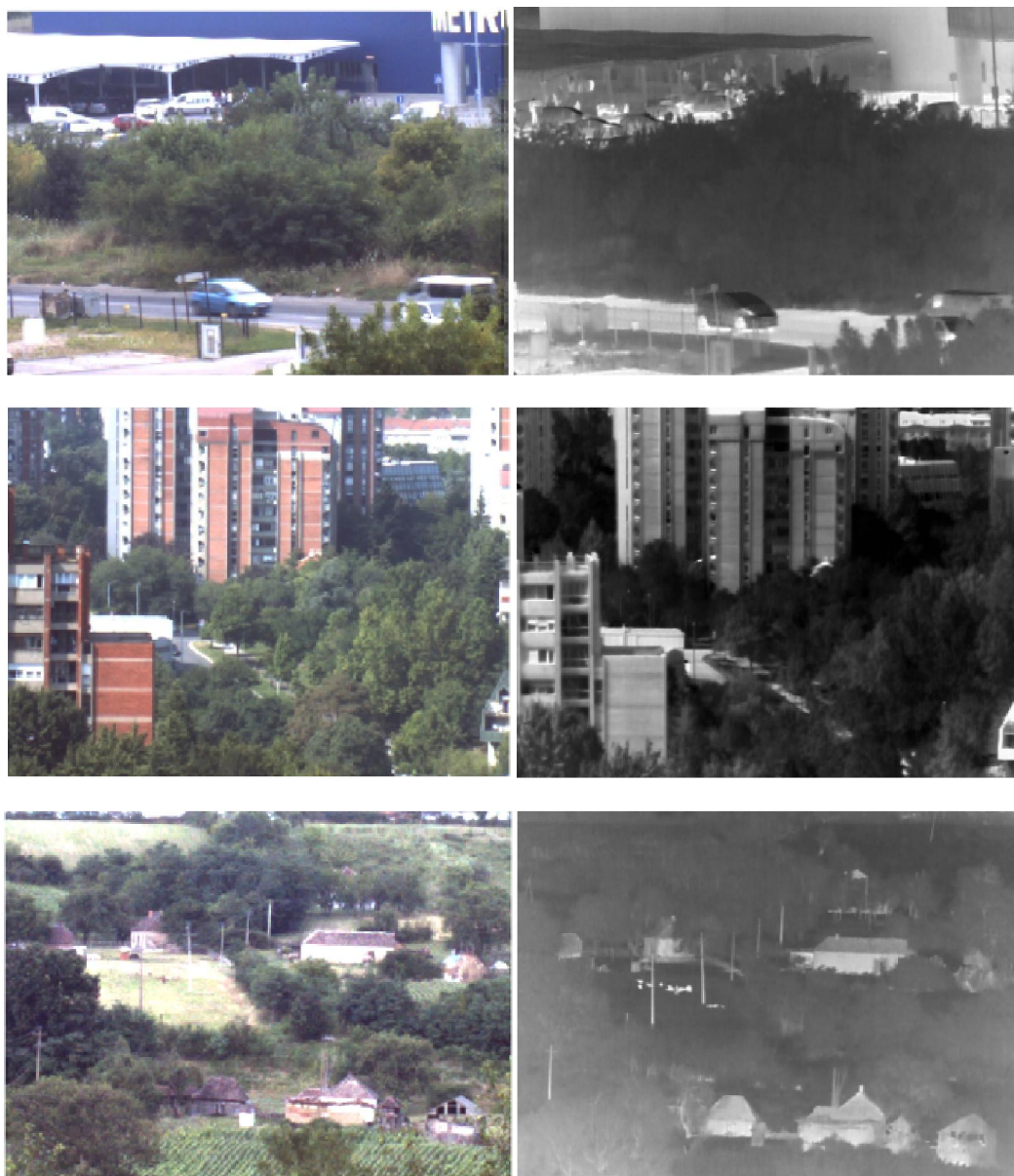
Sekvence koje pokazuju blisku scenu do nekoliko desetina metara (slika 5.47) sjedinjavanjem u sve tri tehnike daju veoma dobre rezultate. Kod sekvence va1 čovek koji je maskiran u odnosu na okolinu vidi se u sve tri sjedinjene slike. U HSV i beta poboljšanoj



## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

---

metodi on je uočljiviji nego kod beta metode jer je većeg nivoa osvetljenosti u odnosu na okolinu. U beta metodi sjedinjavanja iako je manje uočljiviji u odnosu na ostale tehnike on je crvene boje i vidi se da je to potencijalni cilj koji dolazi sa termovizijske kamere. Očuvanost prirodnosti boja iz televizijske slike je kod svih metoda velika. Slično važi i za sekvencu uprava, samo što je u ovom slučaju nešto manja očuvanost kolor informacija televizijske slike.



Slika 5.45. Slike iz baze VTI srednje udaljenosti.



**Slika 5.46.** Slike iz baze VTI daleke scene.

Sjedinjene sekvence srednje udaljenosti do oko 1km (slika 5.48) i dalje prikazuju jasno objekte koje su od interesa (automobili, ljudi). Jasno se svi objekti i visoke frekvencije uočavaju na svim sjedinjenim slikama. Kod sekvence selo, scena je nešto svetlija i objekti koji se prenose sa termovizijske slike koje treba preneti u sjedinjenu su manje uočljivi. Kod HSV metode sjedinjavanja pozadina je nešto tamnija pa su preneti objekti uočljiviji nego kod druge dve metode. Sekvence dalje scene od preko 1km (slika 5.49) prikazuju objekte koji su veoma slabo uočljivi na obe ulazne slike. Kod sekvence avion, ako posmatramo avion

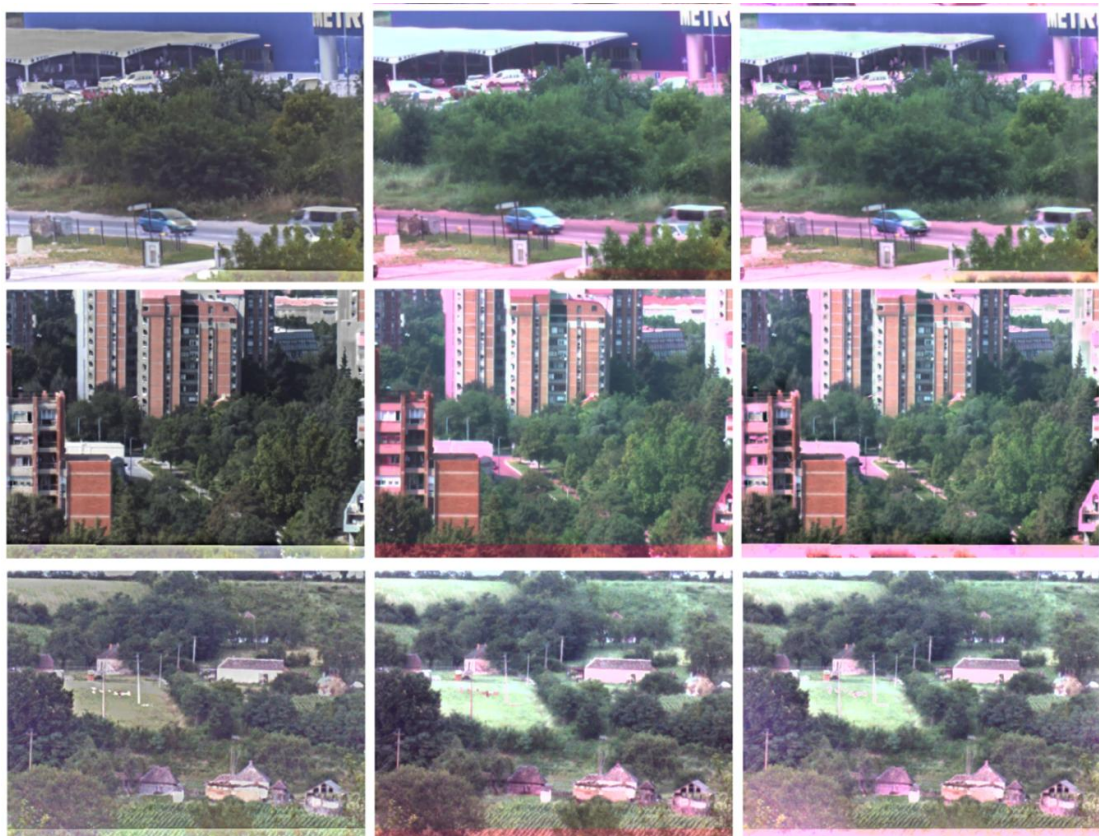


## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

kao objekat od interesa na sjedinjenim slikama je jasno uočljiv kod HSV i beta poboljšane tehnike. Kod beta metode sjedinjavanja avion se vidi kao i na televizijskoj slici i slabo su prenesene informacije iz termovizijske slike. Deo slike koji prikazuje avion izdvojeni su na slici 5.50 kako bi se jasnije prikazao opis metoda. Prirodnost sjedinjavanja je međutim kod beta metode najviše zadržana u odnosu na ostale dve tehnike. Kod beta poboljšane metode uočljivi su i artefakti oko zgrada.



Slika 5.47. Sjedinjene slike bliske scene iz baze VTI – prvi red HSV metoda, drugi red beta metoda i treći red beta poboljšana metoda.



Slika 5.48. Sjedinjene slike srednje scene iz baze VTI – prva kolona HSV metoda, druga kolona beta metoda i treća kolona beta poboljšana metoda.

Metode kolor sjedinjavanja i na ovoj bazi ispitane su objektivnim metodama za procenu kolor sjedinjavanja  $MChQ$  i  $CQ$ . Redosled sekvenci odgovara tabeli 3.6. Najpre je izvršena analiza merom  $Q$  za sjedinjavanje monohromatskih slika u kanalu intenziteta i monohromatskog sjedinjavanja. Rezultati mere na sjedinjavanju u kanalu intenziteta HSV kolor sistema dati su na slici 5.51 levo. Uočava se da su rezultati mere u većini sekvenci slični osim kod poslednje dve sekvence gde beta poboljšana metoda daje dosta lošije rezultate po ovom kanalu. Kod sekvence avion u kanalu intenziteta najbolje rezultate daje HSV metoda. Kod prve i druge sekvence redosled metoda je isti i najbolje je beta sjedinjavanje, zatim beta poboljšano sjedinjavanje i na kraju HSV metoda.

Uspešnost monohromatskog sjedinjavanja prikazano je na slici 5.51 desno i vidi se da je redosled tehnika sjedinjavanja isti kroz sve sekvence. Najbolje rezultate daje beta metoda, zatim beta poboljšana metoda i najlošije HSV metoda.



## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



Slika 5.49. Sjedinjene slike daleke scene iz baze VTI – prva kolona HSV metoda, druga kolona beta metoda i treća kolona beta poboljšana metoda.

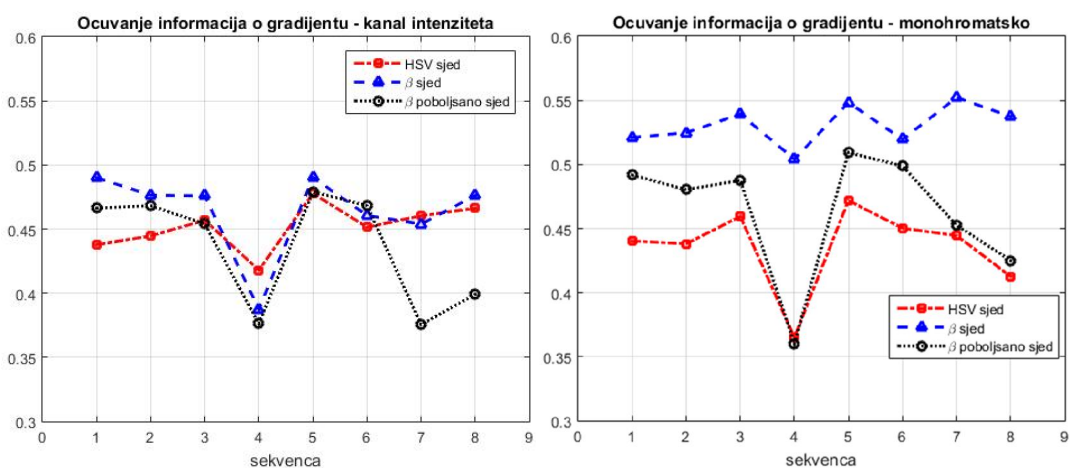


Slika 5.50. Uvećan deo iz sekvence avion iz baze VTI – HSV metoda, beta metoda i beta poboljšana metoda redom.

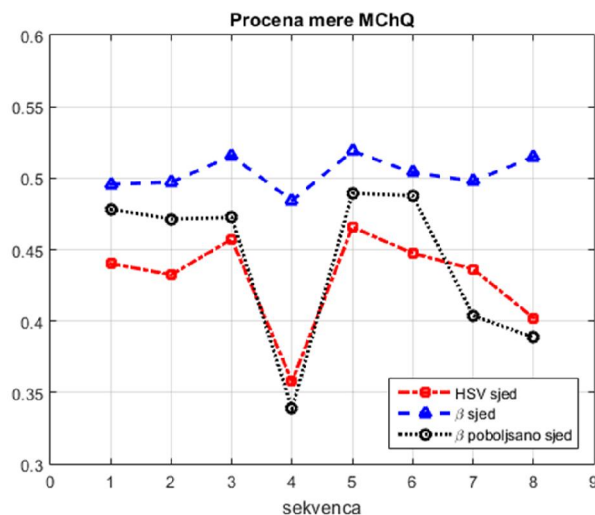
Rezultati mere  $MChQ$  po sekvencama prikazani su na slici 5.52. Za razliku od prethodne baze gde je redosled uspešnosti metoda prema ovoj meri bio različit, ovde je na svim sekvencama najuspešnije beta sjedinjavanje. Druga po redu je beta poboljšana metoda osim na sekvencama 4, 7 i 8. Ovo je i očekivano jer pored uočenih izobličenja kod 4. sekvence,

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

vide se i lošiji rezultati beta poboljšane metode kod daljih scena. Beta metoda sjedinjavanja pored nedostataka koje ima zadržava visoku prirodost kolor informacija iz ulaznih u sjedinjenu sliku.



Slika 5.51. Rezultati monohromatske mere  $Q$  na kanalu intenziteta i monohromatskom sjedinjavanju.

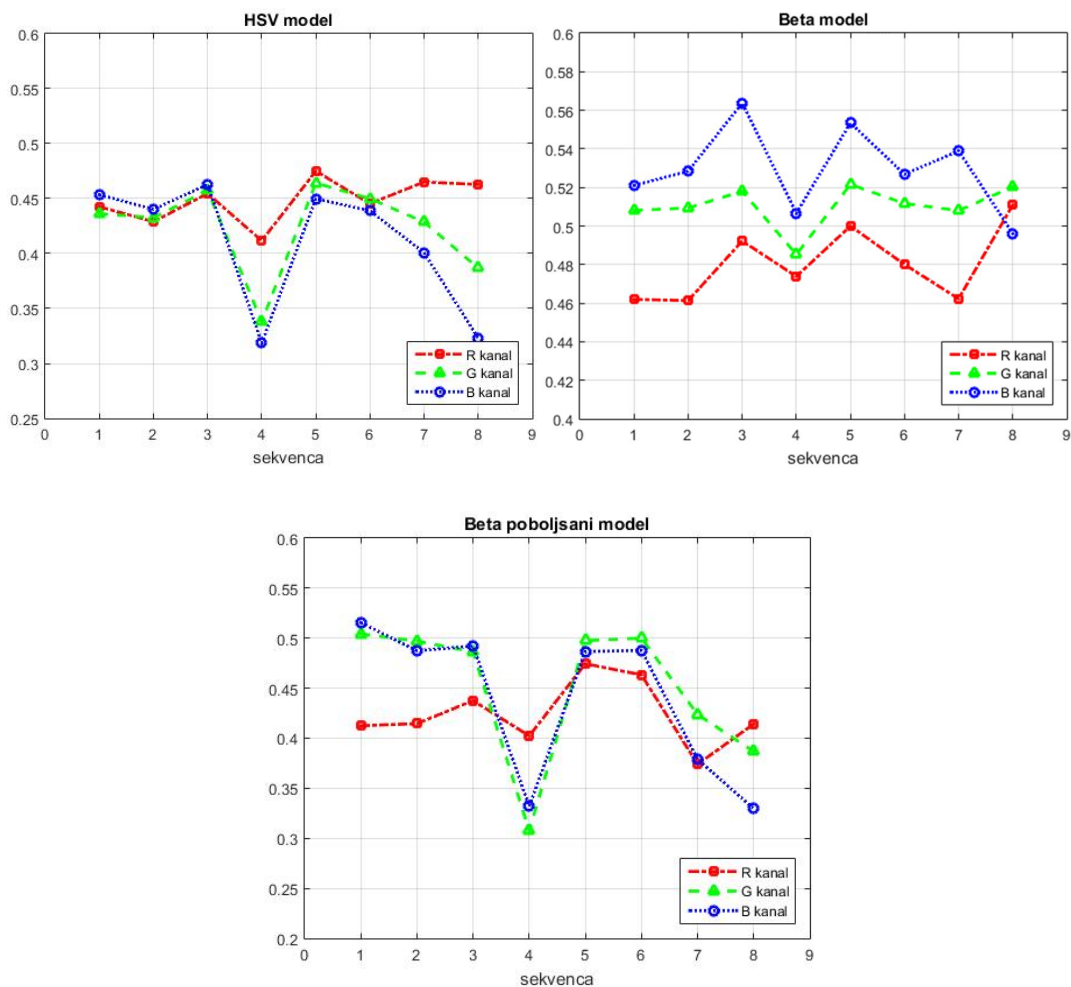


Slika 5.52. Rezultati mere  $MChQ$  na bazi VTI po sekvencama.

Rezultati očuvanja gradijentnih informacija kroz R, G i B kanale RGB kolor sistema dati su na slici 5.53. HSV kolor metoda sjedinjavanja daje gotovo identične rezultate po kanalima za metode bliže i srednje daleke scene, dok je kod daleke scene razlika po kanalima. Najveće očuvanje gradijenata za daleku scenu je u crvenom kanalu, dok je najlošije u plavom kanalu. Kod beta metode sjedinjavanja najuspješnije je sjedinjavanje u plavom kanalu, dok je najlošije u crvenom kanalu, osim kod poslednje sekvence gde je ovaj redosled zamenjen. Kod beta

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

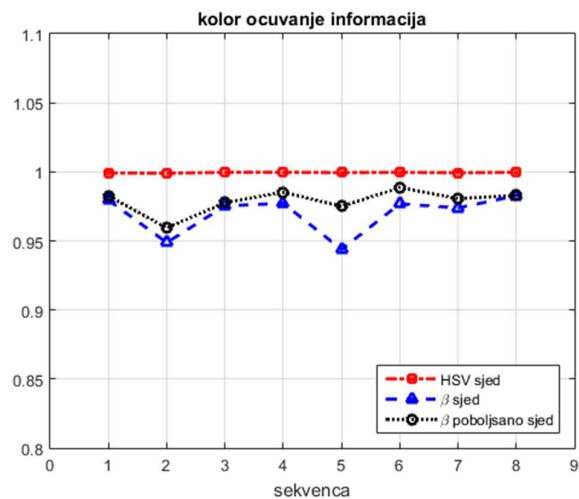
poboljšane metode sjedinjavanja kod bliže i srednje udaljene scene plavi i zeleni kanal daju identične rezultate sjedinjavanja i uspješniji su od crvenog. Kod dalje scene plavi kanal daje nešto lošije rezultate. Razlog tome je slabije zadržavanje plave komponente boje neba koje zauzima značajan deo scene.



Slika 5.53. Očuvanje gradijenata mere  $MChQ$  kroz pojedine kolor kanale RGB za HSV, beta i beta poboljšanu metodu sjedinjavanja.

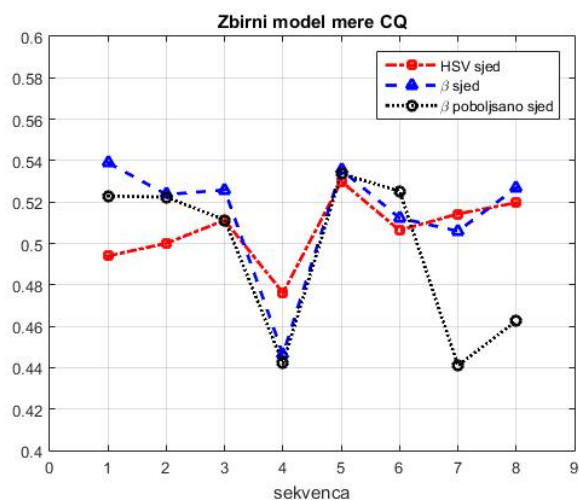
Za procenu uspešnosti sjedinjavanja merom  $CQ$  potrebno je gledati odvojeno hromatsko i monohromatsko očuvanje gradijentnih informacija. Očuvanje hromatskih informacija po sekvencama dato je na slici 5.54. HSV metoda daje veoma visoko hromatsko očuvanje i konstantno je kroz sve sekvence. Druga po redu je beta poboljšana metoda, dok nešto slabije rezultate daje beta metoda. Iako su metode rangirane, zaključuje se da je veoma mala razlika u očuvanju hromatskih informacija.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



Slika 5.54. Kolor očuvanje informacija po meri  $CQ$  za kolor metode sjedinjavanja na bazi VTI.

Rezultati ukupne mere  $CQ$  po sekvencama dati su na slici 5.55. Sličan je zaključak kao i kod mere  $MChQ$ , gde su kod bliske i srednje daleke scene, metode beta i beta poboljšana daju bolje rezultate od HSV metode. Kod veoma bliske scene beta metoda daje najbolje rezultate u prvoj sekvenci i iste rezultate kao beta poboljšana metoda u drugoj sekvenci. Kod četvrte (avion) i sedme (obilaznica) sekvence najbolje rezultate daje HSV metoda za kolor sjedinjavanje. Kod daleke scene najlošija je beta poboljšana metoda. Kod pete sekvence (zgrada) su rezultati za sve tri metode gotovo identični, što i odgovara vizuelnoj analizi. Uočava se i veća razlika u uspešnosti sjedinjavanja kod poslednje dve sekvence (obilaznica i put) između beta i HSV sa jedne strane i beta poboljšane metode sa druge strane.



Slika 5.55. Zbirna mera  $CQ$  za kolor metode sjedinjavanja na bazi VTI.



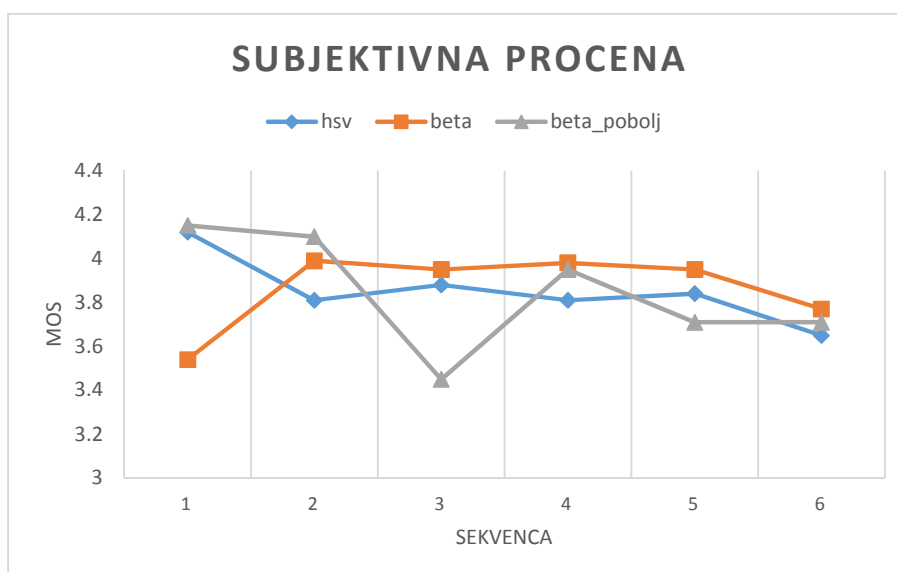
### 5.3.3. Subjektivna procena

U toku istraživanja izvršena je i subjektivna procena uspešnosti sjedinjavanja kolor metoda. Rađena su četiri testa na dve baze sa zadacima da se izvrši procena prenesenih informacija iz ulaznih u kolor sjedinjenu sekvencu i da se proceni prirodnost sjedinjene kolor sekvence.

#### *Subjektivni test 1*

Prvi test izveden je u prostorijama Vojnotehničkog instituta u zimskom periodu sa malim spoljašnjim osvetljenjem i uz korišćenje veštačkog svetla (neonske sijalice). Ukupno 12 subjekata imalo je zadatak da na 6 ulaznih kolor i monohromatskih sekvenci iz baze 1 i sa po tri sjedinjene kolor sekvence metodama HSV, beta i beta poboljšana metoda. Vreme testiranja neograničeno i bez uticaja spoljašnjih faktora. Zadatak je bio da ocene prenete informacije iz ulaznih sekvenci u sjedinjenu sekvencu. Ocena subjekata je na skali od 0 do 5 sa korakom od 0,1, gde granične vrednosti 0 znače totalni gubitak informacija, a 5 idealno sjedinjavanje.

Rezultati subjektivnog testa po sekvencama dati su na slici 5.56 i tabeli 5.1. Subjeki su ocenili beta metodu kao najuspešnijiu za sekvence od treće do šeste. Za prve dve sekvence bliske scene beta poboljšana metoda je najuspešnijia. U prvoj sekvenci najlošije rezultate daje beta metoda, što je u skladu sa analizom sjedinjenih slika i sa merom  $CQ$ . Subjeki su ocenili beta poboljšanu metudu i kao najlošijiu kod treće (metro) i sedme (obilaznica) sekvence zbog većeg kontrasta i neprirodnosti sjedinjene kolor sekvence.



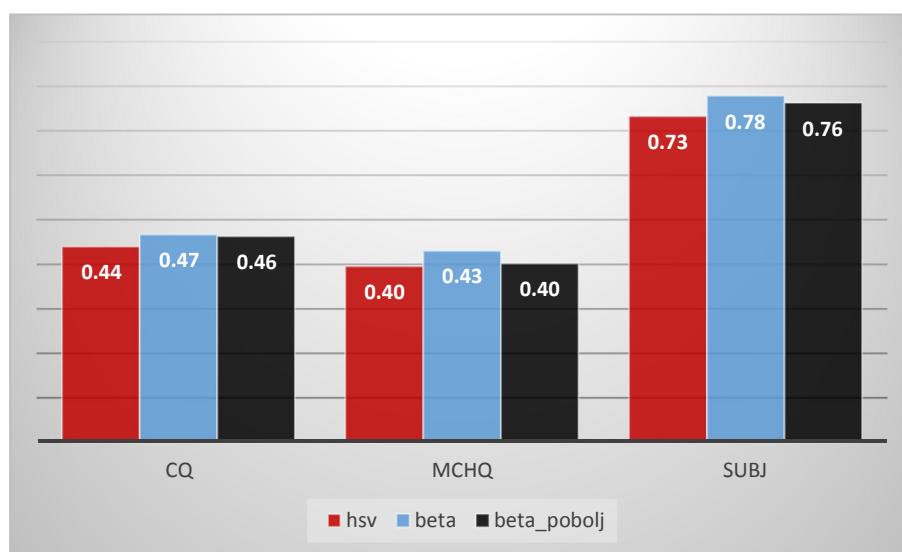
Slika 5.56. MOS subjektivnih testova na bazi 1 po sekvencama.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

Tabela 5.1. Rezultati subjektivnih testova 1 po sekvencama.

Metoda/ Sekvenca	HSV		Beta		Beta poboljšana	
	MOS	STD	MOS	STD	MOS	STD
Sekv1	4,12	0,17	3,54	0,19	4,15	0,21
Sekv 2	3,81	0,11	3,99	0,11	4,1	0,11
Sekv 3	3,88	0,18	3,95	0,09	3,45	0,16
Sekv 4	3,81	0,12	3,98	0,19	3,95	0,23
Sekv 5	3,84	0,09	3,95	0,17	3,71	0,12
Sekv 6	3,65	0,15	3,77	0,14	3,71	0,16

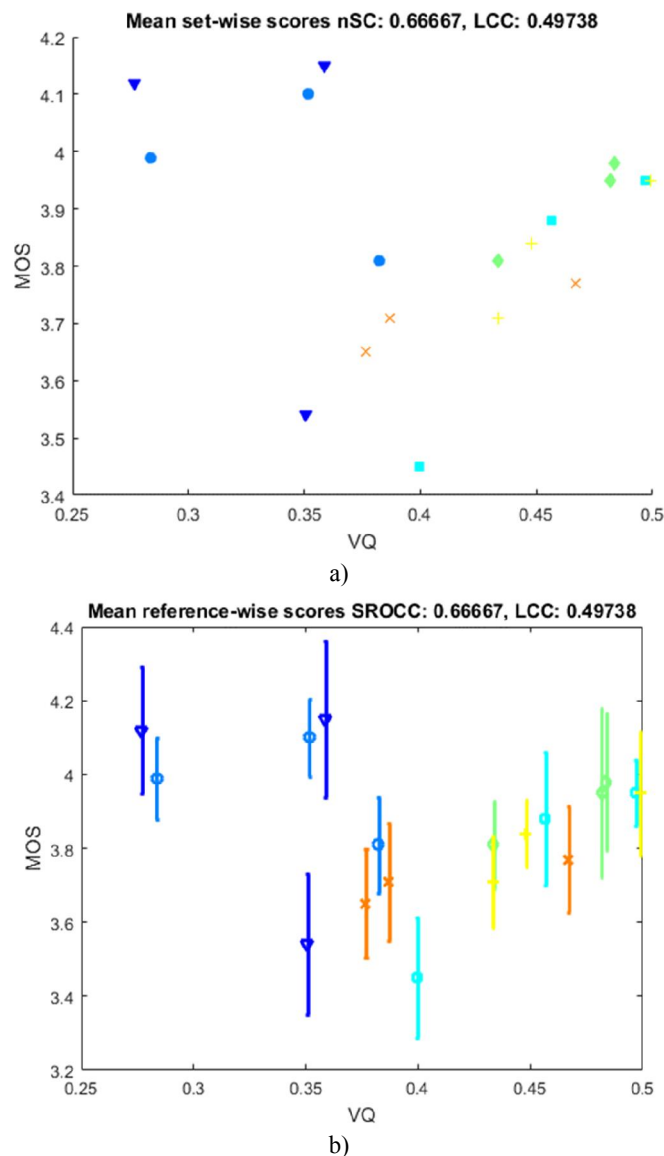
Poređenje ukupne vrednosti objektivnih mera i subjektivnih testova za prvu kolor bazu prikazani su na slici 5.57. Uočava se veoma mala razlika u vrednostima svih mera i teško je na osnovu ukupne vrednosti proceniti koja je metoda uspešnija. Analiza po scenarijima daje dosta objektivnije rezultate i primenu pojedinih kolor metoda za sjedinjavanje. Ovo je rezultat raznolikosti scenarija, odnosno da ni jedna metoda ne daje apsolutno najbolje rezultate na svim scenama. Pri definisanju metode za sjedinjavanje potrebno je najpre analizirati scenu koja se posmatra i na taj način odrediti koja će metoda biti najkorisnija u tom slučaju.



Slika 5.57. Rezultati mera *CQ*, *MChQ* i subjektivnih testova na bazi 1.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

Uporedna analiza subjektivnih testova i objektivne mere  $MChQ$  data je na slicici 5.58. Na slici 5.58a nalazi se prikaz parova subjektivne i objektivne mere za svaku ulaznu sekvencu (označene različitim oblicima) i metodu sjedinjavanja. Uočava se da prve dve sekvence koje su obeležene plavim krugovima i obrnutim trouglovima daju neslaganje subjektivnih testova i objektivne mere  $MChQ$ . Ovo su sekvence sa pojačanim šumom na termovizijskim slikama. Slika 5.58b pokazuje iste parove kao na prethodnoj, stim što su ovde prikazane i standardne devijacije odgovora subjekata za pojedine metode u testu.

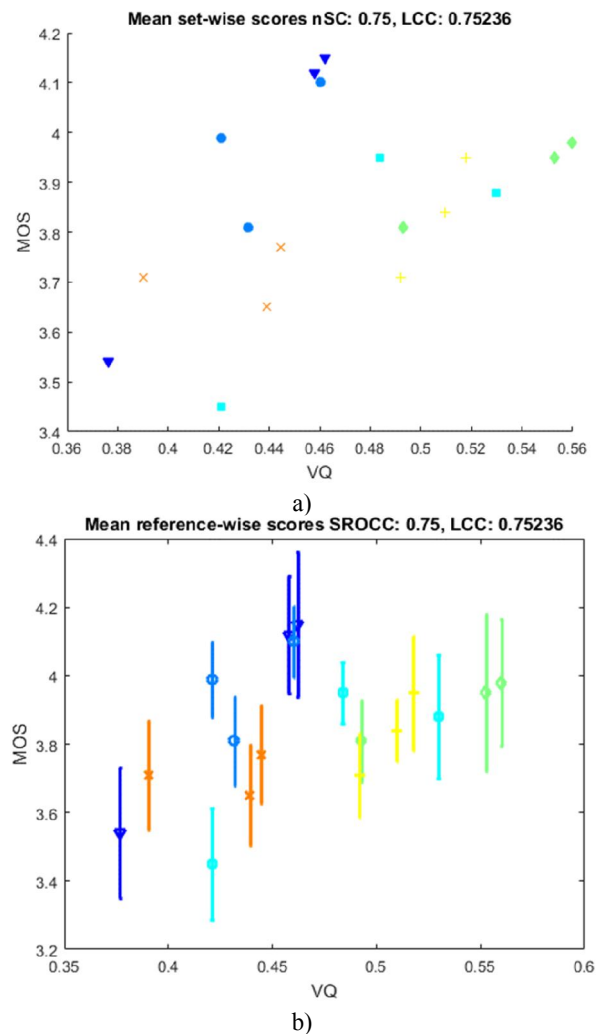


Slika 5.58. Prikaz a) rezultata subjektivnih i objektivne mere  $MChQ$  sa b) standardnim devijacijama po sekvencama za bazu 1.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

Pored vizuelnih informacija, sa dijagrama se vidi i numerička usaglašenost subjektivnih i objektivnih testova mere *MChQ*. *SROCC* vrednost je 0.67 gledajući po referencama, dok *LCC* parametar iznosi 0.5.

Poređenje je izvršeno i za meru *CQ* sa istim subjektivnim testom i rezultati su dati na slici 5.59. Poredeći dve mere za objektivnu procenu uspešnosti sjedinjavanja vidi se da je mera *CQ* približnija subjektivnim testovima. Za razliku od mere *MChQ*, mera *CQ* je veoma dobro korelisana na prvoj sekvenci. Isto tako dosta dobra korelacija je i kod četvrte i pete sekvence. Kod druge, treće i šeste sekvence uočava se malo slabija korelisanost subjektivnih testova i mere *CQ*. Takođe, metrike za procenu usaglašenosti *SROCC* i *LCC* za *CQ* metodu su veće i iznose 0.75 u oba slučaja, što predstavlja relativno visoku korelaciju.



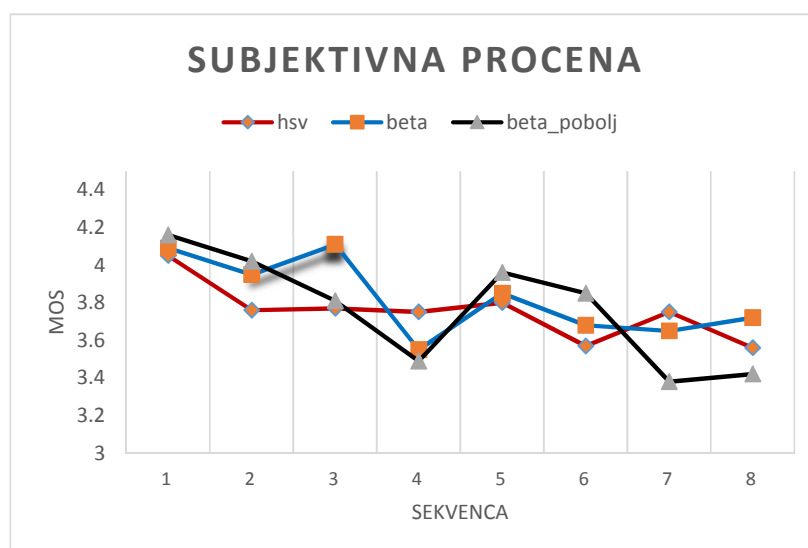
Slika 5.59. Prikaz rezultata a) subjektivnih i objektivne mere *CQ* i b) sa standardnim devijacijama po sekvencama za bazu 1.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

### *Subjektivni test 2*

Drugi test je rađen na Vojnotehničkom institutu u kancelarijskim uslovima i sa dnevnim svetlom. Oprema za test je ista kao i kod subjektivnog testa 1. Subjekti (14 lica) su imali zadatak da na bazi od 8 sekvenci iz baze VTI koje pokrivaju više različitih scena i scenarija tako da je moguće odrediti primenu metoda na svim scenarijima. Zadatak subjekata je bio da ocene uspešnost prenetih informacija iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu. Subjektima su date instrukcije pre pristupa testiranju. Vreme testa je neograničeno, kao i broj ponavljanja svake sekvence. Ocena za svaku metodu je od 0 do 5, gde nula znači totalan gubitak, a ocena 5 prenete sve informacije iz obe ulazne sekvence (idealni slučaj).

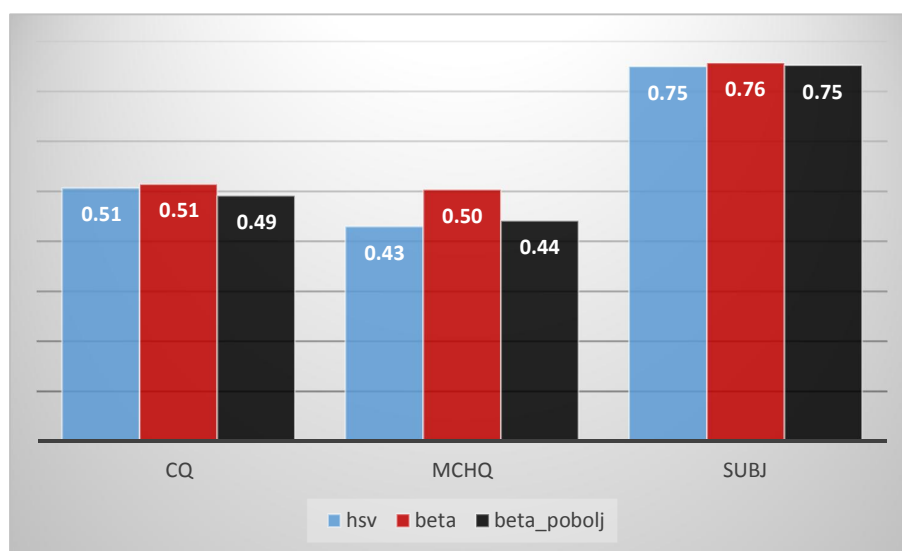
Prikaz srednje vrednosti ocene subjekata po sekvencama dat je na slici 5.60. Kod prve sekvence najbolje rezultate daje beta unapređena metoda, zatim beta sjedinjavanje i na kraju HSV metoda, ali je veoma mala razlika u u proceni uspešnosti sjedinjavanja. Kod druge sekvence je približno ista vrednost kod beta i beta unapređene metode, ali HSV je nešto slabija po ceni subjekata. Treća sekvenca pokazuje najbolje rezultate po subjektima beta metodom sjedinjavanja, dok su druge dve približno iste. U četvrtoj sekvenci HSV sjedinjavanje je najuspešnije, dok su beta metode približno iste. Beta unapređena metoda je najuspešnija na petoj i šestoj sekvenci, ali zato kao i prema objektivnim merama na sedmoj i osmoj sekvenci daje najlošije rezultate. Metode beta sjedinjavanja i HSV metoda od pete do osme sekvence daju približne rezultate.



Slika 5.60. MOS subjektivnog testa 2 na bazi VTI po sekvencama.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

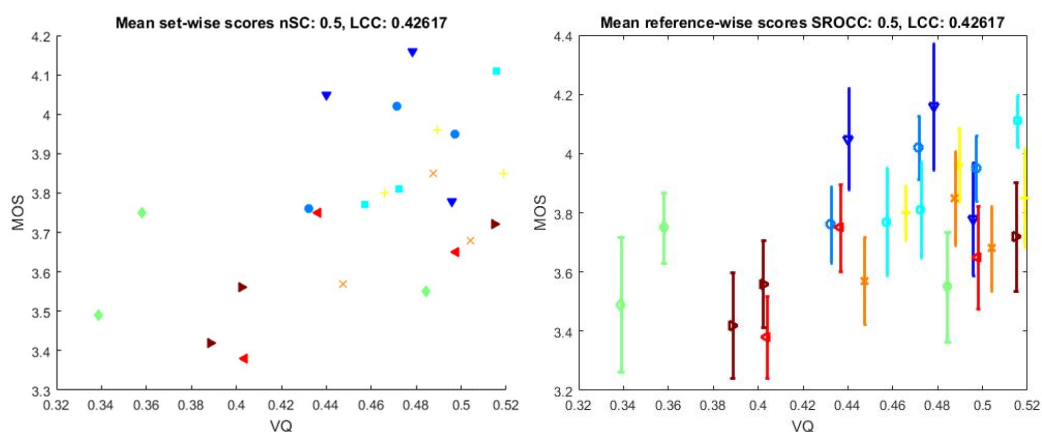
Srednje vrednosti mera  $MChQ$  i  $CQ$ , kao i normalizovane vrednosti (od 0 do 1) MOS subjektivnog testa date su na slici 5.61. Uočava se da su srednje vrednosti za celu sekvencu i po merama i subjektivnih testova veoma slične iako smo videli da one znatno odstupaju po sekvencama. Jedino  $MChQ$  izdvaja beta metodu od stale dve. Prema tome subjekti se nisu opredelili ni za jednu od metoda kao najuspešnijiu. Ovo potvrđuje da je ispravnija analiza po samim scenama i scenarijima nego po celoj bazi ukoliko se razmatra primena multisenzorskog sistema na različitim daljinama i vremenskim uslovima.



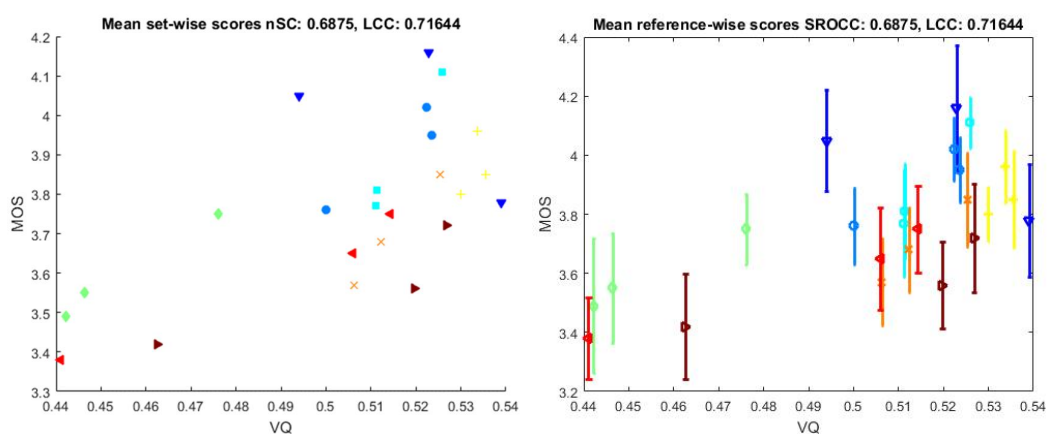
Slika 5.61. Rezultati mera  $CQ$ ,  $MChQ$  i subjektivnih testova 2 na bazi VTI.

Rezultati uporedne analize subjektivnih testova i objektivnih mera  $MChQ$  i  $CQ$  za drugu bazu dati su na slikama 5.62 i 5.63. Slika 5.62 predstavlja parove rezultata subjektivnih testova i mere  $MChQ$ , dok slika 5.63 rezultate istog subjektivnog testa i mere  $CQ$ . Poredeći iste oblike koji predstavljaju rezultate na jednoj sekvenci vidi se da mera  $CQ$  daje linearniju predstavu, što znači i veću usaglašenost sa subjektivnim testovima. Ovo potvrđuju i rezultati parametara  $SROCC$  i  $LCC$  koji su dati u tabeli 5.2. Rezultati pokazuju visoku korelaciju mere  $CQ$  i na ovoj bazi sa subjektivnim testovima i mogućnost primene za procenu u velikom opsegu sekvenci za kolor sjedinjavanje. Sa slika 5.62 i 5.63 se uočava da plavi trouglovi i krugovi nisu linearni, tj. da se razlikuje rang mera i subjektivnih testova. Ovo su rezultati na prve dve sekvence koje predstavljaju sekvenci bliske scene. Na ovim sekvencama se nalazi veći broj detalja od daljih scena i jasnije je vidljiva pozadina scene. Subjekti prema tome drugačije rangiraju i daju ocene metodama u odnosu na objektivne mere.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



Slika 5.62. Uporedne analiza subjektivnih testova 2 i objektivne mere *MChQ* za bazu VTI.



Slika 5.63. Uporedne analiza subjektivnih testova 2 i objektivne mere *CQ* za bazu VTI.

Tabela 5.2. Rezultati parametara *SROCC* i *LCC* za subjektivni test 2 i objektivne mere *MChQ* i *CQ*.

	MChQ	CQ
<i>SROCC</i>	0.5	0.69
<i>LCC</i>	0.42	0.71

Subjektivni testovi 3 i 4

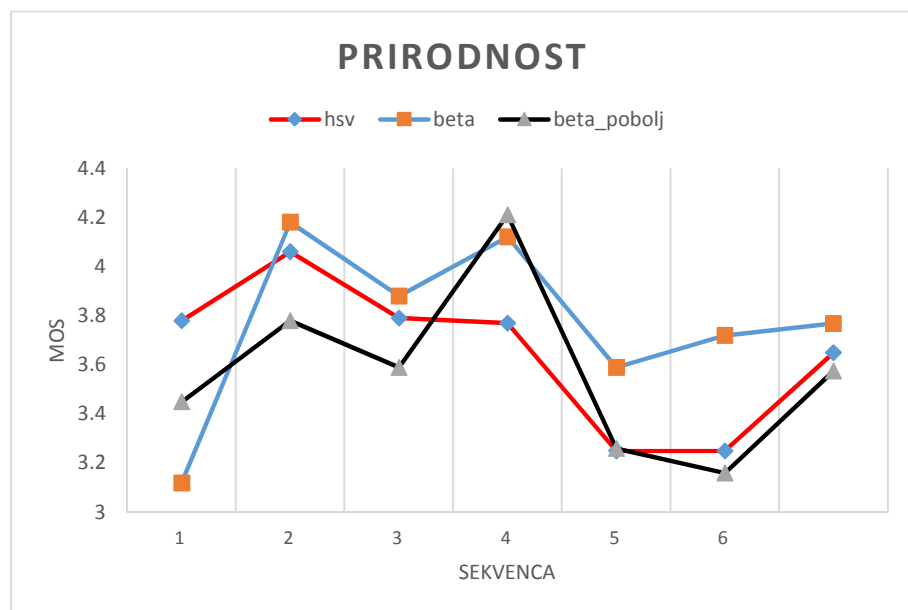
Treći i četvrti test za subjektivnu procenu sjedinjavanja kolor video sekvenci izveden je u prostoriji Vojnotehničkog instituta. Ukupno 12 subjekata imalo je zadatak da na 6 ulaznih kolor i monohromatskih sekvenci iz baze 1 i sa po tri sjedinjene kolor sekvence metodama HSV, beta i beta poboljšana metoda. Vreme testiranja neograničeno i bez uticaja spoljašnjih faktora. Zadatak je bio da ocene očuvanje prirodnosti sjedinjene sekvence u odnosu na ulaznu kolor sekvencu. Ocena subjekata je na skali od 0 do 5 sa korakom od 0,1, gde granične



## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

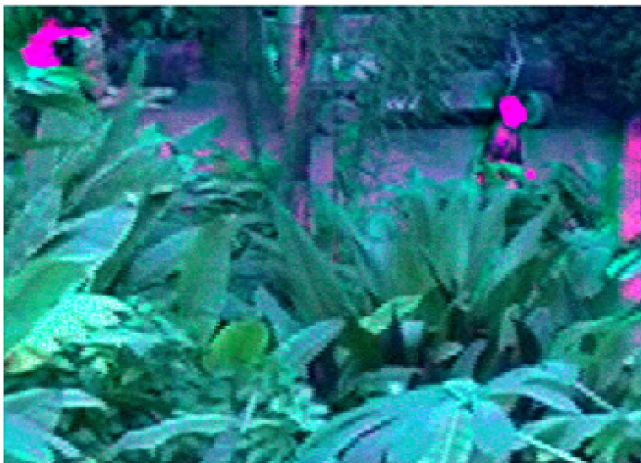
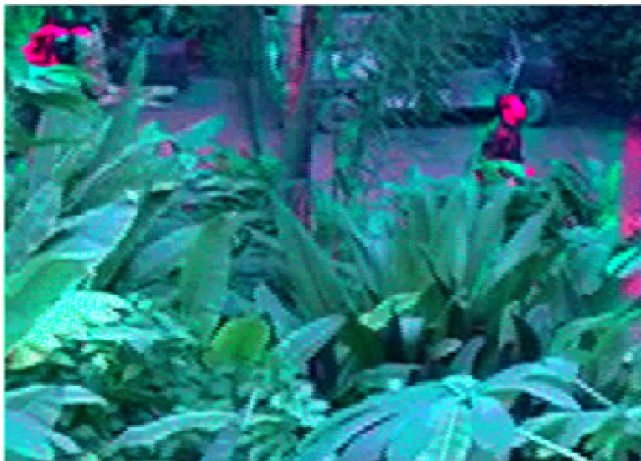
vrednosti 0 znače totalni neprirodnost, a 5 kompletno očuvanu prirodnost. Rezultati trećeg testa koji se odnosi na ocenu prirodnosti za bazu 1 prikazani su na slici 5.64. Beta Metoda sjedinjavanja prikazuje bolje rezultate u većini sekvenci (osim prve i četvrte) i time potvrđuje prednosti ove metode koje su ranije pominjane. Beta unapređena metoda, iako daje dosta dobre rezultate po kriteriju prenetih informacija, daje manje očuvanje prirodnosti hromatskih informacija. Ovo je i očekivano jer se sjedinjavanje vrši i kroz HSV kolor sistem i beta kanal, što samim tim narušava i kolor kanale.

Srednja vrednost subjektivnih testova za bazu 1 date su na dijagramu na slici 5.66. Za razliku od rezultata testova koji su procenjivali uspešnost prenetih informacija, kod prirodnosti je nešto definisanije koje metode su efikasnije po tom pitanju. Generalno gledano beta sjedinjavanje najbolje zadržava hromatske informacije, zatim HSV metoda i na kraju beta poboljšana.



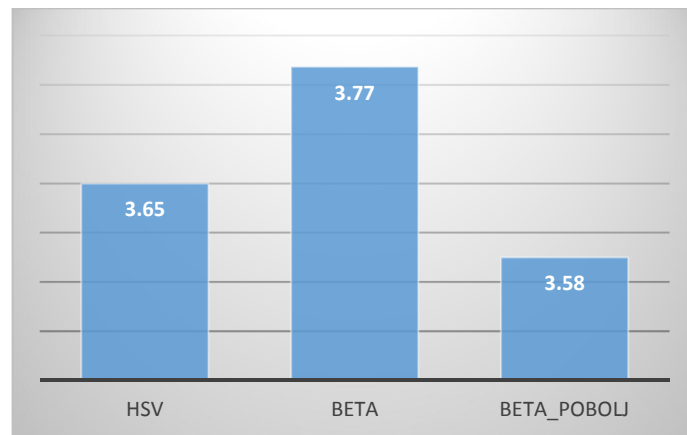
Slika 5.64. MOS po sekvencama za subjektivni test 3.

Najveća razlika između procene objektivnih mera i subjektivne procene očuvanja prirodnosti je na sekvenci 2 (EDEN sekvenca). Na slici 5.65 dati su rezultati sjedinjavanja na EDEN sekvenci gde najviše ima detalja na pozadini scene, odnosno lišće zelene boje. Upravo je ovo razlog za rangiranje metoda za sjedinjavanje u cilju očuvanja prirodnosti.



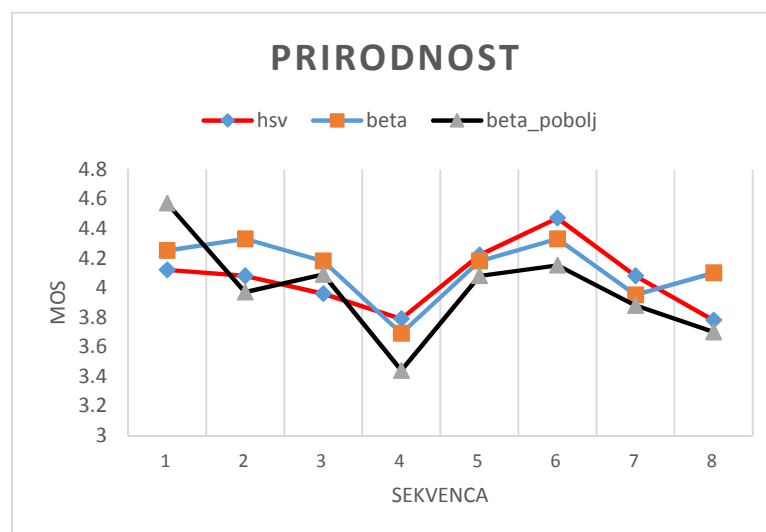
Slika 5.65. EDEN sekvenca sa sjedinjavanjem HSV, beta i beta poboljšanom metodom.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu



Slika 5.66. MOS za subjektivni test 3.

Rezultati četvrtog testa po pitanju očuvanja prirodnosti za bazu VTI video sekvenci dati su na slici 5.67. Metode za kolor sjedinjavanje prema subjektima daju veoma slične rezultate po pitanju zadržavanja prirodnosti. Beta poboljšana metoda jedino kod prve sekvence (va1) daje najbolje rezultate (slika 5.68), dok je kod ostalih sekvenci njena uspešnost po pitanju održavanja hromatskih informacija nešto slabija. Kod druge sekvence (uprava) je beta metoda sa nešto izraženijim skorom, kao i kod poslednje sekvence. Na ovoj sekvenci beta poboljšana daje najlošije rezultate i jasno se uočavaju automobili druge boje (slika 5.69). U ostalim sekvencama beta i HSV metoda daje gotovo identične rezultate. Na bazi VTI dosta su manje varijacije nego na bazi 1 u vidu očuvanja prirodnosti. Razlog je što je baza 1 uglavnom sačinjena od sekvenci bliže scene i na njima ima najviše detalja.



Slika 5.67. MOS po sekvencama za subjektivni test 4.

## 5. Kolor sjedinjavanje slika u realnom vremenu

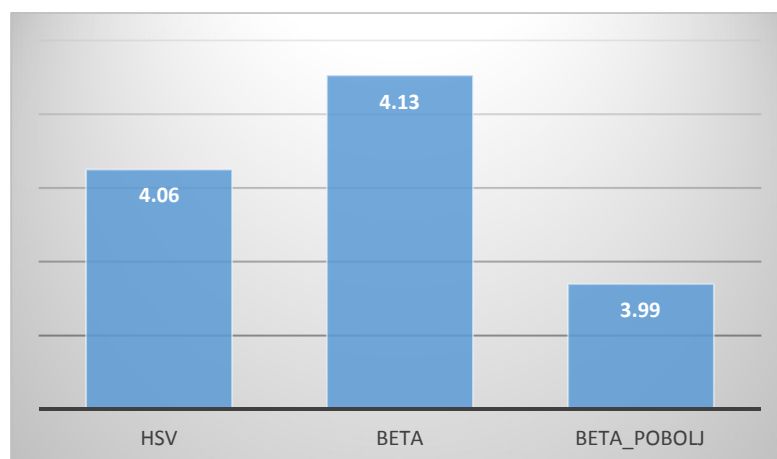


Slika 5.68. Ulazna i sjedinjena slika beta poboljšanom metodom va1 sekvence.



Slika 5.69. Ulazna i sjedinjena slika beta poboljšanom metodom sekvence "uprava".

Sumarno gledajući za celu bazu (slika 5.70), beta metoda najefikasnije zadržava kolor informacije sa veoma visokim skorom od 4.13, nešto lošija je HSV metoda sa skorom od 4.06 i na kraju beta unapređena metoda sa 3.99.



Slika 5.70. MOS za subjektivni test 4.

### 5.4. Sažetak

U ovom delu predstavljene su metode za sjedinjavanje kolor slika. Razmatrana su dva pristupa sjedinjavanja, odnosno sjedinjavanje kolor i monohromatske slike u kolor sliku i sjedinjavanje monohromatskih slika u kolor sliku. Na oba pristupa cilj je bio isti, da se prenesu korisne informacije u vidu toplih objekata iz IR slike u kolor TV sliku crvenom bojom i na taj način jasnije istaknu posmatraču.

Na početku je predstavljena beta metoda koja kodira beta kanal sa sjedinjenom monohromatskom IR i beta kanalom kolor slike. Iako se pokazala kao dobra metoda na većem broju scenarija, došlo se do zaključka da na mestima gde je kolor slika sa niskim intenzitetom ova metoda ne može najbolje da koduje monohromatsku sliku i prikaže je na sjedinjenoj slici. U tom cilju je razvijena beta poboljšana metoda koja koristi i HSV kolor sistem za sjedinjavanje intenziteta kolor slike i monohromatske slike. Zajedno sa kodovanjem beta kanala dobijena je metoda koja prevazilazi prethodne probleme, ali je računarski složenija i zbog kodovanja kanala intenziteta gubi se na prirodnosti sjedinjene slike. Primena određene metode zavisi od uslova u kojima sistem treba da radi i predstavlja kompromis u uspešnosti sjedinjavanja koje ove metode imaju.

Pored toga prikazana je i računarski efikasna metoda koja kodira IR sliku u sjedinjenoj kolor ili monohromatskoj slici crvenom bojom koristeći HSV kolor sistem. U narednom periodu planirano je detaljnije testiranje metoda i određivanje parametara koji značajno utiču na kvalitet sjedinjavanja.

## 6. PROCENA USPEŠNOSTI KOLOR SJEDINJAVANJA SLIKA

U početku razvoja algoritama za fuziju cilj je bilo sjedinjavanje monohromatskih slika u sjedinjenu sliku uz zadržavanje informacija iz ulaznih slika. Međutim razvojem senzora i njihovom upotrebom u velikom broju primena dolazi do potrebe osmatranja i prikupljanja slika i videa u kolor formatu [160]. Prema tome došlo je do pojave algoritama za sjedinjavanje kolor slika, a samim time i potrebama za merama koje će da odrede uspešnost razvijenih algoritama. U poslednjih nekoliko godina samo je nekoliko algoritama za procenu uspešnosti kolor sjedinjavanja slika razvijeno i u principu oni su ekstenzija već proverenih algoritama za monohromatske slike uključujući i kolor komponentu [161,162].

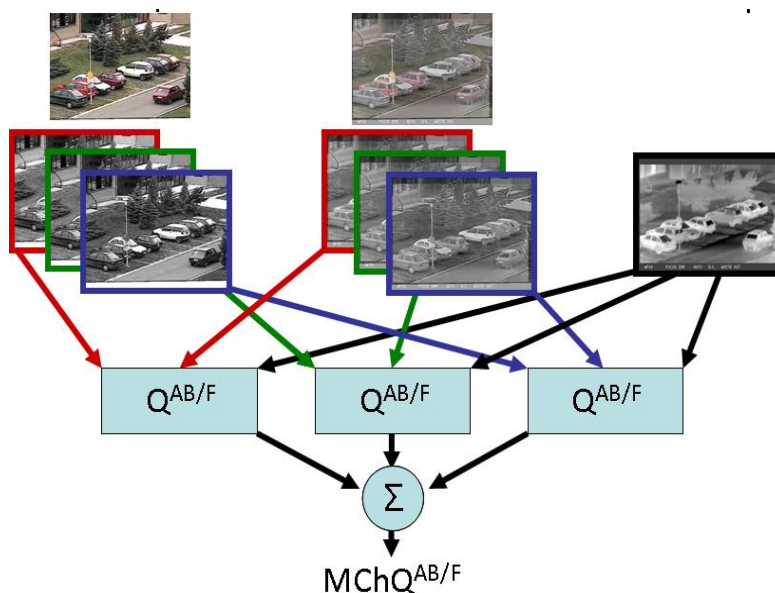
### 6.1. Gradijenti kao mera za kolor sjedinjavanje

Informacije koje nose kolor komponente u slici su od velikog značaja i njihova degradacija u procesu sjedinjavanja može dovesti do pojave neprirodnih objekata i promenama na sceni, što bi učinilo proces neprihvatljivim. U tom smislu od vitalnog značaja za algoritam za kolor sjedinjavanje je i zadržavanje kolor informacija u što većoj meri, a samim tim se i meri uspešnost svakog algoritma. Za proračun uspešnosti kolor sjedinjavanja važno je uzeti u razmatranje strukturu prenesenu iz ulaznih slika i prirodnost boja ili boje u zavisnosti od broja kolor ulaznih slika. Očuvanje gradijentnih informacija kao jedan od osnovnih modela za procenu uspešnosti sjedinjavanja monohromatskih slika može se proširiti i na kolor sjedinjavanje [160]. U ovom delu predstavljene su dve mere koje na različite načine koriste kolor informacije iz ulazne i sjedinjene slike i zajedno sa očuvanjem strukturnih informacija daju mere za procenu kolor sjedinjavanja.



### 6.1.1. Mera $MChQ$ za kolor sjedinjavanje

Možda najjednostavniji način da se izračuna uspešnost prirodnog kolor sjedinjavanja sastoji se u primeni algoritma za očuvanje gradijenata monohromatskih slika za svaki kanal nezavisno u RGB kolor sistemu [160]. Zatim se rezultati svakog kanala pojedinačno koriste za dobijanje jedinstvene mere za kolor sjedinjavanje (slika 6.1).



Slika 6.1. Dijagram mere  $MChQ$  za procenu uspešnosti kolor sjedinjavanja.

Monohromatska mera  $Q^{AB/F}$  [90] računa se za svaki kanal ulazne kolor slike, monohromatske i kanala sjedinjene slike. Na taj način dobijaju se tri odvojene mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja, tj.:  $Q_R^{AB/F}$ ,  $Q_G^{AB/F}$  i  $Q_B^{AB/F}$  za svaki od  $R$ ,  $G$  i  $B$  kolor kanala.

Proračuni koji se dobijaju za svaki kanal posebno mogu se jednostavno sabrati uz odgovarajuće težinske koeficijente i na taj način dobiti jedinstvenu meru za proračun sjedinjavanja kolor slika, odnosno multikanalnu  $Q^{AB/F} - MChQ^{AB/F}$ :

$$MChQ^{AB/F} = k_R Q_R^{A_R B / F_R} + k_G Q_G^{A_G B / F_G} + k_B Q_B^{A_B B / F_B} \quad (6.1)$$

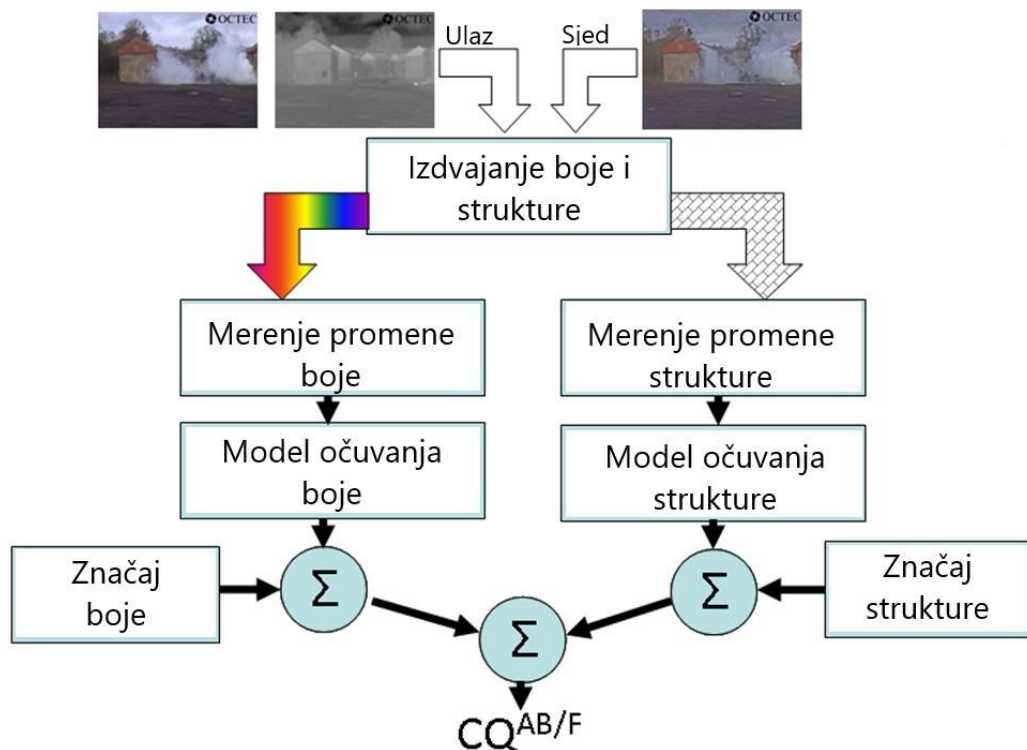
uz uslov da je  $k_R + k_G + k_B = 1$ .  $MChQ^{AB/F}$  proračunava očuvanje monohromatske strukture i kolor informacija u sjedinjenoj kolor slici kroz sva tri kolor kanala. Promene u boji sjedinjene slike i ulazne slike biće prikazane kroz jedan ili više kanala, što će doprineti smanjenju vrednosti u nekoj od komponenti  $Q^{AB/F}$ . Isto tako promene u intenzitetu biće

prikazane kroz sva tri RGB kanala, pošto je kanal intenziteta kombinacija pojedinačnih kanala i indiciraće smanjenje zajedničke mere  $MChQ^{AB/F}$ .

Koristeći težinske faktore može se uticati na važnost mere po svakom kanalu i samim tim i na važnosti očuvanja svake od boja. Koristeći se iskustvima i odzivu ljudskog vizuelnog sistema može se doći do zaključka za vrednosti težinskih koeficijenata za proračun jedinstvene mere [160]:  $[k_R, k_G, k_B]=[0.3, 0.59, 0.11]$ .

### 6.1.2. Mera $CQ$ za kolor sjedinjavanje

Drugi način korišćenja gradijenata i mere za monohromatsko sjedinjavanje u cilju procene kolor sjedinjavanja je razdvajanje kanala intenziteta i kanala boje, proračun očuvanja za svaku komponentu posebno, integrišući ih u zajedničku mera za kolor sjedinjavanje. U tom smislu hromatske informacije mogu se koristiti kao posebna mera za definisanje očuvanja prirodnosti sjedinjene slike. Ovakav pristup definiše meru za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor slika na bazi očuvanja gradijenata koristeći monohromatsku meru  $Q^{AB/F}$  i naziva se  $CQ^{AB/F}$ . Mera  $CQ^{AB/F}$  prikazana je na slici 6.2.

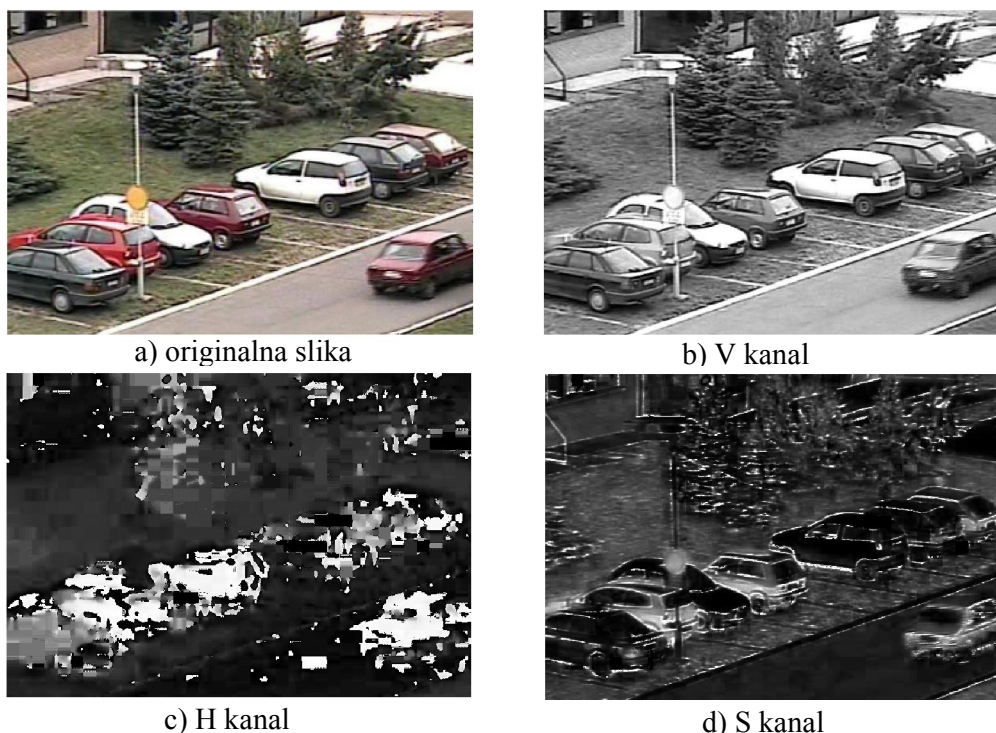


Slika 6.2. Dijagram mere  $CQ$  za kolor sjedinjavanje.



## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika

Hromatske i informacije o intenzitetu razdvajaju se koristeći transformaciju iz RGB kolor sistema u neki od sistema gde su komponente intenziteta i boje slabije korelisane. Kanal intenziteta ulazne slike zajedno sa monohromatskom slikom direktno se poredi sa kanalom intenziteta sjedinjene kolor slike pomoću postojeće mere za monohromatske slike  $Q^{AB/F}$ . Ostale dve dimenzije koje čine informacije hromatskog kanala služe za proračun očuvanja prirodnosti slike i zavise od kolor sistema u koji se transformiše RGB kolor sistem. Veći broj kolor sistema koji razdvajaju informacije intenziteta i boje dostupan je i moguć za primenu u proračunu kolor mere za procenu sjedinjavanja. Za konkretnu meru predložen je HSV (Hue-Saturation-Value) kolor kanal zbog njegove jednostavnosti implementacije i jasnog razumevanja [163]. H komponenta predstavlja komponentu boje koja ide od crvene, preko zelene, plave do crvene na početku cilindrične predstave. S komponenta predstavlja čistoću boje koja ide od sive do čiste boje, dok V predstavlja intenzitet kao kod monohromatskih slika. Implementacija transformacije iz RGB u HSV kolor sistem data je u [79]. Vizuelna predstava kanala HSV kolor sistema za prirodnu kolor sliku data je na slici 6.3. Kanal intenziteta prikazuje prostorne informacije i strukturu scene, dok H kanal prikazuje primarne boje na sceni odnosno crvenu i zelenu. S kanal prikazuje da boje nisu skroz čiste na sceni.

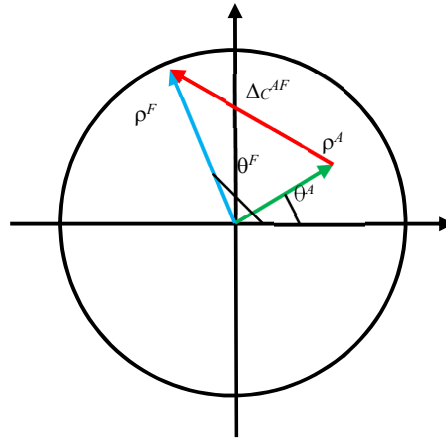


Slika 6.3. Vizuelna predstava kanala HSV kolor sistema.

## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika

Ono što je od velikog značaja za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor slika jeste određivanje prenosa kolor informacija. Zahvaljujući prirodi HSV sistema, hromatske informacije se analiziraju kroz polarni model očuvanja informacija. Ovaj model tretira H i S vrednosti kao polarne koordinate  $(\rho, \theta)$ , što je ilustrovano na slici 6.4. U ovom modelu, H kanal je ugao rotacije, što odgovara parametru  $\theta$  ( $\theta=[0, 2\pi]$ ), a zasićenje S govori o udaljenosti od koordinatnog početka, što odgovara parametru  $\rho$  ( $\rho=[0, 1]$ ). Svaki piksel je po boji vektor u ovom prostoru. Promene u H između sjedinjene i ulazne slike manifestuju se rotacijom vektora a promene u saturaciji su u dužini vektora. Ove promene se jednostavno mogu izmeriti kao razlika dva vektora koji predstavljaju dve boje (sjedinjenu i ulaznu), kao na slici 6.4. Promena u boji se definiše na sledeći način:

$$\Delta_C^{AF} = 1 - \frac{1}{2} \left\| (\rho_{\text{sat}}^F, \theta_{\text{hue}}^F) - (\rho_{\text{sat}}^A, \theta_{\text{hue}}^A) \right\| \quad (6.2)$$



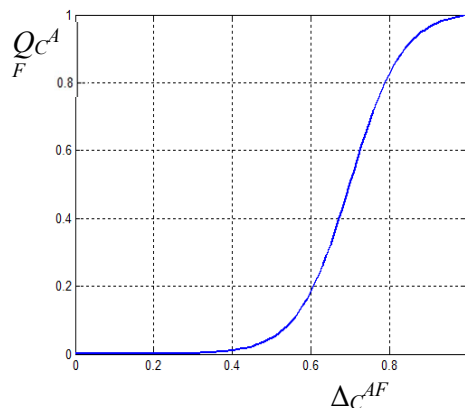
Slika 6.4. Ilustracija polarnih koordinata.

Slično kao kod očuvanja gradijenata kod monohromatskog sjedinjavanja i kod očuvanja boja sve promene se neće isto tretirati. Nelinearna predstava koja odgovara ljudskom vizuelnom sistemu je i ovde primenjena u vidu sigmoidnih funkcija:

$$Q_C^{AF}(m, n) = \frac{\Gamma_c}{1 + e^{\kappa_c(\Delta_C^{AF}(m, n) - \sigma_c)}} \quad (6.3)$$

## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika

Gde su parametri eksperimentalno određeni i iznose  $[k_c, \sigma_c]=[15, 0.7]$  i funkcija je data na slici 6.5. Kada je vrednost  $S$  mala kolor vektor je oko nule i čak velike promene u boji nisu primetne.



**Slika 6.5. Sigmoidna funkcija sa parametrima  $[k_c, \sigma_c]=[15, 0.7]$ .**

Na slici 6.6 prikazan je primer sa promenama u koloru koje se nalaze u H+S kanalu u slici, prouzrokovane sa dve različite metode kolor sjedinjavanja [155, 164]. Bolje promene u većem obliku prikazane u  $S$  kanalu su vidljivije za metodu 2 koja koduje crveni i plavi kanal koristeći intenzitet monohromatske slike. Kao vizuelna predstava data je vrednost hromatskog očuvanja  $Q_C^{AF}$  za svaki piksel na donjem delu slike kako bi se potvrdile ranije pretpostavke.

Lokalna mera kolor kvaliteta računa se kroz kompletnu sliku kao suma očuvanja po pikselima sa odgovarajućim težinskim koeficijentima:

$$Q_{WC}^{AF} = \frac{\sum_{\forall m,n} Q_C^{AF}(m,n) w_C(m,n)}{\sum_{\forall m,n} w_C(m,n)} \quad (6.4)$$

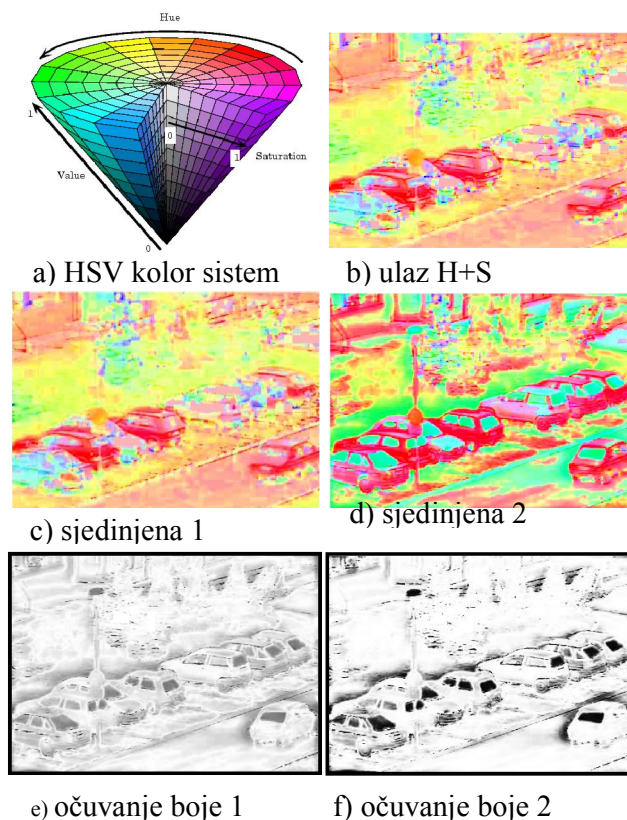
Za težinske koeficijente uzet je koncept maksimalne vrednosti saturacije za svaki piksel ulazne kolor i sjedinjene slike iz razloga što je zbog perceptualne važnosti čistoća boje bitnija nego očuvanje nivoa sivog:

$$w_C(m,n) = \max(s^A(m,n), s^F(m,n)) \quad (6.5)$$

Konačna mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor slika dobija se kao suma strukturnih i hromatskih mera sa različitim težinskim koeficijentima:

## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika

$$CQ_i^{AB/F} = k_{S/C}Q^{AB/F} + (1-k_{S/C})Q_i^{AF} \quad (6.6)$$



Slika 6.6. Prikaz sjedinjavanja sa promenom u boji.

Najbolji način određivanja parametra je optimizacija objektivne mere sa subjektivnim testovima na osnovu čega je dobijena vrednost od  $k_{s/c}=0,9$  [160]. Metoda prema tome favorizuje prenete informacije struktura u odnosu na kolor informacije. Razlog je što je prenos struktura mnogo efikasniji nego boja, odnosno za očuvanje boja porede se samo ulazna TV slika i sjedinjena, što znači da svaki uticaj IR slike na komponentu boje u stvari kviri rezultat sjedinjavanja koji daje objektivna mera. Za očuvanje struktura porede se obe ulazne slike sa sjedinjenom. Pošto je mera za procenu kolor sjedinjavanja dobijena iz mere za procenu sjedinjavanja monohromatski slika i ona zadržava isti opseg vrednosti od 0 do 1, gde 0 označava totalni gubitak, dok vrednost 1 označava savršeno sjedinjavanje.

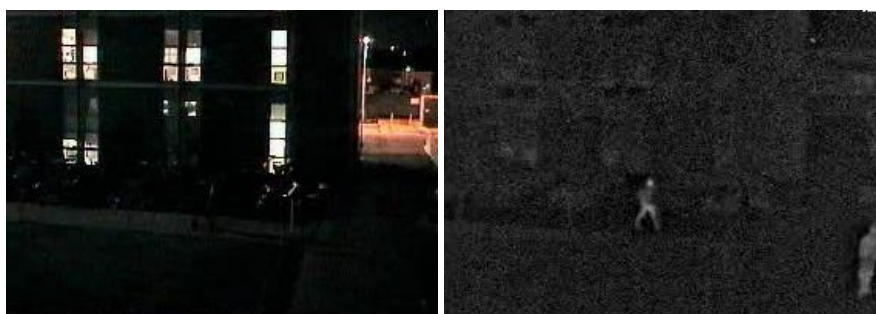
## 6.2. Analiza rezultata mera za procenu kolor sjedinjavanja

Za analizu mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor slika napravljena je baza od 4 različita multisenzorska scenarija (televizijska i termovizijska slika) sa po 3 slike za svaki scenario (slika 6.7). Baza obuhvata urbane i ruralne scenarije i različite primene sjedinjavanja kolor televizijskih i monohromatskih termovizijskih slika. Prva grupa slika (gornji red) predstavlja realnu situaciju vojnog manevra u urbanoj sredini. Termovizijska slika pokazuje objekte koji nisu vidljivi na televizijskoj slici i postoje informacije koje se ne preklapaju.





## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika



Slika 6.7. Baza za poredenje mera za procenu kolor sjedinjavanja.

Drugi red slika je iz gradske sekvence i objekti na obe slike su uočljivi i postoje preklapanja. Treći red slika su iz ruralnog područja, dok poslednji red predstavlja slike u uslovima smanjene vidljivosti sa uličnim svetlom i sa visokim nivoom šuma. Rezultati mera testirani su na tri različite metode za sjedinjavanje kolor slika i prikazani su na slici 6.8. Prva metoda je sjedinjavanje kanala intenziteta kolor slike transformisane je HSV metoda (HSV) [155] – prva kolona, druga kolona je sjedinjavanje koristeći beta metodu [165] i treća je kolona su slike jednostavnog aritmetičkog sjedinjavanja gde je sjedinjena slika prosečna vrednost svakog piksela ulaznih slika (aritm).



## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika



Slika 6.8. Sjedinjene slike iz kolor baze metodama HSV, beta i aritm.

Vizuelnom analizom metoda aritmetičkog usrednjavanja daje najlošije rezultate na sva četiri scenarija i po pitanju prirodnosti boje i prenosa informacija. Slično, kao i kod monohromatskog sjedinjavanja sa aritmetičkom metodom i ovde je smanjen kontrast i uočljivost objekata na sjedinjenoj slici. Beta metoda daje bolje rezultate i objekti iz IR slike jasno su uočljivi na sjedinjenim slikama. HSV metoda kolor sjedinjavanja daje dobre rezultate ali kod nje je problem ako je pozadina TV slike bela kao na prvoj slici, odnosno prenos toplih objekata iz IR slike. Na poslednjem scenariju uočava se i pojačan šum na sjedinjenim slikama najviše kod HSV pa onda beta metode. Kod aritmetičkog sjedinjavanja ova pojava je znatno manja, što će biti pokazano i u poglavlju 7.

Rezultati mera dati su u tabeli 6.1 i na dijagramu na slici 6.9. Uočava se da mere za procenu kolor sjedinjavanja  $CQ$  [160] i  $CIFM$  [161] rangiraju isto metode dok je jedino razlika u pristupu mere koja koristi univerzalni indeks  $Q_{CF}$ . Razlika u pristupu mera za procenu kolor sjedinjavanja u vidu prenetih gradijenata i strukturnih informacija sa jedne strane i mere zasnovane na teoriji informacija uslovile su različita rangiranja. Kako bi ispitali koje od mera su približnije ljudskom vizuelnom sistemu izvedeni su subjektivni testovi i upoređeni rezultati. Rezultati subjektivnih testova dati su na slici 6.10 i tabeli 6.2.

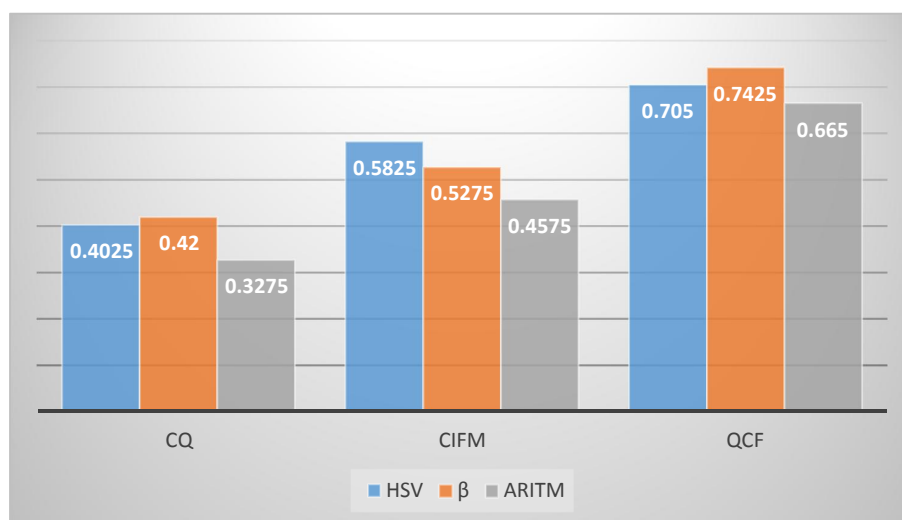
Tabela 6.1. Rezultati mera za procenu kolor sjedinjavanja.

	HSV	Beta	ARITM
CQ	0.4025	0.42	0.3275



## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika

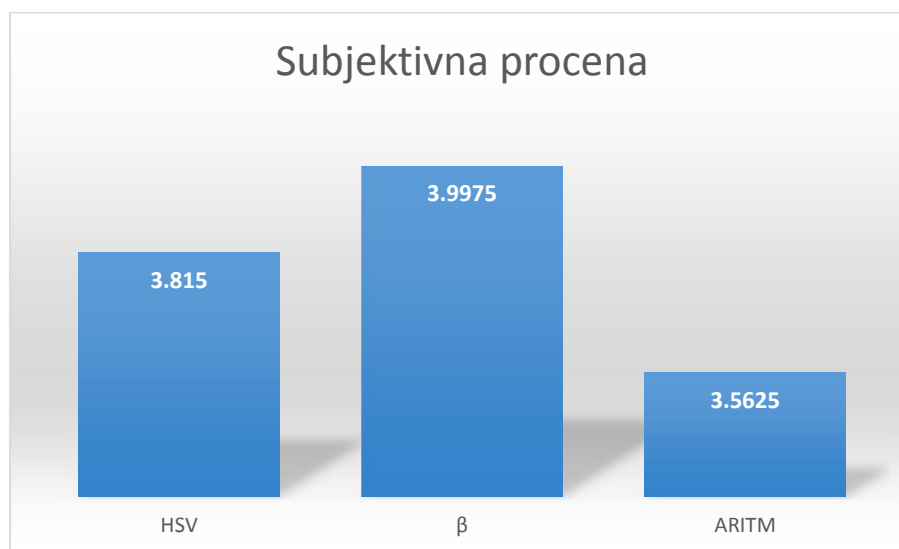
<b>CIFM</b>	0.5825	0.5275	0.4575
<b>Q<sub>CF</sub></b>	0.705	0.7425	0.665



**Slika 6.9. Grafički prikaz rezultata mera za procenu kolor sjedinjavanja.**

U okviru istraživanja i analize rezultata izvedeni su subjektivni testovi na bazi kolor slika kako bi se uporedili rezultati mera za kolor sjedinjavanje. Ukupno 10 iskusnih posmatrača, radilo je neformalne testove na već spomenutim sekvencama i metodama. Pre početka rada svakom posmatraču je ukratko objašnjena namena testova i šta se očekuje od njih. Testovi su rađeni na 27'' ekranu sa HD rezolucijom i organizovani su da se u gornjem redu prikazuju ulazne kolor i monohromatska slika, dok se u donjem redu prikazuju po tri sjedinjene slike sa slučajnim i različitim rasporedom kako bi se izbegla pristrasnost. Raspon ocena je bio od 0 do 5 sa korakom od 0,1, gde 0 predstavlja totalni gubitak informacija, a 5 idealno sjedinjavanje sa prenetim svim informacijama i bez izobličenja.

## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika



Slika 6.10. Rezultati subjektivnih testova za kolor sjedinjavanje slika.

Tabela 6.2. Rezultati subjektivnih testova po sekvencama za procenu kolor objektivnih mera.

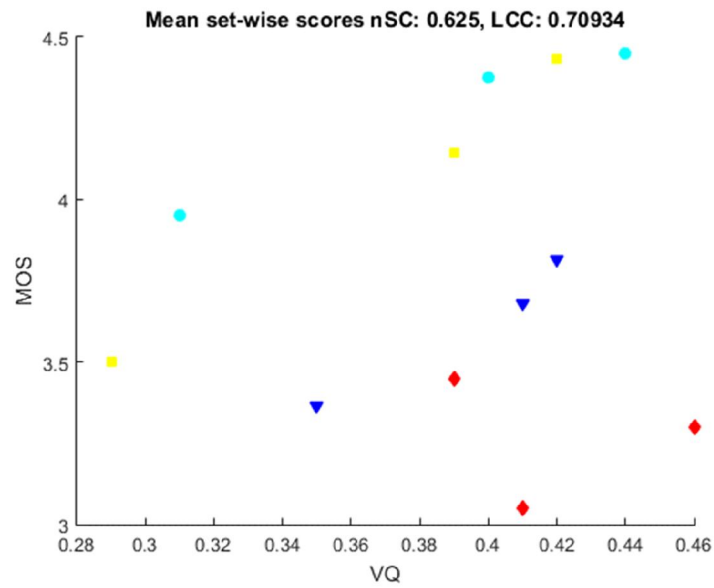
Sekvenca	MOS			STD		
	HSV	BETA	ARITM	HSV	BETA	ARITM
<b>OCTEC</b>	3.56	3.85	3.45	0.45	0.53	0.38
<b>PAKRING</b>	3.98	3.97	3.95	0.33	0.41	0.48
<b>EDEN</b>	4.14	4.01	3.54	0.5	0.45	0.3
<b>DUBLIN</b>	3.61	4.13	3.28	0.35	0.43	0.48

Rezultati subjektivnih testova pokazuju beta metodu kao najpribližniju ispitanim subjektima po kvalitetu sjedinjavanja (prenete informacije i očuvana prirodnost), zatim HSV sjedinjavanje i kao najlošije aritmetičko sjedinjavanje. Ovaj redosled je isti na svim scenarijima osim kod četvrtog gde je veća prisutnost šuma i dolazi do pada karakteristika sjedinjavanja. Poređenjem rezultata subjektivnih i objektivnih mera vidi se da su  $CQ$  i  $Q_{CF}$  po rangiranju metoda usaglašene sa subjektivnim testovima, dok  $CIFM$  mera ne rangira prve dve metode po subjektivnim testovima.

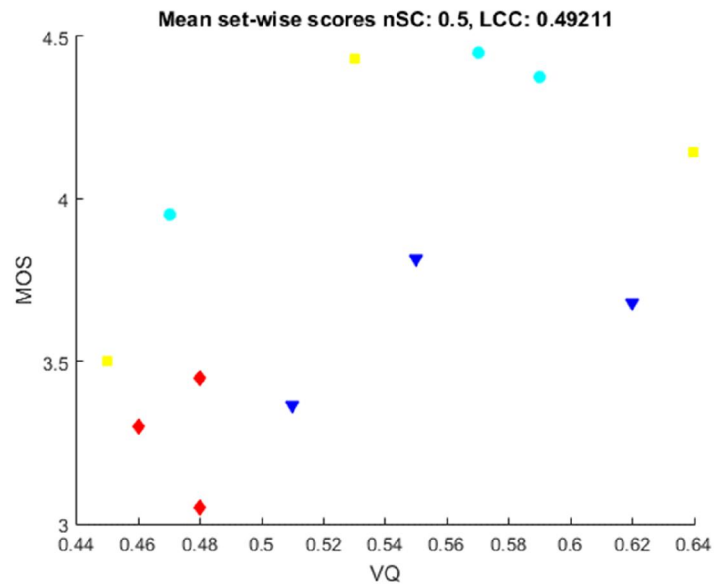
Zavisnost subjektivnih i objektivnih mera i rezultati  $SROC$  i  $LCC$  metrika dati su na slikama 6.11 do 6.13. Sa dijagrama i tabele se vidi da mera  $CQ$  koja je bazirana na prenosu ivičnih informacija iz ulaznih u sjedinjenu sliku i očuvanju kolor informacija u HSV kolor sistemu daje najpribližnije rezultate subjektivnim testovima. Univerzalni indeks kvaliteta adaptiran za procenu kvaliteta kolor sjedinjavanja  $Q_{CF}$  daje lošije ali isto dosta dobro usaglašene

## 6. Procena uspešnosti kolor sjedinjavanja slika

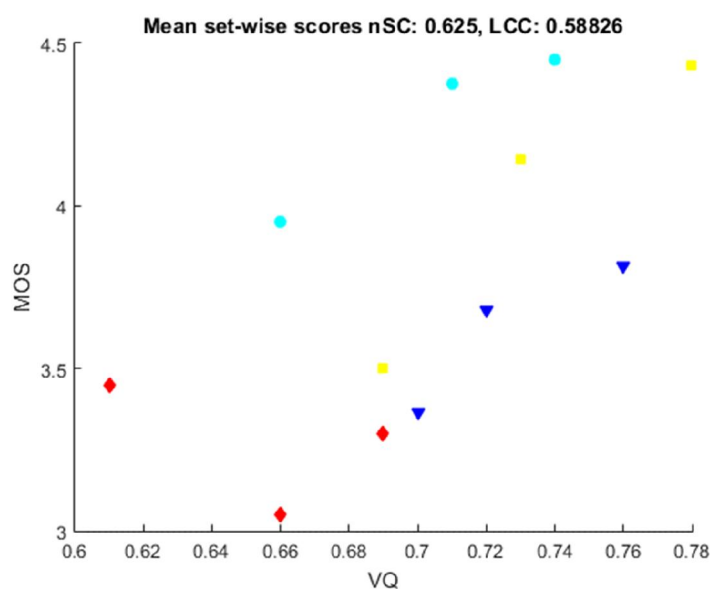
rezultate poredeći sa subjektivnim testovima. Mera bazira na teoriji informacija *CIFM* daje, slično kao kod dinamičkog sjedinjavanja i ovde rezultate koji su najmanje korelisani sa subjektivnim testovima.



Slika 6.11. Poređenje subjektivnih testova i *CQ* mere.



Slika 6.12. Poređenje subjektivnih testova i *CIFM* mere.

Slika 6.13. Poređenje subjektivnih testova i  $Q_{CF}$  mere.Tabela 6.3. Rezultati mera  $CQ$ ,  $CIFM$  i  $Q_{CF}$  u poređenju sa subjektivnim testovima

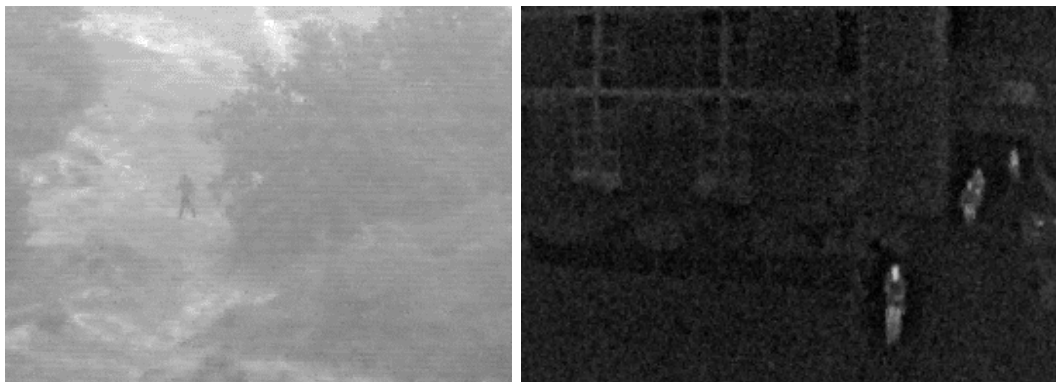
	$CQ$	$CIFM$	$Q_{CF}$
$LCC$	0.625	0.5	0.625
$SROCC$	0.71	0.49	0.59

### 6.3. Sažetak

U ovom delu predstavljena su dva pristupa za procenu uspešnosti kolor sjedinjavanja slika. Kao ulaz u algoritam sjedinjavanja su kolor TV slika i monohromatska IR slika, a kao izlaz je kolor sjedinjena slika. Obe metode zasnovane su na očuvanju gradijenata iz ulaznih u sjedinjenoj slici. Prva mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja  $MChQ$  koja meri očuvanje gradijenata kroz kanal RGB kolor sistema iz ulaznih u sjedinjenu sliku. Efikasnija metoda  $CQ$  data je u nastavku i ona razdvaja prenos kolor od strukturnih informacija prenetih iz ulaznih u sjedinjenu sliku koristeći HSV kolor sistem. Metode su upoređene sa drugim merama prema subjektivnim testovima i dale su veću usaglašenost na bazi koja je izabrana u toku istraživanja.

## 7. ŠUM U SJEDINJAVANJU VIDEO SIGNALA

Šum je prisutan u svim sensorima i u procesu sjedinjavanja prelazi i u sjedinjene slike, posebno kada je reč o video sjedinjavanju gde je pojava šuma još uticajnije kroz proces sjedinjavanja. U mirnim slikama šum se nalazi u prostornom signalu i prekriva strukturu slike sa slučajnim vrednostima. Ljudi, kao posmatrači imaju mogućnost da vide kroz šum sa određenim stepenom tolerancije i prepoznaju objekte i njihove strukture na mirnim slikama. Međutim, u dinamičkom sjedinjavanju, vremenska dimenzija usložnjava proces detekcije objekata u video signalu pri većim snagama šuma. Prikaz zašumljenih kadrova iz sekvenci prikazan je na slici 7.1. Šum je u najvećem broju slučajeva slučajan i nezavistan u vremenskom i prostornom domenu. Video šum nije statičan, već je dinamički i kao takva pojava treperi ispred očiju posmatrača, što ima nepovoljan uticaj na ljudski vizuelni sistem. Ovakva pojava smanjuje fokus posmatrača i ima destruktivni efekat kada je u pitanju detekcija i praćenje objekata od značaja na sceni. Iz navedenih razloga efekat šuma je znatno uticajnije u dinamičkom sjedinjavanju slika i potrebno je više pažnje posvetiti nego kod sjedinjavanja mirnih slika.



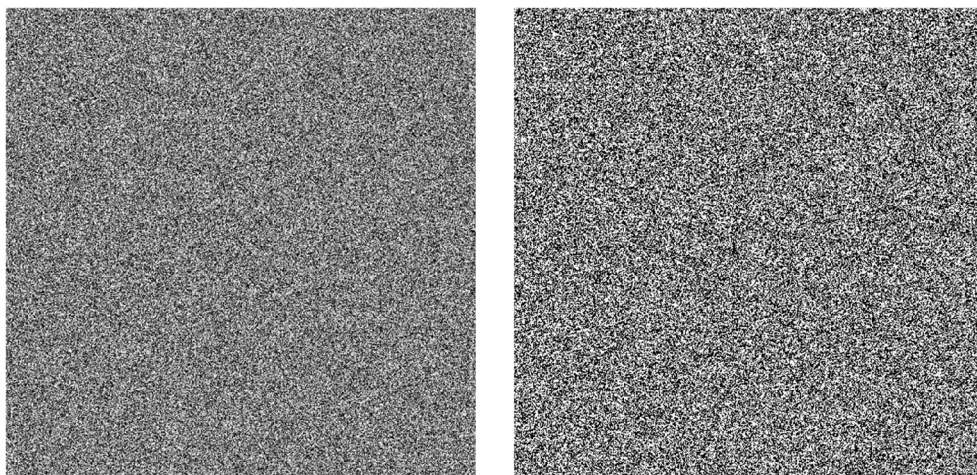
Slika 7.1. Primer zašumljenih slika TV kamere iz TREES sekvence i IR kamere DUBLIN sekvence.

Senzorski šum je rezultat nekoliko procesa u formiranju slike odnosno video signala [166-168]. Kao rezultat toga postoje više vrsta šumova, kao što je aditivni ili šot šum, koji se kombinuju u veoma složen oblik. Aditivni šum, koji je posledica na primer temperaturnih efekata kod IR senzora, je u najvećem broju slučajeva dominantan. Iz tog razloga u daljem delu rada ova komponenta će biti analizirana kroz veći broj sekvenci, metoda za sjedinjavanje i same snage šuma koja je prisutna u video signalu.

Aditivni šum se modeluje kao slučajan signal sa određenom raspodelom preko celog frejma i kroz celu video sekvencu. Za dobijanje video sekvence sa određenim nivoom šuma  $V_{SNR}$  od sekvence  $V$  koja u sebi ne sadrži komponentu šuma, najpre se generiše signal šuma  $n$  koristeći Gausovu raspodelu sa srednjom vrednošću 0:

$$n(x, y, t) = N(0,1), \forall x, y, t \in V \quad (7.1)$$

Na slici 7.2 prikazani su signali aditivnog šuma dodati na sliku sa konstantnom vrednošću intenziteta piksela 128 sa srednjom vrednošću 0 i standardnim varijansama od 0.1 i 10.



**Slika 7.2. Signali aditivnog šuma dodati na sliku sa konstantnom vrednošću intenziteta piksela 128 sa srednjom vrednošću 0 i standardnim varijansama od 0.1 i 10.**

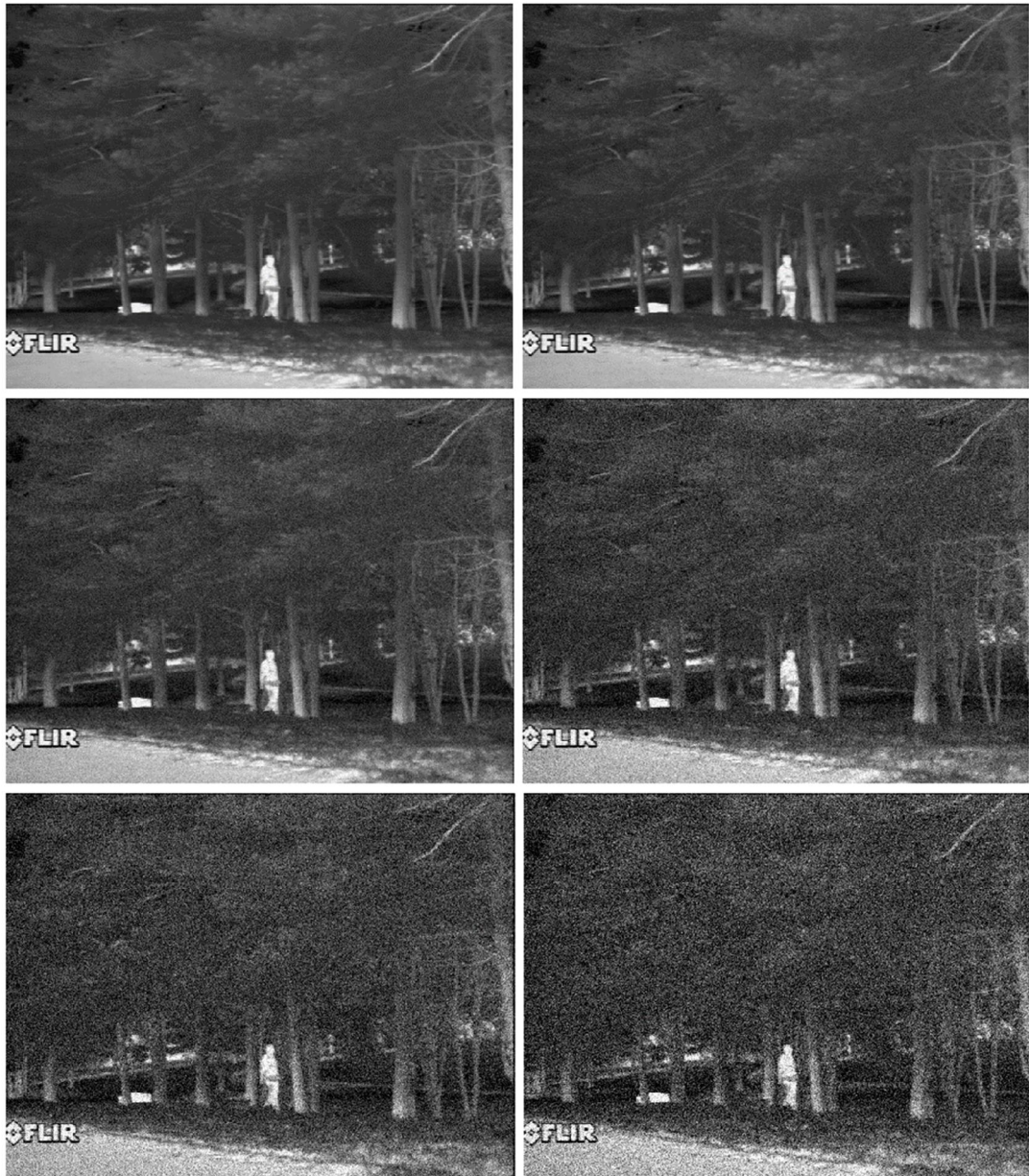
Sledeći korak predstavlja množenje signala  $n$  sa odgovarajućim faktorom  $k_{SNR}$  kako bi se postigao odgovarajući odnos signal-šum (signal-to-noise ratio (SNR)). Dodavanjem šuma na video signal  $V$  dobija se video sekvencu sa šumom  $V_{SNR}$ :

$$V_{SNR} = V + k_{SNR} * n \quad (7.2)$$

Slike 7.3 i 7.4 prikazuju uticaj različitih nivoa šuma na ulaznoj termovizijskoj video sekvenci, kako bi se dobile SNR vrednosti od 30, 20, 10, 6 i 1dB. Pri većim vrednostima

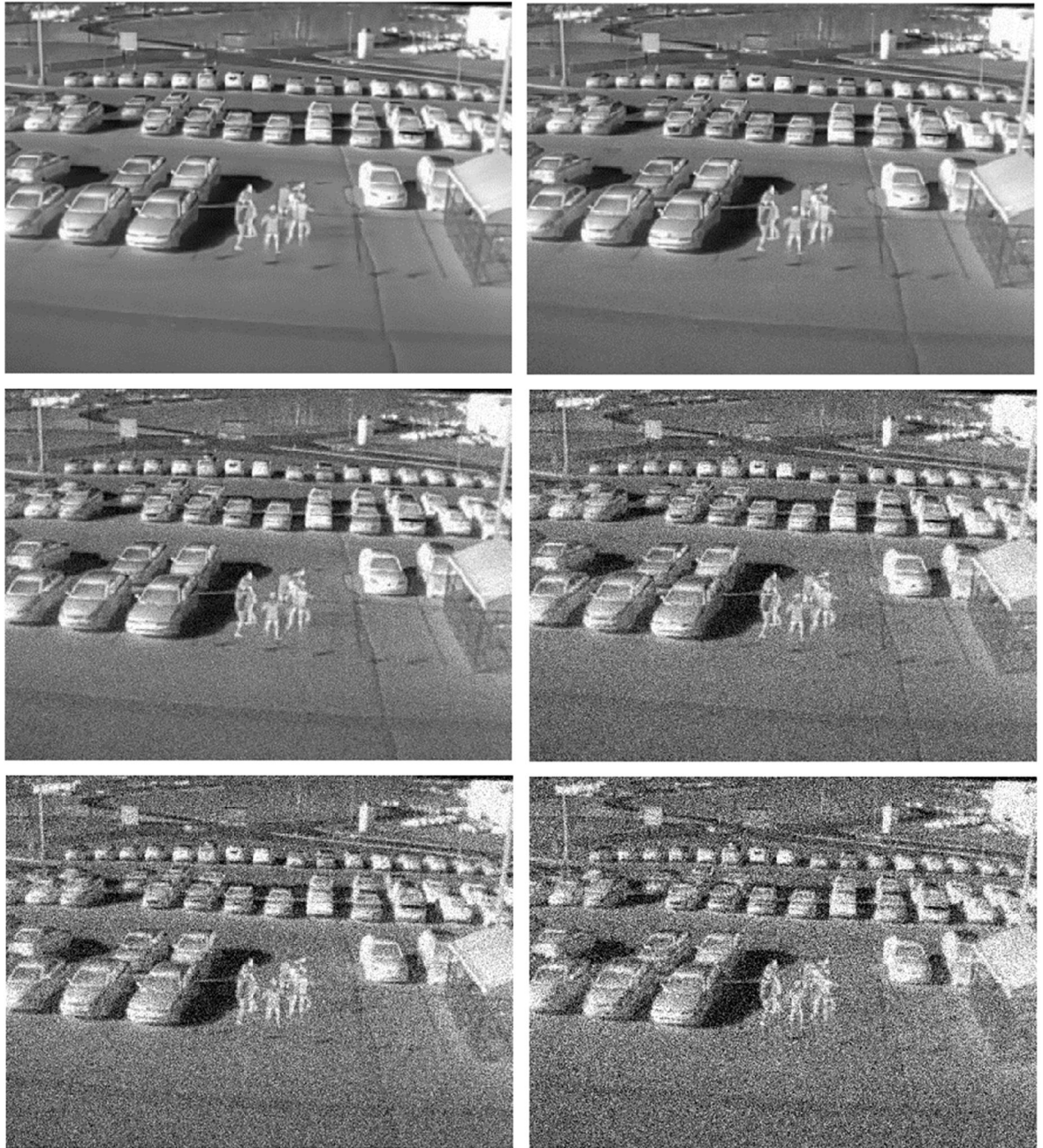
## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

SNR-a ne uočavaju se bitne promene u odnosu na neiskvarenu sliku. Ove male promene u većini slučajeva ne smetaju posmatračima, korisnicima sistema. Poredeći ove dve sekvence može se zaključiti da iste vrednosti  $SNR$  na različitim sekvencama, ne utiču isto na detekciju objekata. Na slici 7.3 čak i pri  $SNR=1\text{db}$  i dalje su vidljive neke strukture na slici i jasno se uočava čovek iza drveća, ali pozadina je prikrivena šumom i ne razlučuje se. Slika 7.4 daje za isti  $SNR$  drugačiju predstavu i detekcija je znatno teža.



Slika 7.3. Ulazna termovizijska slika iz va1 video sekvence i  $SNR$  vrednosti od 30, 20, 10, 6 i 1dB respektivno.





Slika 7.4. Ulazna termovizijska slika iz Parking video sekvence i  $SNR$  vrednosti od 30, 20, 10, 6 i 1dB respektivno.

### 7.1. Sjedinjavanje u prisustvu šuma

Dinamičko ili video sjedinjavanje je poslednjih godina bilo tema u praktičnim multisenzorskim sistemima. Međutim, zbog računarske zahtevnosti i potrebe za radom u

realnom vremenu i dalje najveći broj sistema koristi za sjedinjavanje frejm po frejm algoritme za mirne slike. Sjedinjavanje frejm po frejm uzima malo ili nikako zavisnost između frejmova, čak i u slučajevima kad su pokreti na sceni sa manjim značajem. Ipak kao kompromis za sjedinjavanje video sekvenci bez kašnjenja u sistemu mogu se uzeti i algoritmi za mirne slike. Najzastupljenije metode u sjedinjavanju su svakako multirezolucione tehnike (Laplasova piramida, sjedinjavanje vejevletima i ostale). Diskretna vejevlet transformacija (DWT) je veoma rasprostranjena tehnika u oblasti digitalne obrade slike i sjedinjavanja slika sa istih ili različitih senzora (PAN i MS sjedinjavanje, kolor sjedinjavanje, ...). Multirezoluciona analiza (MR) ulaznih slika vrši se na osnovu Malat-ove teorije [7], dok se sjedinjavanje podopsega izvodi sa nekom od MR tehnika [169]. Iako DWT ima široku primenu, ono pati od dva osnovna nedostatka:

- Nedostatak otpornosti na promene signala (shift invariance), tj. male promene u ulaznom signalu izazivaju značajne varijacije u distribuciji energije između koeficijenata u DWT,
- Loše selektivnosti po pravcima, koja je posledica razdvajanja filtera i maksimalne osetljivosti na ivice po horizontalnom, vertikalnom i dijagonalnom pravcu.

Poboljšanje otpornosti na promene signala mogu se postići korišćenjem prostorno nepromenljive DWT (SIDWT) [42]. Ova multivelećinska predstava ne koristi decimaciju filtriranih signala, koja je uzrok loše otpornosti na promene signala, već se filteri menjaju ubacivanjem nula. Međutim, ova metoda je iako postiže bolje rezultate od standardne DWT je računarski veoma zahtevna, zbog izostanka decimacije.

Efikasniji pristup koji eliminiše nedostatke DWT predstavljen je u vidu kompleksne vejevlet transformacije sa dvostrukim stablom (DT CWT) [170-172]. Multirezoluciona predstava ulazne slike pomoću DT CWT dobija se filtriranjem pomoću dva filtera podešena da daju realnu i imaginarnu predstavu podopsega [170]. Na taj način kompleksni vejevleti razdvajaju ulaznu sliku na podopsege koje imaju maksimalnu osetljivost u 6 pravaca ( $\pm 15^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$ , i  $\pm 75^\circ$ ), za razliku od DWT koja postiže maksimalne osetljivosti u horizontalnom, vertikalnom i dijagonalnom pravcu.

Dobre karakteristike DT CWT u odnosu na DWT iskorišćene su i za sjedinjavanje slika [173, 174]. Ulazna slika se kao i kod ostalih MR metoda, prvo razlaže u MR predstavu i zatim se vrši sjedinjavanje podopsega sa već postojećim tehnikama od kojih su najzastupljenije:

- Izbor maksimalne apsolutne vrednosti piksela,

- Težinskim koeficijentima i
- Prozorskom verifikacijom.

Rezultati dobijeni korišćenjem DTCWT za sjedinjavanje slika su bolji od rezultata pomoću standardne DWT, jer na sjedinjenim slikama je izbegnut efekat "treperenja", koji se javlja kod DWT metode [172]. Treba napomenuti da je računarski povoljnija metoda DT CWT od metode SIDWT koja ne koristi decimaciju, ali je 4 puta zahtevnija od standardne DWT.

Kao kompromis u sjedinjavanju u prisustvu šuma može se koristiti i aritmetičko sjedinjavanje. Pošto nema decimacije, već se koeficijenti direktno sjedinjuju, očekuje se da nema pojave izobličenja ni u prisustvu šuma.

Smanjenje efekta šuma na video sekvence u najvećem broju slučajeva postiže se algoritmima za prigušenje šuma (engl. denoising). Slično kao kod algoritama za video sjedinjavanje i algoritmi za prigušenje šuma mogu se podeliti na frejm po frejm, dinamičke i 3D algoritme. Frejm po frejm metode imaju pristup prigušenju šuma za svaku sliku posebno i najpoznatiji su Viner (Wiener) filter [175], BL-GSM [176], globalno usrednjavanje [177], K-SVD [178], SURE-LET [179] i BM3D algoritam zasnovan na preklapanju blokova [180]. Međutim, pošto je korelacija između piksela na vremenskoj osi totalno ignorisana, ovi algoritmi se u nekim slučajevima ne mogu pouzdano upotrebiti za prigušenje šuma. Iz tog razloga su neki od algoritama prošireni na video sekvence koristeći kompenzaciju pokreta u algoritmima ST-GSM [181] i video SURE-LET [182]. Blokovski principi smanjenja efekta šuma na video sekvencama primenjeni su u [183] i [184] kroz algoritam video BM3D (VBM3D).

Trodimenzionalni algoritmi za prigušenje šuma koriste video sekvencu kao 3D signal. Od metoda izdvajaju se prigušenje u prostorno-vremenskom domenu sa adaptivnim lokalnim usrednjavanjem [185], 3D statistički filteri [186-188], 3D Kalman filter [189] ili filtriranje koristeći 3D Markov model [190]. Još jedan pristup 3D algoritma za prigušenje šuma je nazvan Polyview Fusion algoritam [189], koji koristi primenu tehnika za smanjenje šuma sa više strana video sekvence (prednje, bočne, gornje,..). Za primenu ovih algoritama neophodno je imati kompletnu sekvencu unapred, što ih u realnim sistemima čini neprimenjivim.

Primer jednog frejma iz sjedinjene video sekvence sa  $SNR=1$  Laplasovom piramidom i tehnikama za prigušenje šuma dat je na slici 7.5. Slika 7.5 u gornjem levom uglu predstavlja

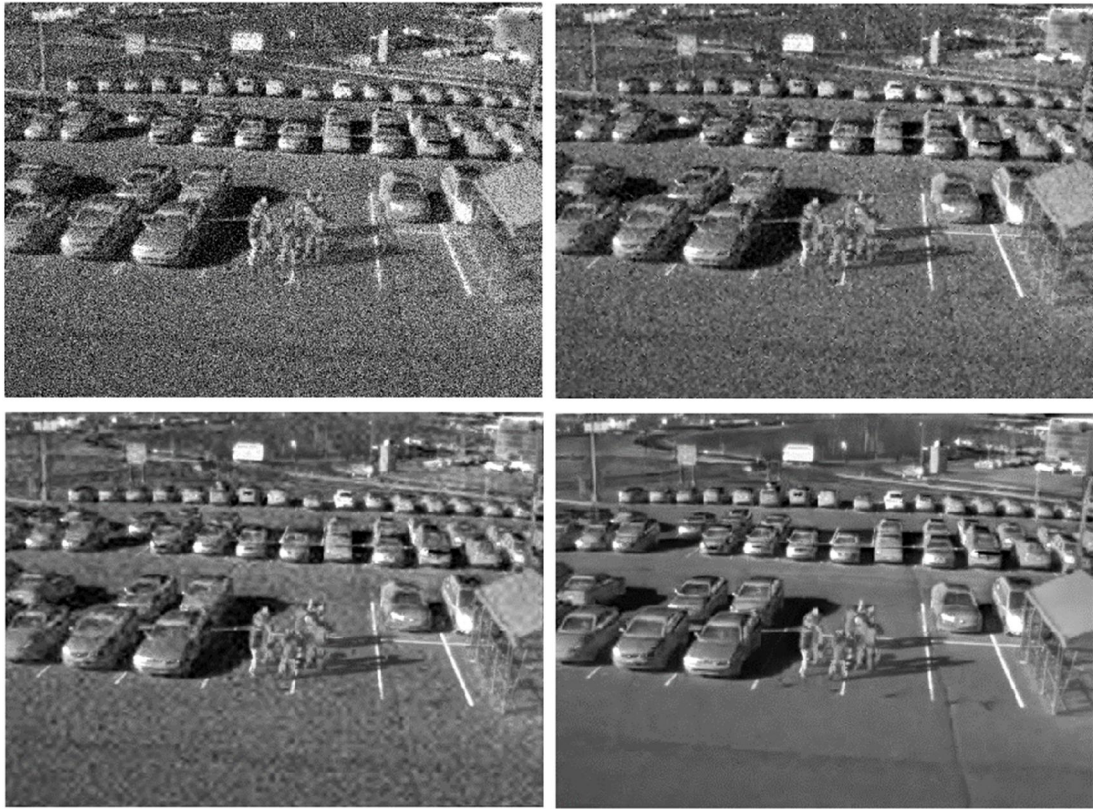
## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

---

sjedinjavanje Laplasovom piramidom bez prigušenja šuma termovizijske slike. Iako su objekti vidljivi, zbog velikog nivoa šuma u termovizijskoj sekvenci, fini detalji su slabije uočljivi. Posebno problem predstavlja ako se posmatra video sekvenca gde su velika treperenja između frejmova. Slika 7.5 gornji desni ugao predstavlja sjedinjavanje u slučaju kada je pre procesa primenjena strategija prigušenja šuma termovizijske slike frejm po frejm Wiener filtrom [175]. Uticaj šuma u sjedinjenoj slici je smanjen, ali i dalje je uočljiv i može da smeta posmatračima. Slike 7.5 u donjem redu predstavljaju sjedinjavanje u slučaju kada su primenjeni algoritmi za smanjenje šuma na video sekvencama algoritmima [182] i [187], na kojima je iako je snaga šuma veoma velika ( $SNR=1$ ), šum gotovo neuočljiv na sjedinjenoj slici. Pri tome nema ni razmućivanja na slici koja je karakteristična za veći broj algoritama za prigušenje šuma. Implementacija algoritama za smanjenje efekta šuma korišćena je iz [190-194]. Slike 7.6 gornji desni i donji levi ugao prikazuju mane algoritama 175 i 182 na drugom primeru i vidljivi su tragovi kvarenja kvaliteta slike odnosno mrlje. Dobre rezultate i na ovoj sekvenci pokazuje algoritam VBM3D (slika 7.6 donji desni ugao), gde se gotovo i ne vide efekti šuma.



Slika 7.5. Sjedinjene slike va1 sekvence sa metodama za prigušenje šuma.



**Slika 7.6. Sjedinjene slike parking sekvence sa metodama za prigušenje šuma.**

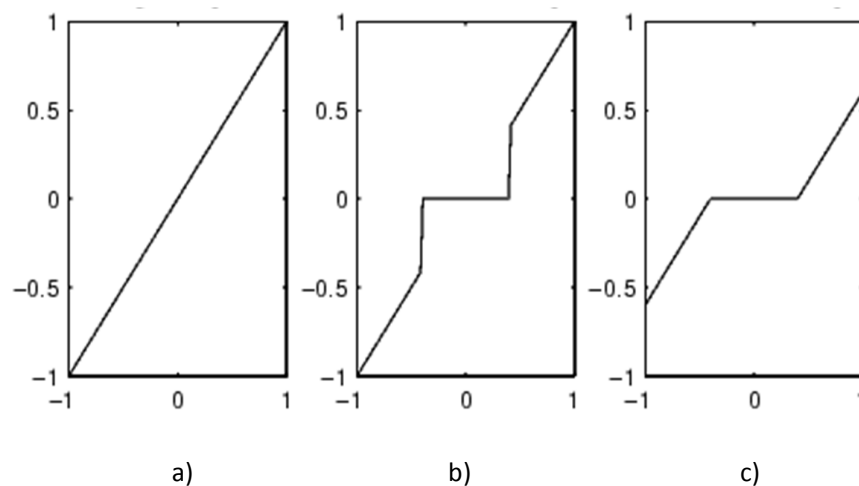
Međutim iako sve ove tehnike za prigušenje efekta šuma u sjedinjavanju video sekvenci imaju bolje rezultate od sjedinjavanja bez njihove primene, one su manje ili više računarski zahtevne i otežavaju primenu u realnim sistemima. Imajući u vidu da je ovo istraživanje usmereno na primenu multisenzorskih sistema za rad u realnom vremenu, svako dodatno angažovanje računarskih kapaciteta osim algoritama za sjedinjavanje bi onemogućilo njihovu primenu. Prema tome, potrebno je razmatrati mogućnost da se u samim algoritmima za sjedinjavanje implementira strategija za smanjenje efekta šuma ili da se analiziraju već poznati algoritmi i njihova mogućnost primene u sistemima koji unose šum u ulazne sekvence.

Jedan od pristupa za smanjenje efekta šuma prilikom sjedinjavanja slika je korišćenje metode pragovanja prilikom izbora multirezolucionih metoda za sjedinjavanja [195-197]. Dva najčešća pristupa prilikom metode pragovanja su korišćenje tvrdog (hard) i mekog (soft) pragovanja. Prilikom tvrdog pragovanja koeficijenti u piramidi ispod praga se postavljaju na nulu, dok ostali koeficijenti iznad praga ostaju nepromenjeni slika 7.7b. Kod mekog



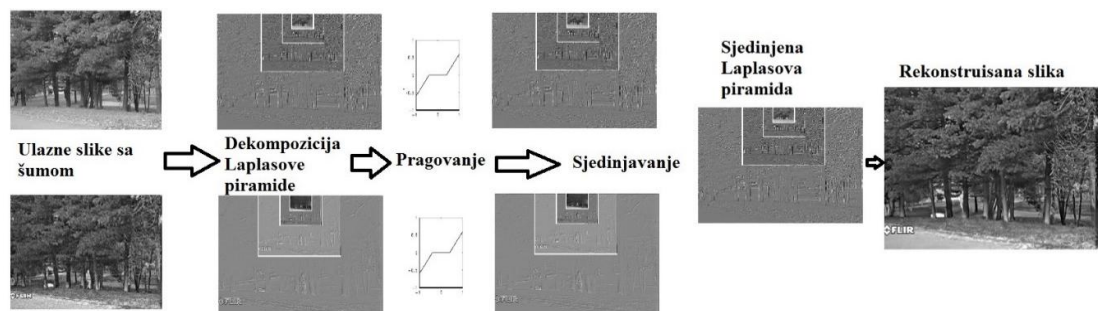
## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

pragovanja koeficijenti iznad praga se umanjuju za vrednost praga, dok se koeficijenti ispod praga postavljaju na nulu 7.7c. Ovo se primenjuje na nivoe piramide koje sadrže više frekvencije, odnosno sitnije detalje jer se upravo u njima nalaze komponente šuma i malih su vrednosti u odnosu na koristan signal. Naravno, pragovanjem se svakako i delovi korisnog signala gube jer nisu sve manje vrednosti šum i obrnuto, što može dovesti do izobličenja i gubitka informacija. Veoma bitan faktor je izbor praga, jer on određuje količinu izgubljenih podataka i kvalitet sjedinjene slike. Metoda pragovanja najčešće se primenjuje u sjedinjavanju DWT i DT-CWT metodama. Prikaz procesa sjedinjavanja sa mekim pragovanjem prikazan je na slici 7.8.



Slika 7.7. Primeri praga za smanjenje efekta šuma.

Iako metode za smanjenja efekta šuma u sjedinjenim slikama daju rezultate, one mogu usloviti gubitak nekih informacija koje mogu biti od značaja. Jedan od načina da se smanji efekat šuma, a da se zadrže korisne informacije je korišćenje algoritma za dinamičko sjedinjavanje.



Slika 7.8. Prikaz procesa sjedinjavanja piramidom sa mekim pragovanjem.

## 7.2. Merenje uticaja šuma na video sjedinjavanje

Procena uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci u prisustvu šuma je veoma složen zadatak. Za procenu je potrebno najpre definisati idealno video sjedinjavanje. Mera  $DQ$  koja je do sada korišćena za procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci procenjuje prenete informacije iz ulaznih sekvenci u sjedinjenu sekvencu. Vrednost mere  $DQ$  veća je sa povećanjem informacija prenetih iz ulaznih sekvenci u sjedinjenu, dok izobličenja u sjedinjenoj sekvenci smanjuju tu vrednost. Međutim, kada su ulazne ili jedna od ulaznih sekvenci sa sadržajem šuma, onda nije od interesa da se prenesu neželjene informacije. Gubitak ulaznih informacija u vidu šuma u sjedinjenoj sekvenci je prednost određenog algoritma da to postigne i objektivna mera treba da to predvidi.

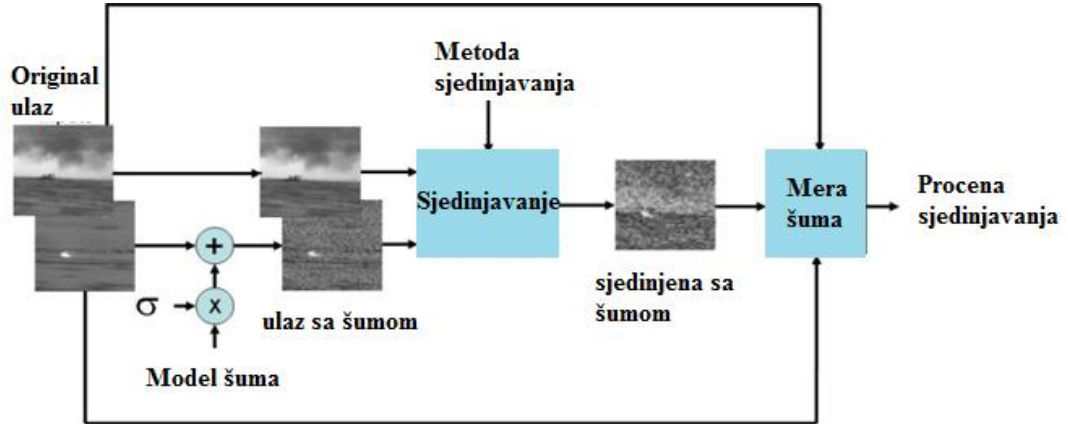
U cilju procene sjedinjavanja video sekvenci u prisustvu šuma korišćen je pristup definisan u [198]. Direktni pristup procene uspešnosti sjedinjavanja sekvence sa šumom  $A_{SNR}$  i sekvence  $B$  u sjedinjenu sekvencu  $F_{SNR}$  preko mere  $DQ^{A_{SNR}B/F_{SNR}}$  nije prema tome subjektivno prihvatljiv, jer informacije koje sadrže šum u sjedinjenoj sekvenci treba da smanje vrednost mere. Umesto toga potrebno je pronaći meru koja računa samo prave informacije i eliminiše vrednosti koje predstavljaju šum u sjedinjenoj sekvenci. Prave informacije sadržane su u ulaznoj  $A$  sekvenci bez šuma, tako da za procenu sjedinjavanja u prisustvu šuma treba koristiti  $DQ^{AB/F_{SNR}}$  pristup kao meru. Ovu meru nazvali smo dinamička mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja u prisustvu šuma i označava se kao  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  (noise  $DQ$ ) [199]. Vrednosti  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  rastu u slučaju kada sjedinjena video sekvenca bolje predstavlja ulazne  $A$  i  $B$  video sekvence, odnosno kada postoji smanjenje efekata šuma u sjedinjenoj  $F_{SNR}$  video sekvenci. Mera  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  direktno računa performanse sjedinjavanja u slučaju šuma u ulaznim sekvencama i sa smanjenjem  $SNR$  vrednosti mera bi trebala da uzme degradaciju procesa sjedinjavanja sa povećanjem šuma.

Princip merenja efekta šuma na sjedinjavanje video sekvenci prikazan je na slici 7.9. Princip uzima par ulaznih video sekvenci bez šuma i meri najpre snagu termovizijskog video signala. Zatim se kreira signal šuma  $n$  koji se linearno skalira da bi se dobila tražena vrednost  $SNR$  pre nego što se doda na čist video signal. Video sekvenca sa šumom se zatim sjedinjuje sa čistom video sekvencom televizijskog signala koristeći neku od metoda sjedinjavanja. Rezultat sjedinjavanja se poredi sa sjedinjavanjem bez prisustva šuma da bi se dobila mera  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$ .



## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

Na kraju, veoma važan faktor prilikom sjedinjavanja video sekvenci za rad u realnom vremenu je vreme potrebno za realizaciju algoritma. Može se desiti da i najbolja metoda za sjedinjavanje u prisustvu šuma bude računarski zahtevna i ne bude primenjiva u realnim sistemima.



Slika 7.9. Merenje efekta šuma u sjedinjavanju video signala.

Pored mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja sa šumom  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$ , bitna mera koja određuje mogućnost metode da suzbije šum je dobitak (*gain*) i definiše se kao:

$$NFG^{AB/F_{SNR}} = \frac{DQ^{FF/F_{SNR}} - DQ^{AA/A_{SNR}}}{DQ^{AA/A_{SNR}}} \quad (7.3)$$

Mera  $DQ^{FF/F_{SNR}}$  definiše uticaj šuma na sjedinjenu sekvencu sa šumom  $F_{SNR}$  i bez šuma  $F$ . Kod metoda za sjedinjavanje koje su otpornije na prisustvo šuma ova mera je veća, dok manje vrednosti pripadaju metodama koje više prenose šuma iz ulaznih u sjedinjenu sekvencu. Mera  $DQ^{AA/A_{SNR}}$  predstavlja relativne informacije koje su iz ulazne sekvence sadržane u istoj sekvenci sa šumom. Prema tome ukoliko je šum iz ulaznih sekvenci pojačan u sjedinjenoj sekvenci, mera  $NFG^{AB/F_{SNR}}$  ima negativne vrednosti, dok su pozitivne vrednosti za metode koje smanjuju efekat šuma.

Još jedan pristup proceni uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci sa šumom je preko pouzdanosti odnosno procena robustnosti neke metode i definiše se kao:

$$NDQR^{AB/F_{SNR}} = \frac{DQ^{AB/F_{SNR}}}{DQ^{AB/F}} \quad (7.4)$$

Robustnost sjedinjavanja predstavlja odnos mere uspešnosti sjedinjavanja za određeni nivo šuma ( $SNR$ ) i mere za sjedinjavanje video sekvence bez prisustva šuma. Na ovaj način može se videti koliko šum utiče na smanjenje efikasnosti određenog algoritma.

### 7.3. Analiza rezultata

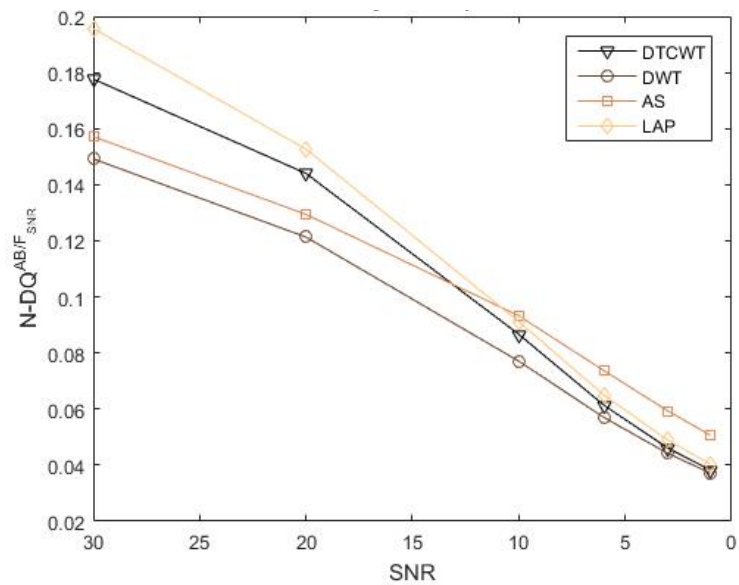
Za analizu sjedinjavanja video sekvenci u prisustvu šuma korišćene su baza 1 sa 6 video sekvenci i baza VTI sa 8 video sekvenci. Termovizijske sekvence su iskvarene šumom tako da se dobiju vrednosti  $SNR$  30, 20, 10, 6 i 1dB. Primeri iz dve sekvence sa šumom su već prikazane na slikama 7.3 i 7.4. Televizijske sekvence su ostale u izvornom obliku i nije im pridodat šum. Najpre je ispitan uticaj metoda za sjedinjavanje frejm po frejm koje bi mogle da pronađu primenu u realnim sistemima. Od metoda su za sjedinjavanje korišćeni kompleksni vejevleti sa dvostrukim stablom (DTCWT) [44], diskretna vejevlet transformacija (DWT) [7], aritmetičko usrednjavanje (AS) i sjedinjavanje Laplasovom piramidom (LAP) [8]. Primer sjedinjenih frejmova iz va1 sekvence za  $SNR=3$  termovizijske video sekvence i čiste televizijske sekvence dat je na slici 7.10. Sjedinjavanje DTCWT i DWT metodama slika 7.10 gornji red daju slične rezultat vizuelno gledajući i pored prisustva šuma vidljivi su objekti. Aritmetičko sjedinjavanje slika 7.10 donja levo smanjuje mogućnosti detekcije na mestima gde su komplementarni signali (čovjek) ali je šum manje prisutan u odnosu na ostale metoda i prijatnije je za posmatrača. Sjedinjavanje Laplasovom piramidom slika 7.10 donja desna daje rezultate bolje u odnosu na prethodne metode ali i ovde prisustvo šuma nije zanemarljivo.

Rezultati objektivnih mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja u prisustvu šuma za bazu 1 od 6 video sekvenci dati su na slikama 7.11 i 7.12. Na slici 7.11 dati su rezultati mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za četiri metode sjedinjavanja sa različitim nivoima  $SNR$  termovizijske video sekvence usrednjene za sve sekvence iz baze 1. Prema slici vidi se da je sjedinjavanje Laplasovom piramidom najuspešnije pri manjim snagama šuma u ulaznoj sekvenci, odnosno za  $SNR$  30 i 20 dB. Na ovim sekvencama vizuelno su gotovo i neuočljivi efekti šuma. Za veće nivoe šuma  $SNR$  10, 6, 3 i 1dB, najuspešnije je aritmetičko sjedinjavanje, što znači i manji uticaj šuma na sjedinjenu sekvencu.

## 7. Šum u sjedinjavanju video signala



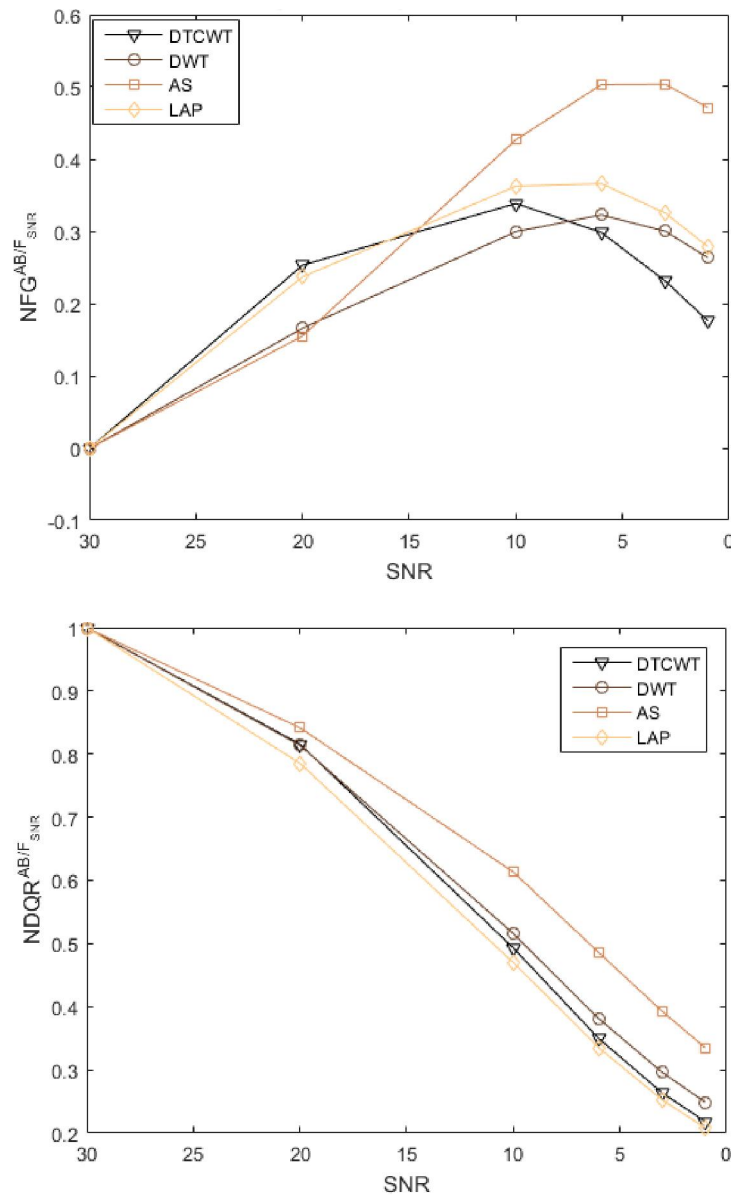
Slika 7.10. Sjedinjena slika va1 sekvence uz prisustvo šuma na termovizijskoj slici sa  $SNR=3$  metodama DTCWT, DWT, aritmetičko sjedinjavanje i sjedinjavanje Laplasovom piramidom respektivno.



Slika 7.11. Rezultati mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za četiri metode sjedinjavanja sa različitim nivoima  $SNR$  termovizijske video sekvence.

## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

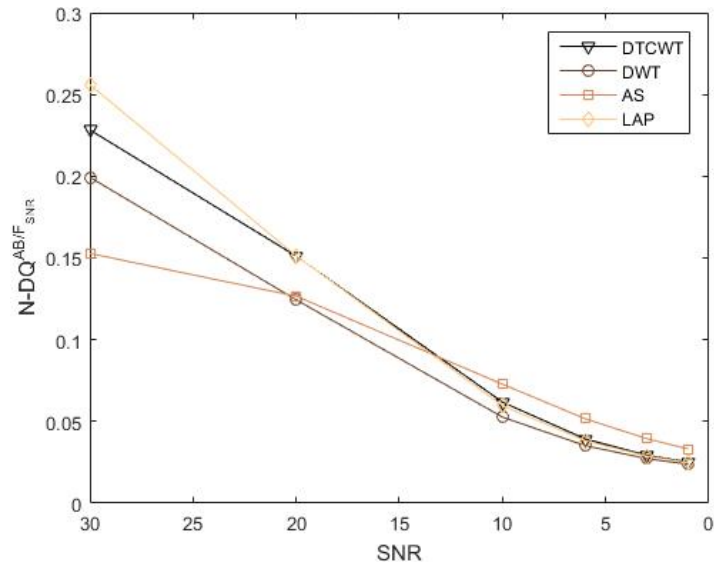
Rezultati mera za dobitak i robustnost sjedinjavanja koje su veoma važne u poređenju metoda za sjedinjavanje video sekvenci u prisustvu šuma dati su na slici 7.12. Dobitak  $NFG^{AB/F}_{SNR}$  za sjedinjavanje sekvenci sa visokim nivoom šuma je izrazito veliki kada je u pitanju aritmetičko sjedinjavanje. Sjedinjavanje Laplasovom i DTCWT ima slične vrednosti bez prisustva šuma i prednjači u odnosu na druge dve metode. Robustnost je u korist aritmetičkog sjedinjavanja na svim nivoima šuma, dok je kod Laplasove piramide najlošije, jer ovo sjedinjavanje ima veću vrednost u odnosu na ostale metoda bez prisustva šuma.



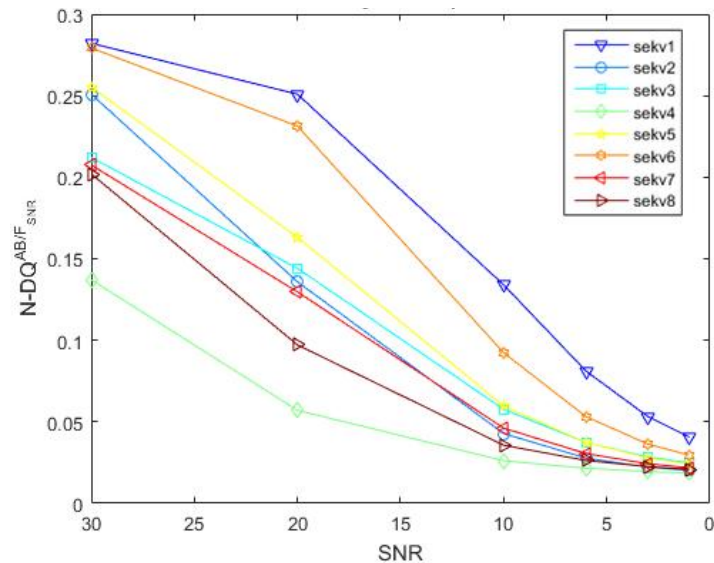
Slika 7.12. Rezultati mera za dobitak i robustnost na bazi 1.

## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

Rezultati mera na bazi VTI prikazani su na slikama 7.13 do 7.17. Slika 7.13 prikazuje rezultate mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za iste metode sjedinjavanja kao u prethodnom delu na 8 sekvenci. Slično kao i kod prethodne baze i ovde je sjedinjavanje Laplasovom piramidom najuspešnije za manje nivoe šuma ( $SNR=30$  i  $20$  dB), dok pri jačem signalu šuma aritmetička metoda je najuspešnija. Razlika u odnosu na prethodnu bazu je što metoda aritmetičkog sjedinjavanja pokazuje najlošije rezultate za  $SNR=30$ dB.



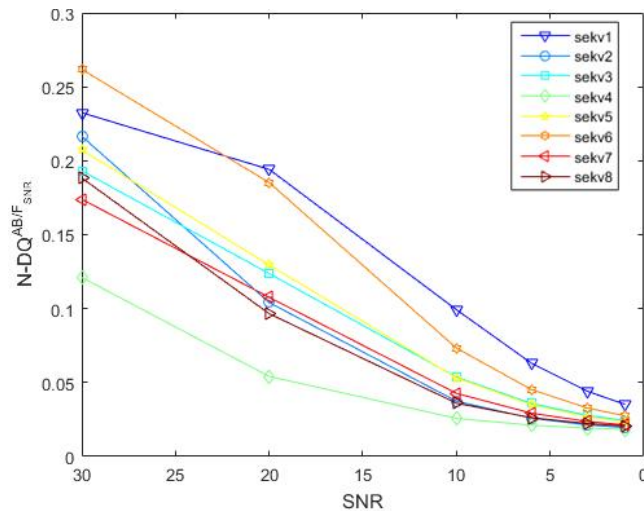
Slika 7.13. Rezultati mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za četiri metode sjedinjavanja sa različitim nivoima  $SNR$  termovizijske video sekvence na bazi VTI.



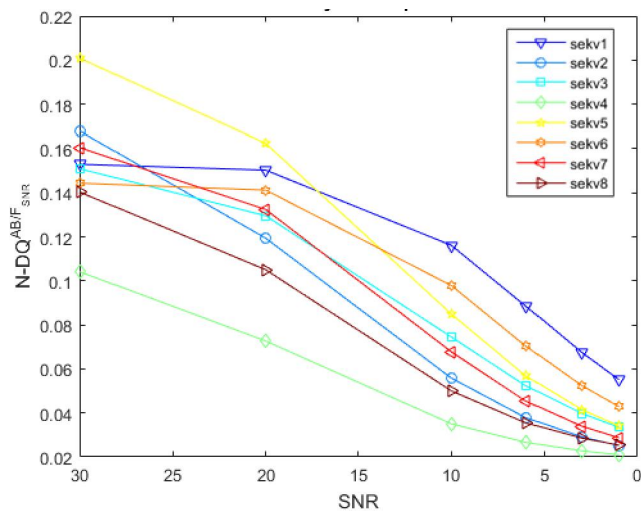
Slika 7.14. Rezultati mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za DTCWT metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima  $SNR$  termovizijske video sekvence na bazi VTI.

## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

Poredeći po sekvencama rezultate mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  (slike 7.14 do 7.17) za metode sjedinjavanja vidi se da za veće nivoe šuma sekvenca 1 daje najbolje rezultate u svim metodama. Razlog je sjedinjavanje na bližoj sceni gde su objekti uočljiviji, sjedinjavanje je uspješnije sa više nivoa šuma. Jedino kod aritmetičkog sjedinjavanja (slika 7.16) najbolji rezultati su petoj sekvenci. Najlošije rezultate sa svim nivoima šuma dobijeni su sa četvrte sekvence na kojoj je scenario udaljene sekvence.



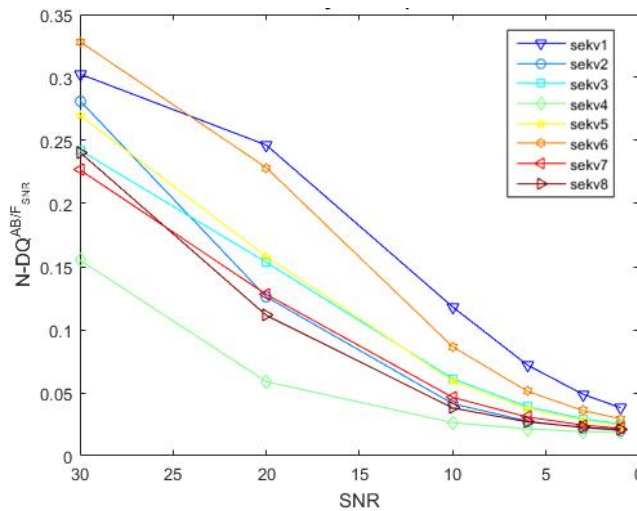
Slika 7.15. Rezultati mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za DWT metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima  $SNR$  termovizijske video sekvence na bazi VTI.



Slika 7.16. Rezultati mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za AS metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima  $SNR$  termovizijske video sekvence na bazi VTI.

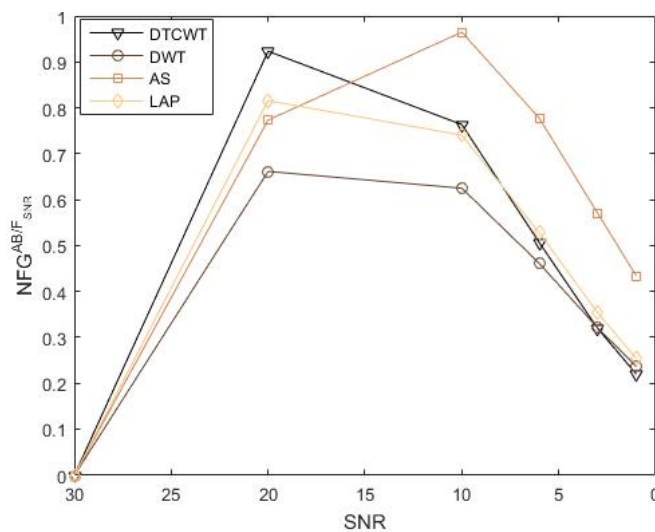


## 7. Šum u sjedinjavanju video signala



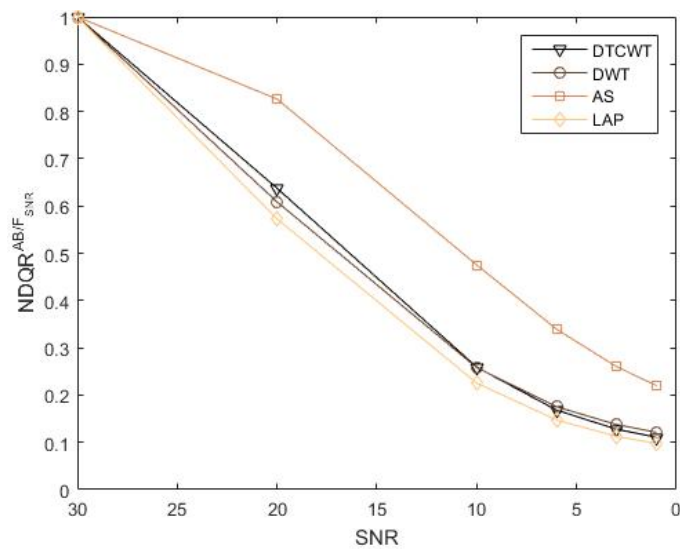
Slika 7.17. Rezultati mere  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  za Laplasovu metodu sjedinjavanja sa različitim nivoima  $SNR$  termovizijske video sekvence na bazi VTI.

Rezultati za dobitak i robustnost na bazi VTI, koji su date kao prosečne vrednosti za svih 8 sekvenci, prikazani su na slici 7.18 i 7.19. Dobitak (slika 7.18) kod veoma zašumljenih sekvenci je najveći kod metode aritmetičkog sjedinjavanja, dok je kod ostalih metoda približno isti. DTCWT je prema meri za dobitak najuspešnija kod manjih nivoa šuma. Sjedinjavanje DWT pokazuje najlošije rezultate za sve nivoe šuma. Rezultati za robustnost pokazuju prednosti aritmetičkog sjedinjavanja za sve nivoe šuma iz razloga što je ova metoda najlošija za sekvence bez šuma, dok je otpornija za sekvence sa šumom od ostalih metoda (slika 7.19).



Slika 7.18. Rezultat mere za dobitak bazi VTI.





Slika 7.19. Rezultat mere za robusnost bazi VTI.

### 7.3.1. Procena suzbijanja šuma u sjedinjenoj slici

Sledeći rezultati odnose se na sjedinjavanje sekvenci i uticaj tehnika za smanjenje efekata šuma. Prvo je razmatrano mesto na kome se primenjuje algoritam za smanjenje efekta šuma, odnosno da li je pogodno uraditi na samoj zašumljenoj sekvenci ili nakon sjedinjavanja. Testiranje je urađeno na obe baze za video sjedinjavanje. Na bazi 1 je izvršeno sjedinjavanje DWT metodom i metodom pragovanja za smanjenje efekta šuma. Metoda je koristila adaptivnu vrednost praga  $T$  [200] kroz nivoe vejllet transformacije koja se dobija kao:

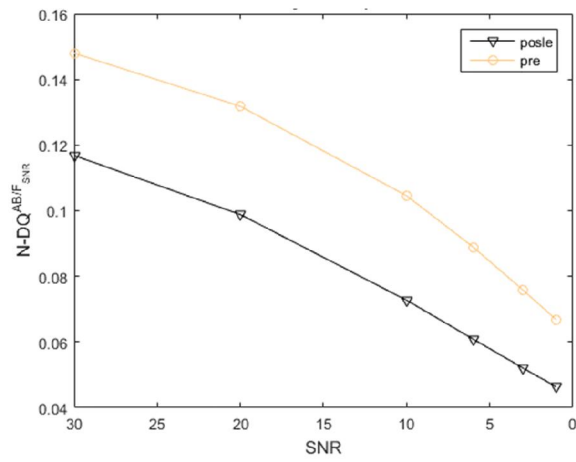
$$T = \sigma \sqrt{2 \log N} \quad (7.5)$$

Gde je  $N$  broj vejllet koeficijenata na određenom nivou, a  $\sigma$  standardna devijacija šuma i dobija se iz najvišeg nivoa vejllet transformacije kao [201]:

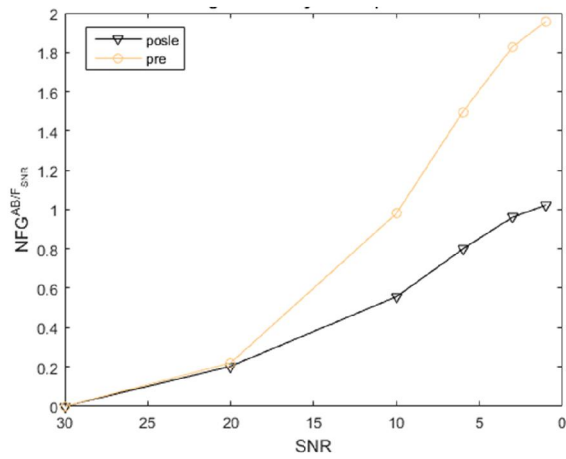
$$\sigma = \frac{\text{median}(|w|)}{0.6754} \quad (7.6)$$

Gde su  $w$  vrednosti koeficijenata najvišeg nivoa vejllet transformacije video sekvence. Sa slika 7.20 do 7.22 vidi se da je primena algoritma sa adaptivnim pragom (meko pragovanje) uspešnija pre procesa sjedinjavanja na ulaznoj sekvenci koja sadrži šum po sve tri mere. Razlika je uočljiva za sve nivoe šuma po meri  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$ , dok je za meru dobitka u procesu sjedinjavanja ova razlika veća sa povećanjem snage šuma.

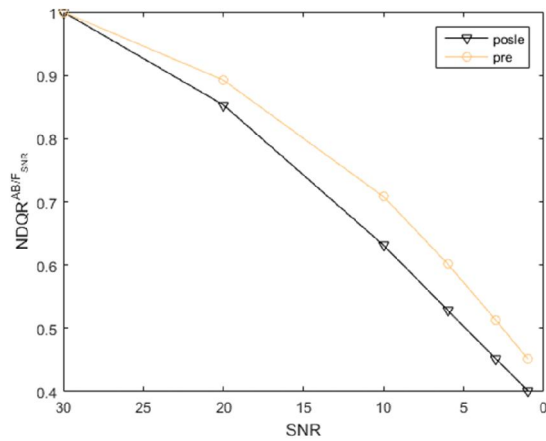
## 7. Šum u sjedinjavanju video signala



Slika 7.20. Rezultat mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja za primenu smanjenja šuma pre i posle sjedinjavanja.

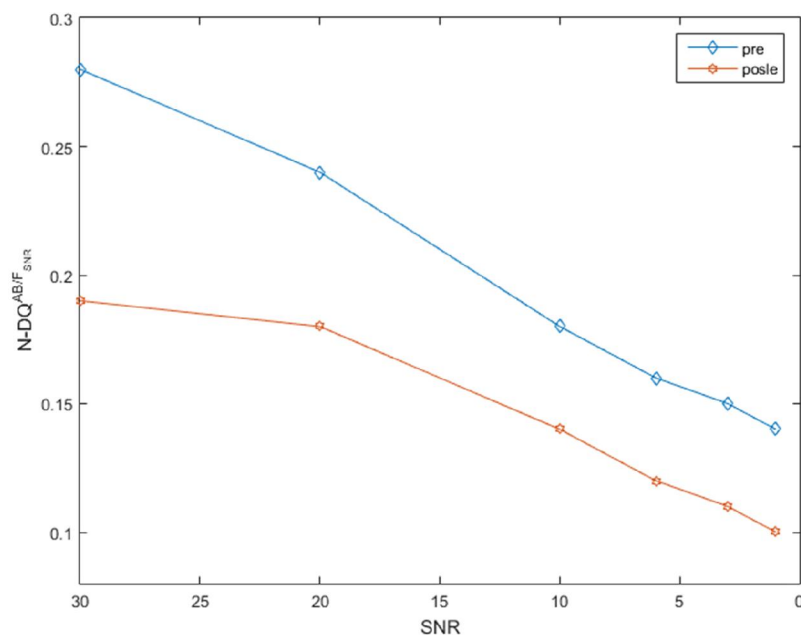


Slika 7.21. Rezultat mere za procenu dobitka za primenu smanjenja šuma pre i posle sjedinjavanja.



Slika 7.22. Rezultat mere za procenu robusnosti za primenu smanjenja šuma pre i posle sjedinjavanja.

Ispitan je uticaj složenijih algoritama za smanjenje efekta šuma u sjedinjavanju video sekvenci pre i posle sjedinjavanja. Na slici 7.23 prikazani su rezultati primene VBM3D metode [194] za smanjenje efekta šuma i sjedinjavanja Laplasovom piramidom. Slično kao i u prethodnom primeru pokazano je da smanjenje efekta šuma ima veći uticaj na rezultate sjedinjavanja ako se obavlja pre procesa sjedinjavanja, odnosno direktno na zašumljenu sekvencu. Ako bi se rezultati sa slike 7.23 uporedili sa sjedinjavanjem bez upotrebe algoritama za smanjenje šuma (slika 7.13), vidi se da pri malim nivoima šuma ovaj proces degradira uspešnost sjedinjavanja. Pri većim nivoima šuma uspešnost sjedinjavanja je u mnogome veća primenom algoritama za smanjenje šuma.



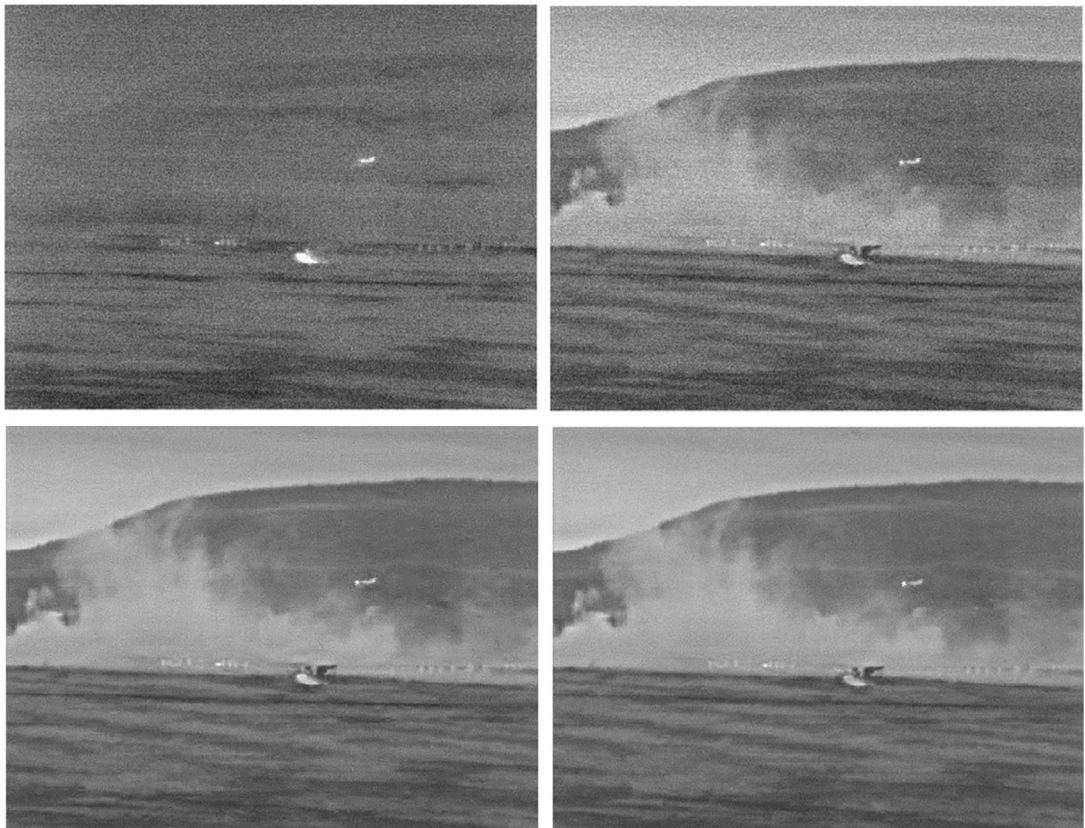
**Slika 7.23. Efekat primene VBM3D metode za smanjenje šuma pre i posle sjedinjavanja.**

Kao što je već ranije napomenuto, složenost algoritama za smanjenje efekta šuma je u većini slučajeva neprimenjivo u realnim sistemima. Prema tome ovo istraživanje bazirano je mogućnost smanjenja efekta šuma u samom procesu sjedinjavanja. Metoda pragovanja je veoma jednostavna i u multirezolucionim algoritmima moguće je primeniti bez veće računarske zahtevnosti. Ovde je najpre razmatrano koja od tehnika daje bolje rezultate, odnosno da li je uspešnije tvrdo ili meko pragovanje. Rezultati primene ove dve tehnike na metodi sjedinjavanja DTCWT dati su na slikama 7.24 i 7.25. Slika 7.24 prikazuje frejm iz MSO1 sekvence i sjedinjavanje u prisustvu šuma. Dodavanje šuma da bi se dobio  $SNR=1$  dB na termovizijsku video sekvencu dato je na slici 7.24 gornja leva. Primećuje se visok nivo

## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

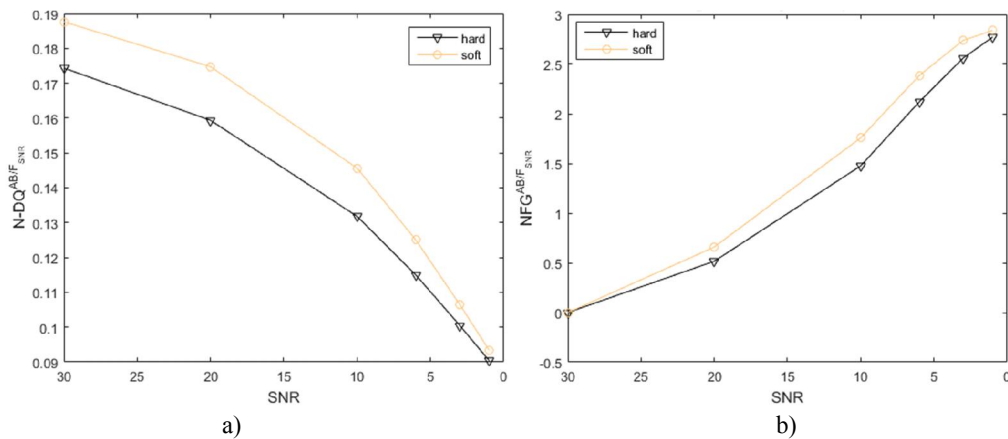
šuma, ali objekti sa jakim temperaturnim kontrastom su uočljivi. Sjedinjavanje metodom DTCWT televizijske i zašumljene termovizijske sekvence (slika 7.24 gornja desna) prenosi informacije iz obe ulazne sekvence, ali i šum koji je veoma uočljiv, posebno se ističe ako se posmatra video sekvenca. Sjedinjavanje metodom DTCWT sa tehnikama tvrdog i mekog pragovanja za prigušenje efekta šuma dato je na slici 7.24 donji red respektivno. Obe tehnike smanjuju šum na sjedinjenoj sekvenci ali je primetan i gubitak finih detalja kao posledica eliminacije koeficijenata koji nose visoke frekvencije.

Rezultati mera za sjedinjavanje video sekvenci u prisustvu šuma prikazani su na slici 7.25. Mera  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$  pokazuje da je metoda mekog (soft) praga uspešnija za sve nivoe šuma. Jedino je mala razlika kad su u pitanju visoki nivo šuma ( $SNR=1dB$ ), kada su ove dve tehnike približno iste prema meri  $N-DQ^{AB/F_{SNR}}$ , što se vidi i sa slike 7.25. Takođe, i prema meri za dobitak  $NFG^{AB/F_{SNR}}$  (Slika 7.25b) meko pragovanje je uspešnije ali uz malu prednost. Isto kao i kod prethodne mere za visoke nivoe šuma rezultatu su gotovo identični.



Slika 7.24. Sjedinjavanje slika metodom DTCWT sa tehnikama tvrdog i mekog pragovanja za prigušenje efekta šuma.

## 7. Šum u sjedinjavanju video signala



Slika 7.25. Rezultat sjedinjavanja slika metodom DTCWT sa tehnikama a) tvrdog i b) mekog pragovanja za prigušenje efekta šuma.

Metoda DTCW pokazala je veoma dobre rezultate u procesu smanjenja efekata šuma uz korišćenje tehnike pragovanja, ali je ona zbog svoje kompleksnosti veoma zahtevna i dovodi se u pitanje rad u realnom vremenu. Prilikom realizacije istraživanja merena su vremena potrebna za realizaciju algoritama u programskom paketu MATLAB. Eksperimenti su izvedeni na računaru sa i7 procesorom sa taktom 3.5MHz i 16GB RAM memorije. Vremena koja su bila potrebna za realizaciju algoritama na sjedinjavanju video sekvence u trajanju od 12 sekundi (300 frejmova) rezolucije 640x480 piksela data su u tabeli 7.1. Iz tabele se vidi da je za metu DTCW potrebno više od 3 puta realnog vremena za sjedinjavanje. Ostale metode imaju manje vrednosti i ispunjavaju uslove rada u realnom vremenu.

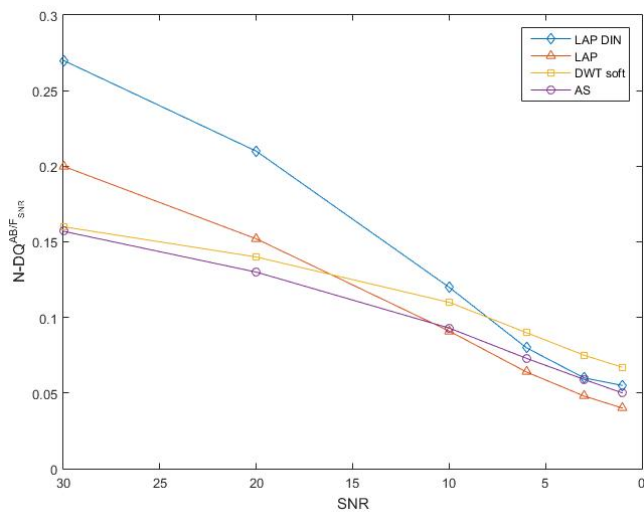
Tabela 7.1. Vremenska zahtevnost algoritama za sjedinjavanje uz prisustvo šuma.

	Vreme za sekvencu (12s)	Odnos u realnom vremenu
<b>DTCWT</b>	40	3.33
<b>DWT</b>	6.5	0.54
<b>AS</b>	0.9	0.075
<b>LAP</b>	8	0.67

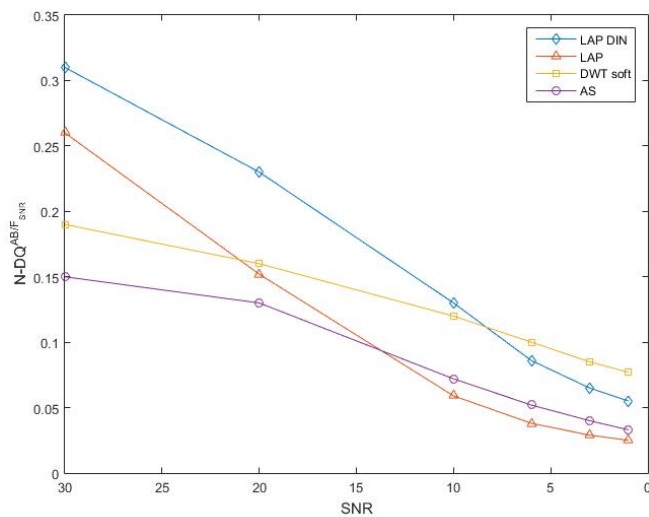
Prema tome u završnoj analizi metoda u obzir su uzete samo tehnike koje podržavaju rad u realnim sistemima. Radi lakšeg poređenja datu su četiri metode koje imaju različite pristupe sjedinjavanja (dinamičko, frejm po frejm i sa algoritmom za smanjenje šuma), čiji su rezultati mere  $NFG^{AB/F_{SNR}}$  za obe ulazne baze i različite nivoe šuma dati su na slici 7.26.

## 7. Šum u sjedinjavanju video signala

Dinamička Laplasova piramida, kao što je i očekivano na osnovu dosadašnjih rezultata daje najbolje rezultate na sekvencama sa manjom snagom šuma. Kao alternativa za manje nivoe šuma može da posluži i metoda Laplasove piramide frejm po frejm koja isto tako pokazuje visoke rezultate. Međutim, kada je prisustvo šuma značajno, odnosno njegova snaga nije zanemarljiva, sjedinjavanje uz tehniku za smanjenje šuma (mekano – soft pragovanje) pokazuje se kao najefikasnije. Takođe, ukoliko su raspoloživi skromni resursi za sjedinjavanje u realnom sistemu, aritmetičko sjedinjavanje pri višim nivoima šuma može isto da bude upotrebljeno sa boljim performansama od neki složenijih metoda.



a)



b)

Slika 7.26. Rezultati poređenja dinamičke Laplasove piramide sa standardnim metodama na zašumljenim video sekvencama a) baza 1 i b) baza VTI.

### 7.4. Sažetak

U ovom delu data je analiza sjedinjavanja slika u prisustvu šuma, koji je sastavni deo svakog sistema. Date su mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja u prisustvu šuma. Klasične metode za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika šum tretiraju kao koristan signal i na taj način se može pogrešno proceniti uspešnost metode za sjedinjavanje. Preko mera za procenu uspešnosti sjedinjavanja sa šumom ovaj efekat je izbegnut i mera tretira šum kao nepoželjnu komponentu. Izvršeno je poređenje metoda za sjedinjavanje uz zaključak da je sjedinjavanje usrednjavanjem piksela za visoke vrednosti šuma najefikasnije. Razlog je što se svaki piksel usrednjava i na taj način smanjuje efekat šuma na sjedinjenoj sekvenci.

Razmatrane su i tehnike koje služe za smanjenje efekta šuma i njihova primena na procesu sjedinjavanja. Razmatrano je i mesto primena tehnika za smanjenje šuma uz zaključak da je efikasnija primena pre procesa sjedinjavanja. Razlog je što proces sjedinjavanja unosi dodatna pojačanja šuma.



## 8. ZAKLJUČAK

U tezi su predstavljeni algoritmi koji pokrivaju oblast sjedinjavanja slika i videa televizijske i termovizijske kamere. Predložene metode su upoređene sa poznatim tehnikama iz literature i subjektivnim testovima koji su izvedeni u okviru istraživanja ove teze. Prilikom izrade algoritama prevashodno je vođeno računa na njihovo korišćenje u realnim sistemima.

U trećem delu teze predstavljena je metoda dinamičke Laplasove piramide za sjedinjavanje video sekvenci koja je zasnovana na sjedinjavanju Laplasovom piramidom uz uzimanje dinamičke komponente. Sjedinjavanje se vrši korišćenjem tri sukcesivna frejma (prethodni, tekući i sledeći frejm) video sekvence iz ulaznih sekvenci kako bi se sjedinio tekući frejm. Ono što predstavlja prednost u odnosu na postojeće algoritme za video sjedinjavanje je što se za sjedinjavanje jednog frejma vrši razlaganje Laplasovom piramidom samo jednog frejma, dok se ostala dva uzimaju iz memorije. Odnosno za sjedinjavanje sledećeg frejma korišće se dva frejma iz prethodnog sjedinjavanja, što značajno smanjuje vreme procesiranja. Za pikselni izbor je primenjena tehnika značaja svakog piksela iz tri frejma, zasnovano na energiji okoline piksela kroz nivoe Laplasove piramide. Metoda je poređena objektivnim i subjektivnim testovima sa postojećim metodama za sjedinjavanje mirnih slika kao što su Laplasova piramida, DWT, SIDWT i metodom za dinamičko sjedinjavanje MCWT. Rezultati pokazuju prednost predložene metode nad postojećim. Izvršeno je i poređenje sa 3D Laplasovom piramidom, metodom koja koristi celu sekvencu i nije primenjiva u realnim sistemima i u tom slučaju su dobijeni nešto malo lošiji rezultati sa predloženom metodom.

U četvrtom delu data je objektivna mera za proračun uspešnosti sjedinjavanja sekvence slika,  $DQ$  bazirana je na proračunu očuvanja prostorno-vremenskih ivičnih informacija iz ulaznih sekvenci u sjedinjenu sekvencu. Za proračun ove mere koriste se po tri uzastopna frejma iz

ulaznih i sjedinjene sekvence. Prednost u odnosu na postojeće metode je dopunsko vremensko filtriranje frejmova koje je otpornije na šum. Mera  $DQ$  daje prenesene informacije iz ulaznih sekvenci u sjedinjenu sekvencu. Doprinos očuvanju informacija računa se za svaku lokaciju  $m,n$  na slici preko već postojeće mere na bazi očuvanja ivica iz ulaznih slika u sjedinjenu sliku. Prethodni i sledeći frejm iz svake sekvence koriste se za proračun vremenskog gradijenta informacija koji obezbeđuje proračun očuvanja ulaznih vremenskih informacija na svakoj lokaciji u sjedinjenu sekvencu. Oba skupa proračuna integrišu se u jedan skup za proračun očuvanja prostorno-vremenskih informacija za svaki piksel na slici. Ovi proračuni množe se težinskim koeficijentima koji su dobijeni kao rezultat subjektivnog značaja za tekući frejm. Rezultati dobijeni za svaki frejm se onda usrednjavaju da bi se dobila mera za celu sekvencu.

Rezultati mere  $DQ$  upoređeni su sa rezultatima mere  $Q$  za svaki frejm i rezultatima postojećih mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci. Prednost mere  $DQ$  u odnosu na postojeće metode je bolja usaglašenost sa subjektivnim testovima i što se postiže značajno bolje rangiranje između metoda za sjedinjavanje.

Peti deo rada predstavio je metode za kolor sjedinjavanje slika. Za sjedinjavanje kolor i monohromatske slike je korišćen  $\alpha\beta$  kolor sistem čiji su kanali slabo korelisani i upravo je to iskorišćeno kao prednost za očuvanje prirodnosti sjedinjene slike. Predstavljene su 2 metode za sjedinjavanje kolor i monohromatske slike nazvane beta metoda i beta poboljšana metoda. Beta metoda kodira termovizijsku sliku u beta kanalu koji predstavlja crvenu boju i na taj način ističe toplije objekte iz termovizijske slike. Ispostavilo se da na mestima gde je vrednost u kanalu intenziteta niska, kodiranje samo u kanalu boje ne može najbolje da predstavi tople objekte. Iz tog razloga je razvijena, kao nešto složenija beta poboljšana metoda u kojoj se vrši sjedinjavanje i u kanalu intenziteta HSV kolor sistema. Dobijeni rezultati su upoređeni sa postojećim metodama subjektivnim i objektivnim merama i daju prednost predloženim metodama. Pored toga predstavljene su i metode za sjedinjavanje u HSV kolor sistemu nazvane HSVKS i HSVKM. HSVKS je računarski efikasna metoda koja prenosi samo izdvojene objekte iz IR slike u kolor TV sliku i na taj način vrši očuvanje prirodnosti boja sjedinjene slike. Slično je urađeno i kod HSVKM, s tim što su u ovom slučaju obe ulazne slike monohromatske. U oba slučaja topli objekti iz IR slike su na sjedinjenoj slici prikazani crvenom bojom.

Šesti deo teze predstavio je algoritme za procenu uspešnosti sjedinjavanja kolor slika. Predložena su dva pristupa u različitim kolor sistemima, odnosno mera  $MChQ$  u RGB kolor sistemu i mera  $CQ$  u HSV kolor sistemu. Mere su zasnovane na očuvanju gradijenata iz ulaznih u sjedinjenu sliku u smislu očuvanja informacija i boje. Jednostavna  $MChQ$  mera procenjuje očuvanje gradijenata kroz RGB kanale posebno i daje ukupnu meru sabirajući sa težinskim koeficijentima ove komponente. Mera  $CQ$  razdvaja očuvanje gradijenata kroz intenzitet i boju koristeći HSV kolor sistem. Poređenje sa subjektivnim testovima daje prednost predstavljenim pristupima u poređenju sa dosadašnjim metodama za procenu kolor sjedinjavanja slika.

Sedmi deo teze obradio je uticaj šuma, kao neželjenog efekta na sjedinjavanje slike i video sekvenci. Dat je način za proračun uspešnosti sjedinjavanja u prisustvu šuma koristeći očuvanje gradijenata iz ulaznih u sjedinjenoj sekvenci. Razlika ovog pristupa u odnosu na standardne mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja je što predstavljena mera tretira šum kao neželjeni efekat. Standardne mere za procenu uspešnosti sjedinjavanja slika vide šum kao signal u ulaznim slikama i vrše proračun prenosa šuma u sjedinjenu sliku. Izvršena je analiza primene algoritama za prigušenje šuma i mesta primene (na ulaznim slikama pre procesa sjedinjavanja ili na sjedinjenoj slici). Pokazano je da je efikasnije primeniti algoritam za smanjenje efekta šuma pre procesa sjedinjavanja. Razlog ovakvog zaključka je što metode za sjedinjavanje unose dodatno pojačanje šuma.

Zaključak je da su metode predstavljene u ovoj tezi u poređenju sa postojećim metodama dale bolje rezultate kada se uzme u obzir njihova primena na većem broju različitih scenarija. Neke od postojećih metoda su ograničene samo na određene scenarije primene. Deo algoritama je implementiran u realnim multisenzorskim sistemima i ima praktičnu primenu.

U daljem delu planirana je implementacija i primena svih metoda u realnim sistemima i njihova adaptacija u zavisnosti od rezultata.

---

## LITERATURA

- [1] Metwalli, M. R.; Nasr, A. H.; Allah, O. S. F.; El-Rabaie, S. Image fusion based on principal component analysis and high-pass filter, In *Computer Engineering & Systems*, 2009. ICCES 2009. International Conference on, 63-70.
- [2] Petrović V.; Znić B. Multisenzorsko sjedinjavanje informacija za otkrivanje, praćenje i identifikaciju ciljeva, TELFOR 2001, Beograd
- [3] Li, S.; Kang, X.; Fang, L.; Hu, J.; Yin, H. Pixel-level image fusion: A survey of the state of the art. *Information Fusion*, 2017, 33, 100–112.
- [4] Blum, R. S.; Zheng L. Multi-sensor image fusion and its applications, CRC press, 2005.
- [5] Zin, T. T.; Takahashi, H.; Hama, H.; Toriu, T. Fusion of infrared and visible images for robust person detection, INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [6] Yamamoto K.; Yamada K. Image Processing and fusion to detect Navigation Obstacles, *Proc. SPIE*, 1998, 3374, 337-346
- [7] Chipman, L.J.; Orr, T.M.; Graham, L.N. Wavelets and image fusion. In *Proceedings of the International Conference on Image Processing*, Washington, DC, USA, 23–26 October 1995, 248–251.
- [8] Burt P.; Adelson E. The Laplacian pyramid as a compact image code, *IEEE Transactions on Communication*, COM-31, 1983, 532-540.
- [9] Toet A. Image fusion by a ratio of low-pass pyramid, *Pattern Recognition Letters* 9, 1989, 245-253.
- [10] Metwalli, M. R.; Nasr, A. H.; Allah, O. S. F.; El-Rabaie, S. Image fusion based on principal component analysis and high-pass filter, In *Computer Engineering & Systems*, 2009 International Conference on, 63-70.
- [11] Zhang, Z.; Blum, R. S. Region-based image fusion scheme for concealed weapon detection, *Proceedings of the 31st Annual Conference on Information Sciences and Systems* 1997, 168-173.
- [12] Xiao-Bo, Q.; Jing-Wen, Y.; Hong-Zhi, X.; & Zi-Qian, Z. Image fusion algorithm based on spatial frequency-motivated pulse coupled neural networks in nonsubsampled contourlet transform domain, *Acta Automatica Sinica*, 2008, 34(12), 1508-1514.
- [13] Singh, H.; Raj, J.; Kaur, G.; Meitzler, T. Image fusion using fuzzy logic and applications. In *Fuzzy Systems, Proceedings. 2004 IEEE International Conference on*, 337-340.
- [14] Zhu, M.; Yang, Y. A new image fusion algorithm based on fuzzy logic. In: *Intelligent Computation Technology and Automation (ICICTA)*, International Conference on. IEEE, 2008, 83-86.
- [15] Singhal, A.; Jiebo L.; Christopher B. A multilevel Bayesian network approach to image sensor fusion, *Information Fusion*, 2000. FUSION 2000. Proceedings of the Third International Conference on. Vol. 2. IEEE, 2000.
- [16] Jiayi, M.A.; Yong, M.A.; Chang, L. Infrared and visible image fusion methods and applications: A survey. *Inf. Fusion* 2019, 45, 153–178.
- [17] Bulanon, D.; Burks, T.; Alchanatis, V. Image fusion of visible and thermal images for fruit detection, *Biosystems Engineeringm*, 2009, 103 (1), 12–22.

- 
- [18] Yu, X.; Ren, J.; Chen, Q.; Sui, X. A false color image fusion method based on multi-resolution color transfer in normalization ycbcr space, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2014, 125 (20), 6010–6016.
- [19] Niu, Y.; Xu, S.; Wu, L.; Hu, W. Airborne infrared and visible image fusion for target perception based on target region segmentation and discrete wavelet transform, *Mathematical Problems in Engineering*, 2012, 732–748.
- [20] Da Cunha, A. L.; Zhou, J.; Do, M. N. The nonsubsamped contourlet transform: theory, design, and applications, *IEEE Transactions on Image Processing*, 2006, 15 (10), 3089–3101.
- [21] Yan, X.; Qin, H.; Li, J.; Zhou, H.; Zong, J.; Zeng, Q. Infrared and visible image fusion using multiscale directional nonlocal means filter, *Applied Optics*, 2015, 54 (13), 4299–4308.
- [22] Bavirisetti, D. P.; Dhuli, R. Fusion of infrared and visible sensor images based on anisotropic diffusion and karhunen-loeve transform, *IEEE Sensors Journal*, 2016, 16(1), 203–209
- [23] Madheswari, K.; Venkateswaran, N. Swarm intelligence based optimisation in thermal image fusion using dual tree discrete wavelet transform, *Quant. Infrared Thermogr. J.* 2017, 14, 24–43.
- [24] Wang, Z.; Gong, C. A multi-faceted adaptive image fusion algorithm using a multi-wavelet-based matching measure in the pcnn domain, *Applied Soft Computing*, 2017, 61, 1113–1124.
- [25] Xu, L.; Du, J.; Zhang, Z. Infrared-visible video fusion based on motion-compensated wavelet transforms, *IET Image Processing*, 2014, 9 (4), 318–328.
- [26] Naidu, V. Novel image fusion techniques using dct, *International Journal of Computer Science and Business Informatics*, 2013, 5 (1), 1–18.
- [27] Candès, E.; Demanet, L.; Donoho, D.; Ying, L. Fast discrete curvelet transforms, *Multiscale Model. Simul.* 2006, 5, 861–899.
- [28] Kong, W.; Lei, Y.; Zhao, H. Adaptive fusion method of visible light and infrared images based on non-subsampled shearlet transform and fast non-negative matrix factorization, *Infrared Physics & Technology*, 2014, 67, 161–172.
- [29] Do, M.N.; Vetterli, M. The finite ridgelet transform for image representation, *IEEE Trans. Image Process.* 2003, 12, 16–28.
- [30] Zhang, Q.; Liu, Y.; Blum, R. S.; Han, J.; Tao, D. Sparse representation based multi-sensor image fusion for multi-focus and multi-modality images: A review, *Information Fusion*, 2018, 40, 57–75.
- [31] Xiang, T.; Yan, L.; Gao, R. A fusion algorithm for infrared and visible images based on adaptive dual-channel unit-linking pcnn in nsct domain, *Infrared Physics & Technology*, 2015, 69, 53–61.
- [32] Kong, W.; Zhang, L.; Lei, Y. Novel fusion method for visible light and infrared images based on nsst–sf–pcnn, *Infrared Physics & Technology*, 2014, 65, 103–112.
- [33] Bavirisetti, D. P.; Xiao, G.; Liu, G. Multi-sensor image fusion based on fourth order partial differential equations, *Proceedings of the International Conference on Information Fusion*, 2017, 1–9.
- [34] Mitchell, H. B. *Image fusion: theories, techniques and applications*, Springer Science & Business, Media, 2010.
- [35] Patil, U.; Mudengudi, U. Image fusion using hierarchical pca, *Proceedings of the International Conference on image Information Processing*, 2011, 1–6.

- 
- [36] Naidu, V. Hybrid ddct-pca based multi sensor image fusion, *Journal of Optics*, 2014, 43 (1), 48–61.
- [37] Cvejic, N.; Bull, D.; Canagarajah, N. Region-based multimodal image fusion using ica bases, *IEEE Sensors Journal*, 2007, 7 (5), 743–751.
- [38] Mitianoudis, N.; Stathaki, T. Pixel-based and region-based image fusion schemes using ica bases, *Information Fusion*, 2007, 8 (2), 131–142.
- [39] Mou, J.; Gao W.; Song, Z. Image fusion based on non-negative matrix factorization and infrared feature extraction, *Proceedings of the International Congress on Image and Signal Processing*, 2013, 1046–1050.
- [40] Cui, G.; Feng, H.; Xu, Z.; Li, Q.; Chen, Y. Detail preserved fusion of visible and infrared images using regional saliency extraction and multi-scale image decomposition, *Optics Communications*, 2015, 341, 199–209.
- [41] Petrovic, V.; Cootes, T.; Pavlovic, R. Dynamic image fusion performance evaluation, In *Proceedings of the 9th International Conference on Information Fusion*, Québec, Canada, 9–12 July 2007, 1–7.
- [42] Rockinger, O.; Fechner, T. Pixel-level image fusion: The case of image sequences, *Proc. SPIE* 1998, 3374, 378–388.
- [43] Xu, L.; Junping D.; Zhenhong Z. Infrared-visible video fusion based on motion-compensated wavelet transforms, *IET Image Processing*, 2015, 9.4, 318–328.
- [44] Selesnick, I.W.; Li, K.Y. Video denoising using 2D and 3D dual-tree complex wavelet transforms, *Proc. SPIE's 48th Annual Meeting. Int. Society for Optics and Photonics*, 2003, 607–618.
- [45] Horn, B.K.; Schunck, B.G. Determining optical flow, *Artif. Intell.*, 1981, 17, 185–203
- [46] Li, J.; Nikolov, S.G.; Benton, C.P.; Scott-Samuel, N.E. Motion-based video fusion using opticalflow information, *Proc. Ninth Int. Conf. Information Fusion*, Florence, Italy, July 2006, 1–8.
- [47] Masini, A.; Branchitta, F.; Diani, M.; Corsini, G. Sight enhancement through video fusion in a surveillance system, In *Image Analysis and Processing, 2007. ICIAP 2007. 14th International Conference on*, 554–559.
- [48] Hill, P. R.; Ashim, A.; Bull, D. R. Scalable video fusion, *IEEE International Conference on Image Processing. IEEE*, 2013, 1277–1281.
- [49] Wang, Y.; Wang, I.; Selesnick A. Video coding using 3D dual-tree wavelet transform, *Image Video Process.*, 2007, 1–15.
- [50] Hill, P. R.; Achim, A.; Bull, D. R. 'Scalable fusion using a 3D dual tree wavelet transform', *Sensor Signal Processing for Defence (SSPD 2011)*, January 2011, 35
- [51] Zhang, Q.; Yueling, C.; Long W. Multisensor video fusion based on spatial-temporal salience detection, *Signal Processing*, 2013, 93.9, 2485–2499.
- [52] Zhang, Q.; Wang, Y.; Levine, M. D.; Yuan, X.; Wang, L. Multisensor video fusion based on higher order singular value decomposition, *Information Fusion*, 2015, 24, 54–71.
- [53] Kai Z.; Zhou W. Polyview Fusion: A Strategy to enhance video denoising algorithms, *IEEE Trans. Image Processing*, 2012, 21.4.
- [54] Bruhn, A.; Weickert, J.; Schnörr, C. Lucas/Kanade meets Horn/Schunck: combining local and global optical flow methods, *Int. J. Comput. Vis.*, 2005, 61, (3), 211–231.
- [55] Christinal, J. J.; Jemima J. A survey on color image fusion for multi sensor night vision image, *J. Adv. Res. Comput. Eng. Technol*, 2012, 1.9, 151–155.

- 
- [56] Toet A.; Walraven B. New false color mapping for image fusion, *Optical Engineering*, 1996, 35.3, 650-658.
- [57] McDaniel, R. V.; Scribner, D. A.; Krebs, W. K.; Warren, P. McCarley, J. Image fusion for tactical applications, , *Infrared Technology and Applications XXIV*, 3436, 685-695.
- [58] Huang, G.; Ni, G.; Zhang, B. Visual and infrared dual-band false color image fusion method motivated by Land's experiment, *Optical Engineering*, 2007, 46. 2, 1-10
- [59] Waxman, A. M.; Aguilar, M.; Baxter, R. A.; Fay, D. A.; Ireland, D. B.; Racamato, J. P.; Ross, W. D. Opponent-color fusion of multi-sensor imagery: visible, IR and SAR, *Proceedings of IRIS Passive Sensors*, 1998, 1, 43-61.
- [60] Waxman, A. M. Solid-state color night vision: fusion of low-light visible and thermal infrared imagery, *Lincoln Laboratory Journal*, 1998, 11.1, 41-60.
- [61] Aguilar, M.; Fay, D. A.; Ross, W. D.; Waxman, A. M.; Ireland, D. B.; Racamato, J. P. Real-time fusion of low-light CCD and uncooled IR imagery for color night vision, *Proceedings of the SPIE*, 1998, 3364, 124-35.
- [62] Jang, J. H.; Ra, J. B. Pseudo-Color Image Fusion Based on Intensity-Hue-Saturation Color Space, IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, 2008, Seoul, Korea, August 20 - 22,
- [63] Guangxin, L.; Shuyan X. An Efficient Color Transfer Method for Fusion of Multiband Nightvision Images, Information Engineering and Computer Science, 2009. ICIECS 2009. International Conference on.
- [64] Toet, A. Color the night: Applying Daytime Colors to Nighttime Imagery, *Enhanced and Synthetic Vision*, 2003, SPIE-5081, 168-178.
- [65] Toet, A. "Natural colour mapping for multiband nightvision imagery", *Information fusion*, 2003. 4.3, 155-166.
- [66] Hogervorst, M. A.; Toet, A. Fast and true-to-life application of daytime colours to night-time imagery, Information Fusion, 2007 10th International Conference on, 9-12 July 2007, 1-8.
- [67] Toet, A.; Hogervorst, M. A. Progress in color night vision, *Optical Engineering*, 2012. 51.1, 010901-010901.
- [68] Toet, A.; Hogervorst, M. A. Towards an Optimal Color. Representation for Multiband Nightvision Systems, 12th International Conference on Information Fusion Seattle, WA, USA, July 6-9, 2009.
- [69] Zheng, Y.; Essock, E. A. A local-coloring method for night-vision colorization utilizing image analysis and fusion, *Information Fusion*, 2008, 9, 186 - 199.
- [70] Makwana, I.; Tanish Z.; Vivek G. Efficient color transfer method based on colormap clustering for night vision applications, Computer Vision, Pattern Recognition, Image Processing and Graphics (NCVPRIPG), 2011 Third National Conference on. IEEE, 2011.
- [71] Yin, S.F.; Cao, L.C.; Ling, Y.S. One color contrast enhanced infrared and visible image fusion method, *Infrared Physics and Technology*, 2010, 53, 146- 150.
- [72] Gang, L.; Guohong, H. Color Fusion Based on EM Algorithm for IR and Visible Image" 2010 IEEE
- [73] Weihua, H.; Yongcai, G.; Chao, G. An adaptive color fusion method for night-vision images with NSCT, 2011 Elsevier.



- 
- [74] Shiming, S.; Lingxue, W.; Wei-qi, J.; Yuanmeng, Z. Color night vision based on color transfer in YUV color space, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2007: Image Processing, Liwei Zhou, Editors, 66230B.
- [75] Yhang, J.; Han, Y.; Chan, B.; Yuan, Y.; Qian, Y.; Qiu, Y. Real-time Color Image Fusion for Infrared and Low-light-level Cameras, International Symposium on Photoelectronic Detection and Imaging 2009, Proc. Of SPIE Vol.7383
- [76] Xiaoyan, Q.; Yujin, W.; Bangfeng, W. Fast color contrast enhancement method for color night vision, *Infrared Physics & Technology*, 2011, 122– 129.
- [77] Xiuqiong, Z.; Qingli, C.; Tao, M. Comparison of fusion methods for the infrared and color visible images," *iccsit*, 2009, 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, 2009, 421-424.
- [78] Kriesel, J. M.; Gat, N. True-color night vision (TCNV) fusion system using a VNIR EMCCD and a LWIR microbolometer camera, Signal Processing, Sensor Fusion, and Target Recognition XIX. Edited by Kadar, Ivan. Proceedings of the SPIE, 2010, 7697, 1-8.
- [79] Huang, M.; Leng, J.; Xiang, C. A study on IHS+WT and HSV+WT method for image fusion, in Proc. of International Symposium on Information Science and Engineering, 2008, 1, 665-668.
- [80] Zhiyun, X.; Rick, S. B. Concealed Weapon Detection Using Color Image Fusion, Information Fusion, 2003. Proceedings of the Sixth International Conference of 2003, 622-627.
- [81] Toet, A. Color Image Fusion for Concealed Weapon Detection, Sensors, and Command, Control, Communications, and Intelligence (C3I) Technologies for Homeland Defense and Law Enforcement II, 5071, 372-379.
- [82] Li, S.; Kwok, J.; Wang, Y. Using the discrete wavelet frame transform to merge Landsat TM and SPOT panchromatic images, *Information Fusion*, 2002, 3.1, 17-23.
- [83] Chavez, P. S.; Sides, S. C.; Anderson, J. A.; Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data- Landsat TM and SPOT panchromatic, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1991, 57.3, March, 295-303.
- [84] Gonzalez, A. M. Z.; Saleta, J. L.; Catalan, R. G.; Garcia, R. Fusion of Multispectral and Panchromatic Images Using Improved IHS and PCA Mergers Based on Wavelet Decomposition, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2004, 42, 1291-1299.
- [85] Tu, T. M.; Su, S. C.; Shyn, H. C.; Huang, P. S. A new look at IHS-like image fusion methods, *Information Fusion*, 2001, 2, 177-186.
- [86] Choi, M. A New Intensity-Hue-Saturation Fusion Approach to Image Fusion with a Tradeoff Parameter, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote sensing*, 2006, 44, 1672-1682.
- [87] Rahmani, S.; Strait, M.; Merkurjev, D.; Moeller, M.; Wittman, T. An Adaptive IHS Pan-Sharpener Method, *Geoscience and remote sensing letters*, 2010, 7.4.
- [88] Choi, M.; Kim, H. C.; Cho, N.; Kim, H. O. An Improved Intensity-Hue-Saturation Method for IKONOS Image Fusion, submitted to *IJRS*
- [89] Eshtehari, A.; Ebadi, H. Image Fusion of Landsat ETM+ and Spot Satellite Images Using IHS, Brovey and PCA, Toosi University of Technology, 2008.

- 
- [90] Petrović, V.; Xydeas, C. Objective evaluation of signal-level image fusion performance,” *Optical Engineering*, 2005, 44.8.
- [91] Liu, Z.; Blasch, E.; Xue, Z.; Zhao, J.; Laganieri, R.; Wu, W. Objective assessment of multiresolution image fusion algorithms for context enhancement in night vision: a comparative study, *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, 2012, 34.1, 94-109.
- [92] Qu, G.; Zhang, D.; Yan, P. Information Measure for Performance of Image Fusion, *Electronics Letters*, 2002, 38.7, 313-315.
- [93] Hossny, M.; Nahavandi, S.; Vreighton, D. Comments on Information Measure for Performance of Image Fusion, *Electronics Letters*, 2008, 44.18, 1066-1067.
- [94] Cvejic, N.; Canagarajah, C. N.; Bull, D.R. Image Fusion Metric Based on Mutual Information and Tsallis Entropy, *Electronics Letters*, 2006, 42.11, 626-627.
- [95] Nava, R.; Cristóbal, G.; Escalante-Ramírez, B. Mutual Information Improves Image Fusion Quality Assessments,” SPIE News Room, <http://spie.org/documents/Newsroom/Imported/0824/0824-2007-08-30.pdf>, Sept. 2007.
- [96] Wang, Q.; Shen, Y.; Jin, J. Performance Evaluation of Image Fusion Techniques, *Image Fusion: Algorithms and Applications*, ch. 19, T. Stathaki, ed., pp. 469-492. Elsevier, 2008.
- [97] Xydeas, C. S.; Petrovic, V. Objective Image Fusion Performance Measure, *Electronics Letters*, 2000, 36.4, 308-309.
- [98] Wangm, P.; Liu, B. A Novel Image Fusion Metric Based on Multi-Scale Analysis, *Proc. IEEE Int’l Conf. Signal Processing*, 2008, 965-968.
- [99] Zheng, Y.; Essock, E.A.; Hansen, B.C.; Haun, A.M. A New Metric Based on Extended Spatial Frequency and Its Application to DWT Based Fusion Algorithms, *Information Fusion*, 2007, 8.2, 177-192.
- [100] Zhao, J.; Laganieri, R.; Liu, Z. Performance Assessment of Combinative Pixel-Level Image Fusion Based on an Absolute Feature Measurement, *Int’l J. Innovative Computing, Information and Control*, 2007, 3.6, 1433-1447.
- [101] Liu, Z.; Forsyth, D. S.; Laganieri, R. A Feature-Based Metric for the Quantitative Evaluation of Pixel-Level Image Fusion, *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, 109.1, 56-68.
- [102] Wang, Z.; Bovik, A. C.; Sheikh, H. R.; Simoncelli, E.P. Image Quality Assessment: From Error Measurement to Structural Similarity, *IEEE Trans. Image Processing*, 2004, 13.1, 1-14.
- [103] Wang Z.; Bovik, A. C. A Universal Image Quality Index, *IEEE Signal Processing Letters*, 2002, 9. 3, 81-84.
- [104] Piella, G.; Heijmans, H. A New Quality Metric for Image Fusion, *Proc. Int’l Conf. Image Processing*, 2003.
- [105] Cvejic, N.; Loza, A.; Bul, D.; Canagarajah, N. A Similarity Metric for Assessment of Image Fusion Algorithms, *Int’l J. Signal Processing*, 2005, 2.3, 178-182.
- [106] Yang, C.; Zhang, J.; Wang, X.; Liu, X. A Novel Similarity Based Quality Metric for Image Fusion, *Information Fusion*, 2008, 9, 156-160.
- [107] Chen, H.; Varshney, P. K. A Human Perception Inspired Quality Metric for Image Fusion Based on Regional Information, *Information Fusion*, 2008, 8, 193-207.
- [108] Chen, Y.; Blum, R. S. A New Automated Quality Assessment Algorithm for Image Fusion, *Image and Vision Computing*, 2009, 27, 1421-1432.

- 
- [109] Zhang, Q.; Wang, L.; Li, H.; Ma, Z. Video fusion performance evaluation based on structural similarity and human visual perception, *Signal Processing*, 2012, 92.4, 912-925.
- [110] Piella, G. New quality measures for image fusion, Proceedings of the Proceedings of the 7th International Conference on Information Fusion, June 28–July 1, 2004, 542–546.
- [111] Wang, Z.; Shang, X. L. Spatial pooling strategies for perceptual image quality assessment, Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing, 8–11 October, 2006, 2945–2948.
- [112] Brox, T.; Bruhn, A. High accuracy optical flow estimation based on a theory warping, Proceedings of the 8th European Conference on Computer Vision, 2004, 25–36.
- [113] Tsagaris, V.; Anastassopoulos, V. A global measure for assessing image fusion methods, *Optical Engineering*, 2006, 45, 1-8.
- [114] Liu, Y.; Chen, X.; Wang, Z.; Wang, Z. J.; Ward, R. K.; Wang, X. Deep learning for pixel-level image fusion: Recent advances and future prospects. *Information Fusion*, 2018, 42, 158-173.
- [115] Malacara, D. Color Vision and Colorimetry: Theory and Applications, SPIE Press, Bellingham, WA 2002.
- [116] Toet, A.; Lucassen, M. P. A new universal colour image fidelity metric, *Displays*, 2003, 24, 197-207.
- [117] Kendall, M. G. A New Measure of Rank Correlation,” *Biometrika*, 1938, 30, nos. 1/2, pp. 81-93, <http://biomet.oxfordjournals.org/content/30/1-2/81.short>.
- [118] Garcia-Vallve, S.; Palau, J.; Romeu, A. Horizontal Gene Transfer in Glycosyl Hydrolases Inferred from Codon Usage in Escherichia Coli and Bacillus Subtilis, *Molecular Biology and Evolution*, 1999, 16.9, 1125-1134.
- [119] Garcia-Vallve, S.; Puigbo, P. Dendroupgma: A Dendrogram Construction Utility, <http://genomes.urv.cat/UPGMA/>, June 2010.
- [120] Petrović, V. Subjective tests for image fusion evaluation and objective metric validation, *Information Fusion*, 2007, 8.2, 208-216.
- [121] Pavlovic, R.; Petrovic, V. Rolling 3D Laplacian Pyramid Video Fusion, *Electronics*, 2019.
- [122] Pavlović, R.; Petrović, V. Prostorno vremenske frekvencije kao mera procene uspešnosti sjedinjavanja video sekvenci, ETRAN 2016, Zlatibor, 13-16. Jun 2016. godine
- [123] Petrović, V.; Xydeas, C. 'Computationally efficient pixel-level image fusion, Proceedings of Eurofusion 99, Stanford-upon-Avon, October 1999, 177-184.
- [124] Pavlović, R.; Petrović, V. Uticaj dinamičkih promena na sjedinjavanje video sekvenci, YU INFO 2015, Kopaonik, 08-11. mart 2015.
- [125] Li, G.; Wang, K. Applying daytime colors to nighttime imagery with an efficient color transfer method, *Proc. SPIE*, 2007, 6559, 65590L.
- [126] Tsagaris, V.; Anastassopoulos, V. Fusion of visible and infrared imagery for night color vision, *Displays*, 2005, 26(4–5), 191–196.
- [127] Zheng, Y. Coloring night-vision imagery with statistical properties of natural colors by using image segmentation and histogram matching, *Proc. SPIE*, 2005, 5667, 107–117.

- 
- [128] Horn, S. Monolithic multispectral FPA, Proc. Int. Military Sens. Symp., Paris France, 2002, 1–18.
- [129] Hossny, M.; Nahavandi, S.; Creighton, D. Color map-based image fusion, Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Info. 2008 (INDIN 2008), IEEE Press, Los Alamitos, CA, USA, 52–56.
- [130] Kong, W.; Lei, Y.; Ni, X. Fusion technique for grey-scale visible light and infrared images based on non-subsampled contourlet transform and intensity-hue saturation transform, *IET Sig. Proc.*, 2011, 5.1, 75–80.
- [131] Scribner, D. Infrared color vision: an approach to sensor fusion,” *Opt. Photon. News*, 1198, 9.8, 27–32.
- [132] Scribner, D.; Warren, P.; Schuler, J. Extending color vision methods to bands beyond the visible, Proc. IEEE Workshop on Comp. Vis. Beyond Vis. Spec.: Methods and Applications, 1999, 33–40.
- [133] Stuart, G. W.; Hughes P. K. Towards understanding the role of colour information in scene perception using night vision devices, Report DSTO-RR-0345, DSTO Defence Science and Technology Organisation, Fishermans Bend, Victoria, Australia, (2009).
- [134] Sun, F.; Li, S.; Yang, B. A new color image fusion method for visible and infrared images, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics Biomim., IEEE Press, Los Alamos, CA, USA, 2007, 2043-2048.
- [135] Tsagaris, V.; Anastassopoulos, V. Multispectral image fusion for improved RGB representation based on perceptual attributes, *Int. J. of Rem. Sens.*, 2005, 26.15, 3241–3254.
- [136] Su, Y. Approach to maximize increased details and minimize color distortion for IKONOS and QuickBird image fusion, *Opt. Eng.*, 2004, 43.12, 3029–3037.
- [137] Tu, T. M. Adjustable intensity-hue-saturation and Brovey transform fusion technique for IKONOS/QuickBird imagery, *Opt. Eng.*, 2005, 44.11, 116201.
- [138] Yang, B.; Sun, F.; Li, S. Region-based color fusion method for visible and IR image sequences, Proc. Chinese Conf. Patt. Recog. 2008 (CCPR '08), IEEE Press, Los Alamitos, CA, USA, 1–6.
- [139] Yin, S. F. Color contrast enhancement method to improve target detectability in night vision fusion, *J. Infrared Millim. Waves*, 2009, 28.4, 281–284.
- [140] Yin, S. One color contrast enhanced infrared and visible image fusion method, *Infrared Phys. Technol.*, 2010, 53.2, 146–150.
- [141] Zaveri, T. An optimized region-based color transfer method for night vision application, Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Sig. Imag. Process. (ICSIP 2010), IEEE Press, Los Alamitos, CA, USA, 96–101.
- [142] Zhang, J. Region-based fusion for infrared and LLL images, *Image Fusion*, 2011, INTECH, <http://intechweb.org>, 285–302.
- [143] Zheng, Y.; Essock, A. A local-coloring method for nightvision colorization utilizing image analysis and fusion, *Inform. Fusion*, 2008, 9.2, 186–199.
- [144] Zheng, Y. An exploration of color fusion with multispectral images for night vision enhancement, Image fusion and its applications, Y. Zheng, Ed., InTech Open, Rijeka, Croatia, 2011, 35–54.
- [145] Li, G.; Wang, K. Merging infrared and color visible images with an contrast enhanced fusion method, *Proc. SPIE*, 2007, 6571, 657108.

- 
- [146] Ansorge, U.; Horstmann, G.; Carbone, E. Top-down contingent capture by color: evidence from RT distribution analyses in a manual choice reaction task, *Acta Psychologica*, 2005, 120.3, 243–266.
- [147] Green, B. F.; Anderson, L. K. Colour coding in a visual search task, *J. Exp. Psychol.*, 1956, 51.1, 19–24.
- [148] Folk, C. L.; Remington, R. Selectivity in distraction by irrelevant featural singletons: evidence for two forms of attentional capture, *J. Exp. Psych.: Human Percep. and Perf.*, 1998, 24.3, 847–858.
- [149] Lanir, J.; Maltz, M.; Rotman, S. R. Comparing multispectral image fusion methods for a target detection task, *Opt. Eng.*, 2007, 46.6, 066402.
- [150] Pavlovic, R.; Petrovic, V. Fusion of Colour and Monochromatic Images With Encoding of Monochrome Structure, OTEH 2012.
- [151] Pavlović R.; Petrović V. Sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika uz isticanje ivica, *Vojnotehnički glasnik*, 3/2013
- [152] Ruderman, A.; Joubert, O. R.; Fabre-Thorpe, M. Statistics of cone responses to natural images: implications for visual coding, *Journal of the Optical Society of America*, 1988, 15.8, 2036-2045.
- [153] Reinhard, E.; Ashikhmin, M.; Gooch, B.; Shirley, P. Color transfer between images, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2001, 21.5, 34-41.
- [154] Sonka, M.; Hlavac.; Boyle, R. Image processing, analysis and machine vision, 2nd ed., PWS Publishing, Pacific Grove, 1998.
- [155] Huang, M.; Leng J.; Xiang, C. A study on IHS+WT and HSV+WT method for image fusion, Proc. of International Symposium on Information Science and Engineering, 2008, 1, 665-668.
- [156] Pavlovic, R.; Petrovic, V.; Multisensor colour image fusion for night vision, Sensor Signal Processing for Defence (SSPD 2012), 1 – 5.
- [157] Pavlović, R.; Petrović, V. Kolor sjedinjavanje monohromatskih slika uz isticanje toplih objekata, ETRAN 2013, Zlatibor, 03-06. Jun 2013. godine.
- [158] Gonzalez, R. C.; Woods, R. E. Digital Image Processing, Prentice-Hall, 2002
- [159] Pavlovic, R.; Petrovic, V.; Bondzulich, B. Fusion of colour and monochromatic images with chromacity preservation", Information Fusion (FUSION), 2012 15th International Conference on, 2012, 1963 – 1969.
- [160] Petrović, V., Bondžulić, B., & Pavlović, R. (2012, July). Study of objective evaluation of natural colour image fusion. In Information Fusion (FUSION), 2012 15th International Conference on (pp. 2523-2530). IEEE.
- [161] V. Tsagaris, "Objective evaluation of color image fusion methods," *Optical Engineering* 48(6), June 2009.
- [162] Y. Yuan, J. Zhang, B. Chang and Y. Han, "Objective quality evaluation of visible and infrared color fusion image," *Optical Engineering* 50(3), March 2011.
- [163] M Sonka, V Hlavac and R Boyle, Image processing, analysis and machine vision, 2nd ed., PWS Publishing, Pacific Grove, 1998.
- [164] Pavlović R., Petrović V., "Sjedinjavanje kolor i monohromatskih slika uz isticanje ivica", *Vojnotehnički glasnik*, 3/2013
- [165] Singh, C.; Walia, E.; Kaur, K. Enhancing color image retrieval performance with feature fusion and non-linear support vector machine classifier, *Optik*, 2018, 158, 127-141.

- 
- [166] Healey, G.; Kondepudy, R. Radiometric CCD camera calibration and noise estimation, *IEEE Transactions of PAMI*, 1994, 16 .3, 267–276.
- [167] Nelson, M.; Johnson, J.; Lomheim, T. General noise processes in hybrid infrared focal plane arrays, *Optical Engineering*, 1991, 39.11, 1682–1700.
- [168] Boie, R.; Cox, I.; An analysis of camera noise, *IEEE Transactions of PAMI*, 1992, 14.6, 671–674.
- [169] Li, H.; Manjunath, B.S.; Mitra, S.K. Multisensor image fusion using the wavelet transform, *Graphical Models and Image Processing*, 1995, 57.3, 235-245.
- [170] Kingsbury, N. The dual-tree complex wavelet transform: a new efficient tool for image restoration and enhancement, *Signal Processing Conference (EUSIPCO 1998)*, 9th European. IEEE, 1998.
- [171] Kingsbury, N. The dual-tree complex wavelet transform: a new technique for shift invariance and directional filters, *IEEE Digital Signal Processing Workshop*., 1998, 86, Bryce Canyon.
- [172] Kingsbury, N. Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals, *Applied and computational harmonic analysis*, 2001, 10.3, 234-253.
- [173] Hill, P. R.; Cedric, Canagarajah, N.; Bull, D. R. Image Fusion Using Complex Wavelets, *BMVC*. 2002.
- [174] Lewis, J. J.; O’callaghan, R. J.; Nikolov, S. G.; Bull, D. R.; Canagarajah, C. N. Region-based image fusion using complex wavelets, *Seventh International Conference on Information Fusion (FUSION)*, 2004, June, 1, 555-562.
- [175] [Online] Available: <http://www.mathworks.com/help/toolbox/images/ref/wiener2.html>
- [176] Portilla, J.; Strela, V.; Wainwright, M. J.; Simoncelli, E. P. Image denoising using scale mixtures of Gaussians in the wavelet domain, *IEEE Trans. Image Process.*, 2003, 12.11, 1338–1351.
- [177] Buades, A.; Coll, B.; Morel, M. Nonlocal image and movie denoising, *Int. J. Comput. Vis.*, 2008, 76.2, 123–139.
- [178] Aharon, M.; Elad, M.; Bruckstein, A. K-SVD: An algorithm for designing overcomplete dictionaries for sparse representation, *IEEE Trans. Signal Process.*, 2006, 54.11, 4311–4322.
- [179] Blu, T.; Luisier, F. The SURE-LET approach to image denoising, *IEEE Trans. Image Process.*, 2007, 16.11, 2778–2786.
- [180] Dabov, K.; Foi, A.; Katkovnik, V.; Egiazarian, K. Image denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering, *IEEE Trans. Image Process.*, 2007, 16.8, 2080–2095.
- [181] Varghese, G.; Wang, Z. Video denoising based on a spatiotemporal Gaussian scale mixture model, *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Tech.*, 2010, 20.7, 1032–1040.
- [182] Luisier, F.; Blu, T.; Unser, M. SURE-LET for orthonormal waveletdomain video denoising, *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 2010, 20.6, 913–919.
- [183] Buades, A.; Coll, B.; Morel, J. M.; Matemàtiques M. Denoising image sequences does not require motion estimation, *Proc. IEEE Conf. AVSS*, 2005, 70–74.
- [184] Dabov, K.; Foi, A.; Egiazarian, K. Video denoising by sparse 3-D transform-domain collaborative filtering, *Proc. 15th Eur. Signal Process. Conf.*, Poznan, Poland, Sep. 2007, 145–149.
- [185] Ozkan, M.; Sezan, M.; Tekalp, A. Adaptive motion-compensated filtering of noisy image sequences, *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, 1993, 3.4, 277–290.

- 
- [186] Arce, G. Multistage order statistic filters for image sequence processing, *IEEE Trans. Signal Process.*, 1991, 39.5, 1146–1163.
- [187] Kim, J.; Woods, J.W. Spatio-temporal adaptive 3-D Kalman filter for video, *IEEE Trans. Image Process.*, 1997, 6. 3, 414–424.
- [188] Brailean, J.; Katsaggelos, A. Simultaneous recursive displacement estimation and restoration of noisy-blurred image sequences, *IEEE Trans. Image Process.*, 1995, 4. 9, 1236–1251.
- [189] Sumi, C.; Yamazaki, N. Measurement and imaging instruments and beamforming method. U.S. Patent Application No 15/951,459, 2019.
- [190] <http://bigwww.epfl.ch/demo/suredenoising/index.html>
- [191] <http://www4.io.csic.es/PagsPers/JPortilla/portada/software>
- [192] <http://www.cs.technion.ac.il/~elad/software/>
- [193] <https://ece.uwaterloo.ca/~z70wang/research/stgsm/STGSM.zip>
- [194] <http://www.cs.tut.fi/~foi/GCF-BM3D/BM3D.zip>
- [195] Chang, S.; Grace, B. Y.; Vetterli, M. Adaptive wavelet thresholding for image denoising and compression, *IEEE transactions on image processing*, 2000, 9.9, 1532-1546.
- [196] Lakhwinder, K.; Gupta, S.; Chauhan, R. C. Image Denoising Using Wavelet Thresholding. *ICVGIP*, 2002, 2.
- [197] Dengwen, Z.; Cheng W. Image denoising with an optimal threshold and neighbouring window, *Pattern Recognition Letters*, 2008, 29.11, 1694-1697.
- [198] Petrovic, V.; Xydeas, C. Sensor noise effects on signal-level image fusion performance, *International Journal of Information Fusion*, 2003, 4, 167-183.
- [199] Pavlović, Rade.; Petrović, V. Objective evaluation and suppressing effects of noise in dynamic image fusion, *Scientific Technical Review*, 2014, 64.1, 21-29.
- [200] Donoho, D. L.; Johnstone, I. M. Denoising by soft thresholding, *IEEE Trans. on Inform. Theory*, 1995, 41, 613-627.
- [201] Bijalwan, A.; Aditya G.; Nidhi S. Wavelet transform based image denoise using threshold approaches, *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 2012, 218-221.



Овај Образац чини саставни део докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта који се брани на Универзитету у Новом Саду. Попуњен Образац укоричити иза текста докторске дисертације, односно докторског уметничког пројекта.

## План третмана података

<b>Назив пројекта/истраживања</b>
<b>Колор и динамичко сједињавање видео сигнала</b>
<b>Назив институције/институција у оквиру којих се спроводи истраживање</b>
а) Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Департман за енергетику, електронику и телекомуникације; б) Војнотехнички институт, Министарство одбране Републике Србије.
<b>Назив програма у оквиру ког се реализује истраживање</b>
<b>Израда докторске дисертације на Факултету техничких наука, Универзитета у Новом Саду</b>
<b>1. Опис података</b>
1.1 Врста студије  <i>Укратко описати тип студије у оквиру које се подаци прикупљају</i> <b>Докторска дисертација</b>
1.2 Врсте података <input checked="" type="radio"/> а) <b>квантитативни</b> <input checked="" type="radio"/> б) <b>квалитативни</b>
1.3. Начин прикупљања података <input checked="" type="radio"/> а) <b>анкете, упитници, тестови</b> б) клиничке процене, медицински записи, електронски здравствени записи в) генотипови: _____ <input checked="" type="radio"/> г) административни подаци: <u>Статистички подаци</u> д) узорци ткива: _____ ђ) снимци, фотографије: _____ <input checked="" type="radio"/> е) текст: <u>Литературни извори</u> ж) мапа, навести врсту _____ <input checked="" type="radio"/> з) остало: <u>Нумерички експерименти и реални експерименти</u>

### 1.3 Формат података, употребљене скале, количина података

#### 1.3.1 Употребљени софтвер и формат датотеке:

- а) Excel фајл, датотека .xlsx
- б) SPSS фајл, датотека \_\_\_\_\_
- в) PDF фајл, датотека .pdf
- г) Текст фајл, датотека .docx
- д) JPG фајл, датотека .jpg
- е) Остало, датотека \_\_\_\_\_

#### 1.3.2. Број записа (код квантитативних података)

- а) број варијабли Велики број
- б) број мерења (испитаника, процена, снимака и сл.) Велики број

#### 1.3.3. Поновљена мерења

- а) да
- б) не

Уколико је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) временски размак између поновљених мера је \_\_\_\_\_
- б) варијабле које се више пута мере односе се на \_\_\_\_\_
- в) нове верзије фајлова који садрже поновљена мерења су именоване као \_\_\_\_\_

Напомене: \_\_\_\_\_

*Да ли формати и софтвер омогућавају дељење и дугорочну валидност података?*

- а) Да
- б) Не

*Ако је одговор не, образложити \_\_\_\_\_*

## 2. Прикупљање података

### 2.1 Методологија за прикупљање/генерисање података

#### 2.1.1. У оквиру ког истраживачког нацрта су подаци прикупљени?

- а) експеримент, навести тип Нумерички експеримент
- б) корелационо истраживање, навести тип \_\_\_\_\_
- в) анализа текста, навести тип Прикупљање података анализом доступне литературе
- г) остало, навести шта Прикупљање података анкетирањем експерата

*2.1.2 Навести врсте мерних инструмената или стандарде података специфичних за одређену научну дисциплину (ако постоје).*

## 2.2 Квалитет података и стандарди

### 2.2.1. Третман недостајућих података

а) Да ли матрица садржи недостајуће податке? Да  **Не**

Ако је одговор да, одговорити на следећа питања:

- а) Колики је број недостајућих података? \_\_\_\_\_  
б) Да ли се кориснику матрице препоручује замена недостајућих података? Да  Не   
в) Ако је одговор да, навести сугестије за третман замене недостајућих података

### 2.2.2. На који начин је контролисан квалитет података? Описати

**Квалитет података је контролисан поређењем експерименталних и теоријских података**

### 2.2.3. На који начин је извршена контрола уноса података у матрицу?

**Контрола уноса података у матрицу извршена је унакрсним поређењем појединачних и сумарних вредности у матрици са вредностима из иницијалне базе података**

## 3. Третман података и пратећа документација

### 3.1. Третман и чување података

3.1.1. Подаци ће бити депоновани у **Репозиторијум докторских дисертација на Универзитету у Новом Саду.**

3.1.2. URL адреса <https://www.cris.uns.ac.rs/searchDissertations.jsf>

3.1.3. DOI

3.1.4. Да ли ће подаци бити у отвореном приступу?

- а)  **Да**  
б)  Да, али после ембарга који ће трајати до \_\_\_\_\_  
в)  Не

Ако је одговор не, навести разлог \_\_\_\_\_

3.1.5. Подаци неће бити депоновани у репозиторијум, али ће бити чувани.  
Образложење

### 3.2 Метаподаци и документација података

3.2.1. Који стандард за метаподатке ће бити примењен?

\_\_\_\_\_

3.2.1. Навести метаподатке на основу којих су подаци депоновани у репозиторијум.

*Ако је потребно, навести методе које се користе за преузимање података, аналитичке и процедуралне информације, њихово кодирање, детаљне описе варијабли, записа итд.*

3.3 Стратегија и стандарди за чување података

3.3.1. До ког периода ће подаци бити чувани у репозиторијуму? \_\_\_\_\_

3.3.2. Да ли ће подаци бити депоновани под шифром? Да

3.3.3. Да ли ће шифра бити доступна одређеном кругу истраживача? Да

3.3.4. Да ли се подаци морају уклонити из отвореног приступа после извесног времена?

Да

Образложити

#### 4. Безбедност података и заштита поверљивих информација

Овај одељак МОРА бити попуњен ако ваши подаци укључују личне податке који се односе на учеснике у истраживању. За друга истраживања треба такође размотрити заштиту и сигурност података.

4.1 Формални стандарди за сигурност информација/података

Истраживачи који спроводе испитивања с људима морају да се придржавају Закона о заштити података о личности

([https://www.paragraf.rs/propisi/zakon\\_o\\_zastiti\\_podataka\\_o\\_licnosti.html](https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_podataka_o_licnosti.html)) и одговарајућег институционалног кодекса о академском интегритету.

4.1.2. Да ли је истраживање одобрено од стране етичке комисије? Да

Ако је одговор Да, навести датум и назив етичке комисије која је одобрила истраживање

4.1.2. Да ли подаци укључују личне податке учесника у истраживању? Да

Ако је одговор да, наведите на који начин сте осигурали поверљивост и сигурност информација везаних за испитанике:

а) Подаци нису у отвореном приступу

б) Подаци су анонимизирани

ц) Остало, навести шта

#### 5. Доступност података

5.1. Подаци ће бити

а) јавно доступни

б) доступни само уском кругу истраживача у одређеној научној области

ц) затворени

*Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести под којим условима могу да их користе:*

---

*Ако су подаци доступни само уском кругу истраживача, навести на који начин могу приступити подацима:*

---

5.4. *Навести лиценцу под којом ће прикупљени подаци бити архивирани.*

**Ауторство – некомерцијално – без прераде**

---

## 6. Улоге и одговорност

6.1. *Навести име и презиме и мејл адресу власника (аутора) података*

**Раде Павловић, мејл адреса: [rade\\_pav@yahoo.com](mailto:rade_pav@yahoo.com)**

---

6.2. *Навести име и презиме и мејл адресу особе која одржава матрицу с подацима*

**Раде Павловић, мејл адреса: [rade\\_pav@yahoo.com](mailto:rade_pav@yahoo.com)**

---

6.3. *Навести име и презиме и мејл адресу особе која омогућује приступ подацима другим истраживачима*

**Раде Павловић, мејл адреса: [rade\\_pav@yahoo.com](mailto:rade_pav@yahoo.com)**

---